

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia

UNIVERSIDADE DO PORTO

Faculdade de Engenharia
Programa Doutoral em Engenharia Civil

Luciene Oliveira Menezes

**METODOLOGIA PARA GESTÃO DE RISCOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS EM
ÁREAS URBANAS: OS CASOS DO CONCELHO DO PORTO E CONTAGEM, MG**

Tese de doutoramento em regime de cotutela

entre a Universidade do Porto e a Universidade Federal de Minas Gerais



Luciene Oliveira Menezes

**METODOLOGIA PARA GESTÃO DE RISCOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS EM
ÁREAS URBANAS: OS CASOS DO CONCELHO DO PORTO E CONTAGEM, MG**

Versão final

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Geologia, concentração Geologia Regional; e apresentada à Universidade do Porto, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil, especialidade em Geotecnia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Giovana Parisi

Orientador: Prof. Dr. António Joaquim Pereira
Viana da Fonseca

Belo Horizonte
2021

M543m
2021

Menezes, Luciene Oliveira.

Metodologia para gestão de riscos geológico-geotécnicos em áreas urbanas [manuscrito] : os casos do Concelho do Porto e Contagem, MG / Luciene Oliveira Menezes. – 2021.

540 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientadora: Maria Giovana Parisi.

Orientador: António Joaquim Pereira Viana da Fonseca.

Tese (doutorado) cotutela – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências; Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, 2021.

Áreas de concentração: Geologia Regional; Geotecnia.

Bibliografia: f. 166-180.

Inclui apêndices.

1. Levantamentos geológicos – Teses. 2. Regiões metropolitanas – Teses. 3. Avaliação de riscos ambientais – Teses. 4. Defesa civil – Concelho do Porto (Portugal) – Teses. 5. Defesa civil – Contagem (MG) – Teses. 6. Taludes (Mecânica do solo) – Teses. 7. Mecânica do solo – Teses. I. Parisi, Maria Giovana. II. Fonseca, António Joaquim Pereira Viana da. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia. V. Título.

CDU: 551:577.4



FOLHA DE APROVAÇÃO

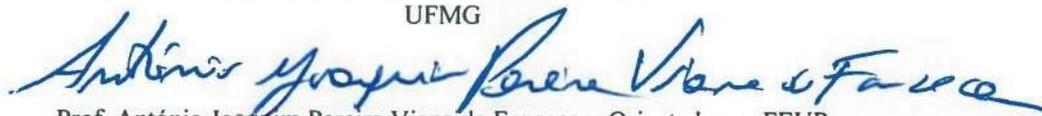
Metodologia para gestão de riscos geológico-geotécnicos em áreas urbanas: os casos do concelho do Porto e Contagem, MG

LUCIENE OLIVEIRA MENEZES

Tese, em Cotutela Internacional, submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA e aprovada pela Faculdade de Engenharia (FEUP) da Universidade do Porto, como requisito para obtenção do grau de Doutora em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA REGIONAL pela UFMG, e grau de Doutora em ENGENHARIA CIVIL, especialidade em GEOTECNIA, pela FEUP/UP.

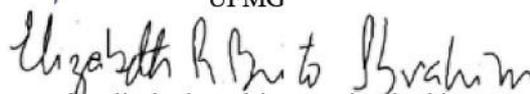
Aprovada em 20 de dezembro de 2021, pela banca constituída pelos membros:


Prof. Maria Giovana Parisi - Orientadora
UFMG


Prof. António Joaquim Pereira Viana da Fonseca – Orientador na FEUP
FEUP-UPorto


Prof. Carlos Valdir de Meneses Bateira
Riskam, CEG, ULisboa/FLUP, UPorto


Prof. Gustavo Ferreira Simões
UFMG


Prof. Elizabeth Rodrigues Brito Ibrahim
UNA

Belo Horizonte, 20 de dezembro de 2021.



Dedico esta pesquisa aos profissionais de Proteção e Defesa Civil e aos moradores das áreas de risco, que pela coragem e resiliência têm minha admiração e votos para uma realidade cada vez com menos riscos.

AGRADECIMENTOS

À Professora Dra. Maria Giovana Parisi, por sua competente orientação e pontuações técnicas sempre certas. Por ter aceitado orientar esta pesquisa, pela confiança e disposição em colaborar em todos os momentos. Tenho muito o que agradecer... Muito obrigada.

Ao Prof. Dr. António J. P. Viana da Fonseca, por aceitar a orientação desta tese e receber-me em Portugal. Foram muitos desafios e seu apoio foi fundamental para a realização da pesquisa no Porto. Obrigada pela agilidade na parceria com a Proteção Civil do Porto, e pelos apontamentos geotécnicos objetivos e pertinentes. Muito obrigada.

À Pró-Reitoria de Pós-Graduação (PRPg) da UFMG e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências (IGC) da UFMG. Aos professores com quem muito aprendi, à Renata Jordan e Profa. Úrsula Ruchkys pelas colaborações. Ao Secretário de Pós Graduação, William Campos, pela presteza e atenção de sempre.

À Universidade do Porto, e em especial a Faculdade de Engenharia, na pessoa do Prof. Dr. Humberto Varum, pelo apoio na concretização do Acordo de Cotutela entre UFMG e UP.

Agradeço ao Serviço Municipal de Proteção Civil da Câmara Municipal do Porto, na pessoa do Diretor do Departamento Municipal de Proteção Civil, Dr. Luís Moutinho, toda a colaboração prestada. Ao Eng.º Duarte Ricardo e em especial à Dra Luisa Borges, pelo imenso apoio, sugestões, orientações e parceria. À Rita Borges, por compartilhar seus conhecimentos das fichas de campo para quedas de blocos, e pela parceria em campo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, no escopo do projeto Carta Geotécnica de Risco do Município de Contagem, MG e pelo financiamento programático - UIDP/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC), obtido quando em Portugal, pelo programa Doutoral em Engenharia Civil da FEUP/UPorto.

À PUC Minas pela licença de trabalho deferida e pela permissão de uso do Laboratório de Solos. Em especial, agradeço toda a atenção do Prof. Everaldo Bonaldo e dos técnicos Roberto, André e Antônio de Lima. Aos alunos e extensionistas pela companhia nas vistorias em Contagem, e em especial ao Arthur Hamdan e Giordane Ferreira.

À Michelle Petronilho por compartilhar seus conhecimentos sobre o *FMEA* em barragens, o que me inspirou para aplicação deste método em áreas de risco urbanas, e à Hemilly Fernandes pela colaboração.

À Defesa Civil de Contagem pela parceria, em especial ao Coordenador Samuel Lara, Lorena Justino, Vagner Viveiros e toda a equipe de técnicos que colaboraram direta ou indiretamente com a pesquisa.

Aos professores da banca pelas contribuições e por aceitarem o convite mesmo com tantos outros compromissos.

Ao marido Estevam e filhos Clara, Pedro e Sofia, pelo tempo que precisei dedicar-me à pesquisa. Este trabalho é nosso!

*“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu”
(Eclesiastes 3:1)*

RESUMO

A metodologia *FMEA – Failure Mode and Effects Analysis* é citada em normas internacionais de gestão de riscos, e com aplicações já conhecidas em barragens e indústrias em geral, que por meio da análise de modos de falha e seus efeitos busca analisar riscos antes que os eventos danosos se concretizem. O objetivo principal desta pesquisa é propor e adaptar essa metodologia para a gestão de riscos de escorregamentos de solo no âmbito da Proteção Civil de Porto, Portugal, e da Defesa Civil de Contagem, Brasil, de forma a possibilitar menores discrepâncias entre avaliadores e fomentar a discussão dos riscos em equipe. Para tal, as seguintes atividades são propostas: i) definição dos taludes a serem avaliados; ii) desenvolvimento de uma ficha de campo para análise de perigo e consequências atribuindo pontos para os índices de acordo com sua criticidade; iii) análise do risco com definição de cenários, e combinação dos resultados de perigo e consequências em uma matriz e tabela. Foram identificados em Porto oito taludes de solo com graus de risco diferentes para escorregamentos, e os resultados indicam a aplicabilidade do método *FMEA*, principalmente quando associado à ficha de campo com índices quantitativos, que minimiza as discrepâncias nas análises e facilita a escolha de ações preventivas, mitigatórias ou corretivas. O mesmo método foi aplicado em doze áreas de risco de escorregamentos de solo na Regional Vargem das Flores em Contagem, e igualmente mostrou-se aplicável. Contudo, foi observado que a adoção de metodologias internacionais e nacionais requerem adaptação para a escala local, bem como procedimentos operacionais padronizados. Desta forma, apresentam-se três procedimentos, especificamente para: monitoramento de riscos, preenchimento de ficha de campo, e utilização do método *FMEA*. Como a pesquisa possui viés metodológico, técnico e social dentro do tema gestão de riscos em áreas urbanas, outros produtos são apresentados, como a proposição de um *web map* para comunicação de riscos no âmbito da Defesa Civil de Contagem.

Palavras-chave: Riscos Geológico-geotécnicos, Proteção e Defesa Civil, Taludes de solo

ABSTRACT

The FMEA - Failure Mode and Effects Analysis methodology is cited in international risk management standards, and with applications already known in dams and industries in general, which, through the analysis of failure modes and their effects, aims to analyze risks before that harmful event materialize. The main objective of this research is to propose and adapt this methodology for landslides risk management within the scope of the Civil Protection of Porto, Portugal, and the Civil Defense of Contagem, Brazil, in order to allow for lesser discrepancies between evaluators and to encourage discussion of risks as a team. To this end, the following activities are proposed: i) definition of the slopes to be evaluated; ii) development of a field sheet for the analysis of hazards and consequences, attributing points to the indices according to their criticality; iii) risk analysis with definition of scenarios, and combination of hazard and consequences results in a matrix and spreadsheet. Eight soil slopes were identified in Porto with different degrees of risk for landslides, and the results indicate the applicability of the FMEA method, especially when associated with the field record with quantitative indices, which minimizes discrepancies in the analyzes and facilitates the choice of preventive actions, mitigating or corrective. The same method was applied in twelve areas at risk of landslides in the Vargem das Flores region in Contagem, and also proved to be applicable. However, it was observed that the adoption of international and national methodologies requires adaptation to the local scale, as well as standardized operating procedures. Thus, three procedures are presented, specifically for: risk monitoring, filling out a field form, and using the FMEA method. As the research has methodological, technical and social objectives within the theme of risk management in urban areas, other products are presented, such as the proposal of a web map for risk communication within the Civil Defense of Contagem.

Keywords: Geological-geotechnical Hazards, Civil Defense and Protection, Soil slopes

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1- Fluxograma com a metodologia geral da tese	26
Figura 1.2- Mapa de localização de Porto, Portugal, e suas freguesias.....	28
Figura 1.3- Localização dos taludes avaliados quanto ao risco, no município do Porto, Portugal	29
Figura 1.4- Mapa de localização da área de estudo em Contagem-MG (Adaptado de R. Jordan)	30
Figura 1.5- Telas do <i>Web Map</i> Georiscos Contagem com a imagem das áreas de risco analisadas	31
Figura 2.1- Mudança de paradigma: da estrutura de avaliação de riscos de Hyogo, 2005 até a estrutura global de avaliação de riscos, GRAF- Global Risk Assessment Framework (UNDRR, 2019).....	39
Figura 2.2- Queda de blocos em talude de granito na Avenida D. Afonso Henriques, Porto, Portugal (BORGES, 2017).	48
Figura 2.3- Queda de blocos em talude de gnaiss na “Rua da Copasa”, Vila Darcy Ribeiro, em Contagem.....	49
Figura 2.4- Queda de blocos, detritos e solo na falésia da praia de Nazaré, Portugal, em junho de 2021 (Foto: Estevam A. Diniz Júnior).....	49
Figura 2.5- Queda de blocos, detritos e solo no Beco Maria José Chiodi, Contagem.	50
Figura 2.6- Queda de solo em margens de córrego, Contagem, MG.	50
Figura 2.7- Suscetibilidade a tombamento de bloco em talude de granito na Rua da Mocidade da Arrábida, Porto, Portugal, em novembro de 2020. A) Vista geral; B) Detalhe do bloco.	51
Figura 2.8- Escorregamento em saprolito de xisto na Rua Henrique Lopes de Mendonça, Porto, Portugal, em janeiro de 2021. A) Escorregamento planar; B) Escorregamento em cunha.	52
Figura 2.9- Escorregamento planar em solo residual de xisto grauváquico, no Parque Oriental do Porto, Portugal, em dezembro de 2020.....	53
Figura 2.10- Escorregamento rotacional em talude rodoviário no Brasil (CPRM, 2018).....	54
Figura 2.11- Escorregamentos e processos erosivos na Vila Bandeirantes, Contagem (CPRM, 2012).....	54
Figura 2.12- Cicatriz de escorregamento rotacional raso, na Vila Estaleiro, Contagem.....	55
Figura 2.13- Espalhamento lateral nas proximidades do lago de Hebgen, EUA, após terremoto de magnitude 7,3, em 1959 (Foto: R.B. Colton, USGS< https://www.idahogeology.org/geologic-hazards/landslides >).....	56
Figura 2.14- Material inconsolidado suscetível a corrida de detritos em encosta na cidade de Albufeira, Portugal, em junho de 2021.....	57
Figura 2.15- Seção transversal do talude rompido na Vila Barraginha antes e depois da corrida de massa (ABGE, 1998)	59
Figura 2.16- Talude heterogêneo de solo e fragmentos de rocha, na parte ocidental de Porto, Portugal.....	60

Figura 2.17- Escorregamento poligonal em solo residual do granito do Porto (Foto: António Viana da Fonseca).	60
Figura 2.18- Carreamento laminar de finos em Vargem das Flores, Contagem.	62
Figura 2.19- Sulcos em Cabo de Santo Agostinho (LAFAYETTE, 2006)	63
Figura 2.20- Ravinas em Vargem das Flores, Contagem.	64
Figura 2.21- Ravinas em solo alúvio-coluvionar às margens do Rio Tinto, Porto.	64
Figura 2.22- Afloramento de lençol freático na base da Voçoroca em Vargem das Flores, Contagem.....	65
Figura 3.1- Metodologia para caracterização e gestão de risco (Criado pela autora no Prezi, a partir de conceitos de ABNT NBR/ISO 31010, 2012 e ANPC, 2009)	66
Figura 3.2- Foto da maquete do concelho de Porto com indicação das áreas de interesse do vale do Rio Tinto, Aldoar e Foz.....	69
Figura 3.3- Qualificação do solo em https://geopdm.cm-porto.pt/pocqs (PORTO, 2020).	70
Figura 3.4- Carta de estrutura ecológica https://geopdm.cm-porto.pt/poceed (PORTO, 2020).	70
Figura 3.5- Carta de Patrimônio I em https://geopdm.cm-porto.pt/pocp1 (PORTO, 2020).....	70
Figura 3.6- Carta de Patrimônio II em https://geopdm.cm-porto.pt/pocp2 (PORTO, 2020) ...	70
Figura 3.7- Carta de condicionantes em https://geopdm.cm-porto.pt/pcccg (PORTO, 2020) .	71
Figura 3.8- Carta de Riscos Naturais em https://geopdm.cm-porto.pt/pocrn (PORTO, 2020)	71
Figura 3.9- Carta geomorfológica em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018, baseada em PORTO, 2003)	71
Figura 3.10- Mapa de declives em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018)	71
Figura 3.11- Carta hidrogeológica (PORTO, 2003)	71
Figura 3.12- Condicionantes geotécnicas em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018, baseada em PORTO, 2003)	72
Figura 3.13- Mapa de exposição de vertentes em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018).	72
Figura 3.14- Carta Geológica em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018, baseada em PORTO, 2003)	72
Figura 3.15- Carta de zoneamento geotécnico em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018, baseada em PORTO, 2003).....	72
Figura 3.16- Qualificação do solo em https://geopdm.cm-porto.pt/poceed (PORTO, 2020). ..	74
Figura 3.17- Carta de Equipamentos coletivos em https://geopdm.cm-porto.pt/cccaec (PORTO, 2020).....	74

Figura 3.18- Infraestrutura de Transporte Coletivo em https://geopdm.cm-porto.pt/cccitc (PORTO, 2020)	74
Figura 3.19- Infraestrutura de Modos Suaves em https://geopdm.cm-porto.pt/cccims (PORTO, 2020).....	74
Figura 3.20- Carta de Infraestrutura de Água e Residuais em https://geopdm.cm-porto.pt/ccci1 (PORTO, 2020)	75
Figura 3.21- Carta de Infraestruturas II - Transporte e distribuição de energia elétrica em https://geopdm.cm-porto.pt/ccci2 (PORTO, 2020)	75
Figura 3.22- Carta de Infraestruturas III em https://geopdm.cm-porto.pt/ccci3 (PORTO, 2020)	75
Figura 3.23- Carta de Zoneamento Perequativo em https://geopdm.cm-porto.pt/ccczp (PORTO, 2020).....	75
Figura 3.24- Etapas da aplicação do FMEA nos taludes analisados	88
Figura 3.25- Parâmetros de perigo para taludes rochosos de Porto, Portugal (BORGES, 2017)	90
Figura 3.26- Parâmetros de perigo para taludes de solo do Colorado, EUA (PRATT & SANTI, 2014).....	92
Figura 3.27- Análise de estabilidade de talude hipotético do grupo G1, altura 5m, inclinação 25°, sem nível de água, condições drenadas.	99
Figura 3.28- Esquema para obtenção da altura do talude em campo	100
Figura 3.29- Análise de estabilidade de talude hipotético do grupo G1, altura 5m, inclinação 35°, sem nível de água, condições drenadas.	102
Figura 3.30- Formas das vertentes com indicação do fluxo superficial de água na encosta (adaptado de HUGGET, 1975 apud ROBAINA et al., 2016).	103
Figura 3.31- Exemplos de árvores em taludes instáveis no Porto. A) Talude na freguesia de Campanhã; B) Talude na Via panorâmica; C) Talude em Aldoar.	106
Figura 3.32- Trinca de tração na crista de talude (CPRM, 2018).....	109
Figura 3.33- Surgência de água na face de um talude (CPRM, 2018)	111
Figura 3.34- Movimentação do talude. A) Estreitamento da base; B) Deformação de estruturas na base; C) Levantamento da base (CPRM, 2018).....	112
Figura 3.35- Degrau de abatimento (CPRM, 2018)	113
Figura 3.36- Cicatrizes de deslizamento (CPRM, 2018).....	114
Figura 3.37- Relação afastamento da moradia e altura do talude.....	119
Figura 3.38- Relação afastamento da moradia na crista e altura do talude	119
Figura 3.39- Imagem extraída da legenda do mapa de Condicionantes Gerais quanto ao contexto urbanístico (PORTO, 2020 < https://geopdm.cm-porto.pt/pc1_ccg >).....	122
Figura 3.40 – Matriz de Risco (adaptada de ANPC, 2009 e BORGES, 2017)	124
Figura 3.41- Cabeçalho da tabela FMEA	126
Figura 3.42- Medidas de prevenção de acidentes associados à escorregamentos de solo (CERRI, 2001).....	132

Figura 3.43- Tipos de obras para estabilização de encostas (NOGUEIRA, 2002 modificado de FONSECA, 1969; CUNHA, 1991; E VIEIRA CÉZAR, 1997).....	132
Figura 3.44- Escolha do método de estabilização de acordo com o agente atuante (COUTINHO & SILVA, 2006 em BRASIL, 2008).....	133
Figura 4.1- Matriz de risco dos taludes em Porto.....	141
Figura 4.2- Matriz de Risco de setores em Contagem.....	147
Figura 4.3- Tela do Georiscos Contagem, com indicação de áreas de risco e ocorrências em áreas da Regional Vargem das Flores.....	154
Figura 4.4- Gráfico com pontuação de perigo para taludes do Porto e setores em Contagem	156
Figura 4.5- Gráfico com pontuação de consequências para taludes do Porto e setores em Contagem.....	158
Figura 6.1- Equação para cálculo dos pontos na tabela de perigo – Parâmetro Altura.....	165

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1- Setores de risco de escorregamento de solo analisados	32
Tabela 2.1- Conceitos dos métodos utilizados e recomendações	40
Tabela 2.2- Classificação dos movimentos de massa (Adaptado de VARNES, 1978; com ilustrações de USGS, 2004).....	47
Tabela 3.1- Modelo para síntese da caracterização física dos taludes.....	70
Tabela 3.2- Modelo para síntese da caracterização das Infraestruturas nas áreas dos taludes em análise	74
Tabela 3.3- Modelo para Roteiro de Identificação e Monitoramento de riscos	78
Tabela 3.4- Aplicabilidade e uso de métodos de avaliação de riscos (síntese elaborada a partir da ABNT NBR ISO/IEC 31010, 2012) ⁽¹⁾	82
Tabela 3.5- Critérios para pontuação do perigo de escorregamentos planares e circulares em taludes de solo	96
Tabela 3.6- Critérios para pontuação do parâmetro altura	98
Tabela 3.7- Fatores de segurança mínimos para deslizamentos (ABNT NBR 11682: 2009)..	98
Tabela 3.8- Validação das pontuações correspondentes por altura do talude.	98
Tabela 3.9- Variação da pontuação (I_{AL}) conforme as classes de altura	100
Tabela 3.10- Validação das pontuações correspondentes por inclinação do talude.....	101
Tabela 3.11- Variação da pontuação (I_{IN}) conforme as classes de inclinação	102
Tabela 3.12- Variação da pontuação (I_{AG}) conforme as classes de acúmulo de água.....	104
Tabela 3.13- Variação da pontuação (I_{VG}) conforme as classes de cobertura vegetal	105
Tabela 3.14- Variação da pontuação (I_{DE}) conforme as classes de descontinuidades.....	107
Tabela 3.15- Variação da pontuação (I_{TR}) conforme as trincas.....	108
Tabela 3.16- Variação da pontuação (I_{SU}) conforme o grau de saturação/surgência	110
Tabela 3.17- Variação da pontuação (I_{MV}) conforme a movimentação de árvores, vias adjacentes ou sopé da encosta	111
Tabela 3.18- Variação da pontuação (I_{SU}) conforme o grau do degrau de abatimento	112
Tabela 3.19- Variação da pontuação (I_{CD}) conforme cicatrizes de deslizamento	114
Tabela 3.20- Variação da pontuação (I_{HO}) conforme ocorrências.....	115
Tabela 3.21 – Critérios para divisão de classes de perigo	116
Tabela 3.22- Critérios para pontuação das consequências de escorregamentos de taludes de solo	117
Tabela 3.23- Critérios para divisão de classes de consequências.....	123
Tabela 3.24- Proposta para padrão de cores na matriz de risco (CPRM, 2018).....	125
Tabela 3.25- Proposta de qualificação de classes de risco	125
Tabela 3.26- Aplicabilidade de ações estruturantes e não estruturantes de acordo com os índices de perigo e consequências	135

Tabela 4.1- Gráficos com índices de perigo e consequências de taludes do Porto e enquadramento em classes.....	139
Tabela 4.2- Tabela síntese FMEA – Taludes no Porto.....	143
Tabela 4.3- Gráficos com índices de perigo e consequências de setores de Contagem e enquadramento em classes.....	144
Tabela 4.4- Tabela síntese FMEA – Áreas de risco em Contagem.	149
Tabela 4.5- Comparação da classificação de risco do PMRR (CONTAGEM, 2017) x presente pesquisa	152

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANPC - Autoridade Nacional de Proteção Civil

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

Cc – Índice de compressibilidade

Cr – Índice de recompressão

CDOT – *Colorado Department of Transportation.*

CLHRS – *Colorado Landslides Hazard Rating System*

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CMFD - Complexo Metamórfico da Foz do Douro

CXG - Complexo Xisto-Grauváquico

DMPC - Departamento Municipal de Proteção Civil

$e_{inicial}$ – Índice de vazios inicial do solo

FS – Fator

FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis* (Análise do modo de falha e seus efeitos)

FMECA - *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* (Análise do modo de falha, seus efeitos e sua criticidade)

K_{cc} – Coeficiente de permeabilidade a carga constante

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo digital do Terreno

N_{SPT} – Número de Golpes no ensaio SPT

PMRR – Plano Municipal de Redução de Risco

POP – Procedimento Operacional Padrão

RHRS – *Rockfall Hazard Rating System*

RQD – *Rock Quality Designation*

ONU - Organização das Nações Unidas

PDM - Plano Diretor Municipal

UOPG – Unidade Operacional de Planejamento e Gestão

URBEL – Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte

USCS - *Unified Soil Classification System*

δ_d – Peso específico aparente seco do solo

δ_{nat} – Peso específico na umidade natural do solo na amostra coletada

δ_s – Peso específico dos sólidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1. A proposta de pesquisa	20
1.2. Pergunta norteadora, hipótese central e objetivos	21
1.3. Estrutura da tese	22
1.4. Metodologia geral da tese	25
1.4.1. Trabalhos de campo, escritório e laboratório	25
1.4.2. Áreas de estudo	27
1.4.2.1. Porto, Portugal.....	28
1.4.2.2. Contagem-MG, Brasil	29
1.4.3. Os produtos da tese	32
2. REFERENCIAL TEÓRICO	36
2.1. Riscos geológico-geotécnicos	36
2.1.1. Principais referências	36
2.1.2. Termos gerais e conceitos	41
2.1.3. A Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil de Portugal 44	
2.1.4. A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil do Brasil	45
2.2. Movimentos de massa	46
2.2.1. Queda e rolamento	48
2.2.1.1. Queda e rolamento de blocos de rocha.....	48
2.2.1.2. Queda e rolamento de detritos e solo	49
2.2.2. Tombamento	51
2.2.2.1. Tombamento de blocos de rocha.....	51
2.2.2.2. Tombamento de detritos e solo	52
2.2.3. Escorregamento	52
2.2.3.1. Escorregamento planar e cunha de rocha ou saprolito.....	52
2.2.3.2. Escorregamento translacional em solo e detritos	53
2.2.3.3. Escorregamento rotacional em solo e detritos.....	53
2.2.4. Espalhamento de rocha, detritos e solo	55
2.2.5. Corrida	57
2.2.5.1. Corrida de detritos	57
2.2.5.2. Avalanche de detritos	58
2.2.5.3. Corrida de terra.....	58
2.2.5.4. Corrida de lama	58
2.2.5.5. Rastejo ou creep	59
2.2.6. Movimentos de massa complexos	59

2.3.	Processos erosivos	61
2.3.1.	<i>Erosão laminar</i>	62
2.3.2.	<i>Erosão linear</i>	63
2.3.2.1.	Sulcos	63
2.3.2.2.	Ravinas	63
2.3.2.3.	Voçorocas.....	65
3.	PROPOSTA METODOLÓGICA	66
3.1.	Estabelecimento do Contexto ou Situação de Referência	68
3.1.1.	<i>Em Porto</i>	68
3.1.1.1.	Definição do território em análise.....	68
3.1.1.2.	Caracterização física	69
3.1.1.3.	Caracterização das infraestruturas.....	73
3.1.2.	<i>Em Contagem</i>	76
3.2.	Identificação de Riscos	76
3.2.1.	<i>Análise de suscetibilidade e critérios para definição de taludes a serem avaliados</i>	76
3.2.2.	<i>Trabalhos de campo</i>	77
3.2.2.1.	Planejamento de campo e modelo para os roteiros	77
3.3.	Análise e Avaliação do Risco	81
3.3.1.	<i>Ferramentas e técnicas</i>	82
3.3.1.1.	Métodos elencados pela ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) 82	
3.3.1.2.	O método FMEA e FMECA	87
3.3.1.1.	O método <i>RHRS</i> , <i>CLRS</i> e similares.....	89
3.3.2.	<i>Definição de modos de falha</i>	93
3.3.2.1.	Modos de falha típicos das unidades geotécnicas do Porto .	93
3.3.2.1.	Modos de falha típicos do Complexo Belo Horizonte, em Contagem.....	94
3.3.3.	<i>Definição de perigo</i>	95
3.3.3.1.	Tabela de perigo	95
3.3.3.1.1.	Altura do talude.....	97
3.3.3.1.2.	Inclinação do talude	100
3.3.3.1.3.	Acúmulo de água superficial no talude	103
3.3.3.1.4.	Cobertura vegetal	104
3.3.3.1.5.	Condições estruturais, discontinuidades e processos erosivos	106
3.3.3.1.6.	Trincas no terreno.....	108
3.3.3.1.7.	Grau de saturação, surgências e/ou vazamentos	109

3.3.3.1.8. Árvores inclinadas, estreitamento de margens de vias/rios ou aumento de volume na base	111
3.3.3.1.9. Degrau de abatimento	112
3.3.3.1.10. Cicatrizes de deslizamento	113
3.3.3.1.11. Histórico de ocorrências ou previsão de movimentos de massa	114
3.3.3.2. Definição das classes de perigo	115
3.3.4. Definição das consequências	116
3.3.4.1. Tabela de consequências	116
3.3.4.1.1. Ocupação do talude	117
3.3.4.1.2. Afastamento da moradia pela altura	118
3.3.4.1.3. Condições da moradia	119
3.3.4.1.4. Largura da plataforma	120
3.3.4.1.1. Contexto urbanístico	120
3.3.4.2. Definição das classes de consequências	122
3.3.5. Matriz de risco	124
3.3.5.1. Tabela da matriz de risco	124
3.3.5.2. Definição das classes de risco	125
3.3.6. Ficha de campo para análise de perigo e consequências	126
3.3.7. Tabela síntese de análise de risco	126
3.3.8. Validação da análise e avaliação de risco	129
3.4. Estratégias para Mitigação e Tratamento dos Riscos	130
3.5. Monitoramento	136
3.6. Revisão e Análise Crítica	137
3.7. Comunicação de Riscos	137
4. SÍNTESE DOS RESULTADOS	138
4.1. Em Porto	138
4.1.1. Índices de perigo e consequências por talude	138
4.1.2. Matriz de risco	140
4.1.3. Tabela FMEA	142
4.2. Em Contagem	144
4.2.1. Índices de perigo e consequências por talude	144
4.2.2. Matriz de risco	146
4.2.3. Tabela FMEA	148
4.2.4. Validação do método por comparação com o PMRR	151
4.2.5. A comunicação de riscos e desastres e a visão interdisciplinar da temática	153
4.3. Análise comparativa dos resultados em Porto e Contagem	155

4.3.1. Pontuação comparativa de perigo.....	155
4.3.2. Pontuação comparativa de consequências.....	157
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	160
5.1. Aplicabilidade do método	160
5.2. Estratégia local para objetivos globais	161
6. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	163
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	166
APÊNDICE A – CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTUDOS DE CASO EM PORTO, PORTUGAL.....	181
APÊNDICE B – CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTUDOS DE CASO EM CONTAGEM, MG.....	334
APÊNDICE C – MODELO DE PLANEJAMENTO DE CAMPO E PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP) PARA MONITORAMENTO DE RISCOS.....	423
APÊNDICE D – MODELO DE FICHA DE CAMPO E PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP) PARA PREENCHIMENTO	447
APÊNDICE E – MODELO DE TABELA FMEA E PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP) PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO	471
APÊNDICE F – ARTIGO 1: COMUNICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS NA GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES AMBIENTAIS.....	483
APÊNDICE G – ARTIGO 2: METODOLOGIA FMEA (FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS) APLICADA À GESTÃO DE RISCOS DE ESCORREGAMENTOS DE SOLO EM PORTO, PORTUGAL.....	496
APÊNDICE H – ENSAIOS E RECOMENDAÇÕES CONCEITUAIS PARA A CARTOGRAFIA DE RISCO NA REGIONAL VARGEM DAS FLORES EM CONTAGEM, MG.....	528

1. INTRODUÇÃO

1.1. A proposta de pesquisa

A redução de desastres faz parte das metas internacionais da ONU - Organização das Nações Unidas, conforme Marco de Sendai para a Redução de Risco de Desastres 2015-2030 (ONU, 2015), documento elaborado após encontro das Nações Unidas celebrado em 18 de março de 2015, na cidade de Sendai, Japão. O Marco de Sendai sinaliza uma mudança de foco da ONU, até então baseada na resposta frente aos desastres, para a gestão de risco e desastres. Essa nova perspectiva, além de reforçar a resiliência, inclui aspectos de gestão relativos à educação ambiental e comunicação para a prevenção de riscos, além da participação popular e de instituições públicas e privadas como atores sociais importantes.

Nesse contexto, a universidade se enquadra como agente social, que em parceria com as entidades de Proteção¹ e Defesa Civil, pode realizar pesquisas aplicadas em gestão de riscos e desastres dentro do campo de ação da geotecnia. Existem inúmeras metodologias aplicáveis à gestão de risco, sendo que somente a ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) cita 31 métodos diferentes, além das normas aplicáveis exclusivamente aos riscos e desastres naturais. Portanto, pesquisas no âmbito das defesas civis que indiquem métodos para a escala local auxiliam a tornar as diretrizes internacionais e nacionais mais facilmente aplicáveis.

No município do Porto, Portugal, a parceria com a Proteção Civil se propõe a analisar os riscos em taludes de solo, a partir do desenvolvimento de uma ficha de campo e análise matricial de riscos (perigo *versus* consequências) com a aplicação da metodologia *FMEA - Failure Mode and Effects Analysis*. Para Contagem-MG, Brasil, esse mesmo método é utilizado, especificamente com as fichas de campo e análise matricial de risco desenvolvidas, contudo, aplicado em áreas já mapeadas pelo Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR (CONTAGEM, 2017), o que possibilita a comparação de resultados e validação do método nesse município.

De um modo geral, a pesquisa adapta a metodologia *FMEA* e estabelece procedimentos operacionais para gestão e análise de risco em áreas urbanas, no âmbito de defesas civis municipais, além de apresentar produtos no viés técnico e social.

¹ Em Portugal, a instituição responsável pela gestão de riscos no âmbito municipal denomina-se Proteção Civil. E no Brasil, Defesa Civil.

1.2. Pergunta norteadora, hipótese central e objetivos

A experiência acadêmica e prática na Defesa Civil de Contagem e Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte – URBEL, em áreas de riscos geológico-geotécnicos, possibilitou conhecer parte dos desafios e fortalezas deste campo de atuação. Essa prática, aliada ao estudo do referencial teórico nacional e internacional sobre gestão e análise de riscos em áreas urbanas, deu luz à seguinte pergunta que norteia de modo geral esta tese:

As metodologias internacionais e nacionais de gestão e análise de risco geológico-geotécnico são facilmente reproduzíveis no âmbito das defesas civis municipais? E caso negativo, o que se pode propor para a adequação no viés técnico, metodológico e social?

A partir desta questão, a hipótese central da tese é que seja possível aplicar metodologias internacionais e nacionais no âmbito dos municípios, contudo, a partir de detalhamentos, adaptações e definição de procedimentos operacionais para a escala local.

Desta forma, o objetivo geral é reproduzir e adaptar métodos de gestão de risco reconhecidos internacionalmente, como o *FMEA - Failure Mode and Effect Analysis* (análise de modo de falha e efeitos), e propor alguns critérios quantitativos ou semiquantitativos como fichas de campo com pontuações, que torne a metodologia mais facilmente reproduzível e com menores discrepâncias entre avaliadores, e que ofereça como resultado produtos no viés metodológico, técnico e social.

Dois municípios foram escolhidos como áreas de estudo: Contagem-MG, Brasil e Porto, Portugal, nos quais os seguintes objetivos específicos são aplicáveis:

- Realizar síntese bibliográfica sobre gestão de riscos e informações dos municípios em estudo, como planos diretores municipais, planos municipais de redução de riscos e/ou cartas geotécnicas;
- Identificar a metodologia de atuação da Defesa Civil de Contagem e Proteção Civil do Porto;
- Delimitar e caracterizar as áreas de estudo e construir um banco de dados de ocorrências;
- Propor adaptações e procedimentos operacionais para aplicação dos métodos sugeridos;

- Propor uma ficha de campo com definição de parâmetros de perigo e consequências e atribuição de pesos para cada parâmetro, a fim de obter um resultado quantitativo;
- Definir classes de perigo e consequências, com intervalos quantitativos;
- Propor classificação do risco por meio de matriz 5 x 5 (5 classes de perigo x 5 classes de consequências) adaptada e validada para a realidade dos municípios;
- Realizar estudos de caso em áreas críticas dos municípios, para aplicação e análise da metodologia adaptada;
- Propor um *Web Map* público com informações de ocorrências e áreas de risco em Contagem, que fomente a comunicação de riscos;
- Desenvolver uma tabela como ferramenta de aplicação do método de gestão de riscos *FMEA* para consolidar os resultados de análise de risco e demais informações de gerenciamento das áreas.

1.3. Estrutura da tese

Optou-se por apresentar na itemização principal da tese somente a síntese (incluindo introdução, metodologia geral, conceitos fundamentais, proposta metodológica de gestão de riscos, resultados e conclusões); e nos apêndices, o contexto e estudos de caso em Porto e Contagem, a produção específica em forma de artigos, bem como propostas de modelos de procedimentos e instruções. Portanto, tem-se a organização de capítulos a seguir.

O CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO, além da estrutura da tese, tem-se a apresentação da proposta da pesquisa, bem como a pergunta norteadora, os objetivos gerais e específicos, a metodologia geral da tese que apresenta como a mesma foi organizada e desenvolvida, como ocorreram os trabalhos de campo e escritório, e a apresentação das áreas de estudo, lembrando que maiores detalhes das áreas de estudo estão nos apêndices. Os produtos da tese também são elencados, de modo a visualizar os resultados que serão apresentados no decorrer do texto.

No CAPÍTULO 2- REFERENCIAL TEÓRICO são apresentados conceitos e bases, tais como referências de análise e gestão de riscos, suas similaridades e diferenças, de forma a alinhar o entendimento adotado sobre risco, perigo e consequências, dentre outros. Uma classificação dos movimentos de massa e processos erosivos é apresentada com fotos ilustrativas, buscando sempre que possível imagens de ocorrências das áreas de estudo, para facilitar o reconhecimento desses processos em campo.

Já no CAPÍTULO 3- PROPOSTA METODOLÓGICA, busca-se uma discussão prévia de métodos para gestão e análise de riscos geológico-geotécnicos, para depois escolher o

caminho de cada umas das seis etapas do trabalho, que são: 1- estabelecimento do contexto; 2- identificação dos riscos; 3- análise e avaliação dos riscos; 4- estratégias para prevenção e mitigação; 5- monitoramento dos riscos; 6- revisão e análise crítica. Inclui-se neste capítulo a forma que as informações prévias foram analisadas, os critérios de definição dos taludes e áreas críticas, o planejamento de campo, e o processo para a criação de uma ficha com parâmetros de riscos (perigo e consequências) que inclui análises geotécnicas de estabilidade, bem como a proposta de consolidação e monitoramento das informações de forma compartilhada, em uma tabela, baseada na metodologia *FMEA*, a qual já é utilizada em outras áreas da geotecnia, como barragens, mas até então, não foi encontrado exemplo de aplicação em riscos geotécnicos urbanos. Portanto, entende-se que o detalhamento da metodologia também é um resultado para a tese.

O CAPÍTULO 4- SÍNTESE DOS RESULTADOS apresenta os gráficos com os índices de perigo e consequências de cada área de estudo (taludes críticos em Porto e setores de risco em Contagem), fazendo uma análise comparativa, e utilizando este resultado para a indicação de propostas de ações estruturantes e não estruturantes para prevenir, mitigar e erradicar o risco nas áreas. Uma tabela do método *FMEA* é mostrada para cada área, bem como a visualização dos taludes e setores críticos em uma matriz de risco, que possibilita rápida visualização da criticidade de cada caso. Os artigos técnicos publicados ou em avaliação, são citados e indicados em apêndices, bem como os modelos de procedimentos e instruções técnicas propostos.

No CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES, apresentam-se considerações sobre os resultados nos dois municípios em estudo, a aplicabilidade da metodologia, considerações sobre os demais produtos da tese e recomendações.

No CAPÍTULO 6, apresentam-se sugestões para pesquisas futuras.

No APÊNDICE A – Contextualização e estudos de caso em Porto, Portugal, apresenta-se a síntese fisiográfica, geológica e geotécnica das áreas utilizadas nos estudos de caso, e do município do Porto como um todo, bem como outras informações relevantes para a pesquisa provenientes da Carta geotécnica do Porto (PORTO, 2003) e do Plano Diretor Municipal (PORTO, 2020; 2020b), além das análises de risco dos casos estudados.

Já em APÊNDICE B – Contextualização e estudos de caso em Contagem, MG, apresenta-se a síntese fisiográfica, geológica e geotécnica das áreas utilizadas nos estudos de caso, e do município de Contagem como um todo, informações relevantes para a pesquisa provenientes do PMRR (CONTAGEM, 2017) e do Plano Diretor Municipal (CONTAGEM, 2018), bem como as análises de risco nos casos estudados.

No APÊNDICE C – Modelo de planejamento de campo e procedimento operacional padrão (POP) para monitoramento de riscos, apresenta-se um procedimento para planejamento de campo para identificação e monitoramento de riscos no âmbito das defesas civis, desenvolvido a partir da escuta, *brainstorming* e trabalho de campo junto aos técnicos da Defesa Civil de Contagem e extensionistas, complementado, adaptado e detalhado após os estudos de caso no Porto.

Já o APÊNDICE D – Modelo de ficha de campo e procedimento operacional padrão (POP) para preenchimento, apresenta a proposta de modelo de ficha de campo para análise de risco de escorregamento de solo e respectiva instrução técnica para preenchimento.

O APÊNDICE E – Modelo de tabela FMEA e procedimento operacional padrão (POP) para aplicação do método, apresenta a tabela adotada na pesquisa para a aplicação do método *FMEA* de análise dos modos de falha e seus efeitos nas áreas críticas estudadas em Porto e Contagem, e roteiro para aplicação do método.

No APÊNDICE F – Artigo 1: Comunicação em Geociências na gestão de riscos e desastres ambientais, apresenta-se o artigo publicado na revista Anuário do Instituto de Geociências, da UFRJ, referente à análise da comunicação de riscos na Defesa Civil de Contagem e proposta de divulgação de um *Web Map* para a população com informações de ocorrências e áreas de risco.

O APÊNDICE G – Artigo 2: Metodologia FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) aplicada à gestão de riscos de escorregamentos de solo em Porto, Portugal, é o segundo artigo da tese, enviado para revista com classificação Qualis B2, com a descrição da aplicação do método FMEA no Porto e com a apresentação do desenvolvimento das fichas de perigo e consequências.

No APÊNDICE H – ENSAIOS E RECOMENDAÇÕES CONCEITUAIS PARA CARTOGRAFIA DE RISCO NA REGIONAL VARGEM DAS FLORES EM CONTAGEM, MG, apresentam-se recomendações, em nível conceitual, para a elaboração de mapa de suscetibilidade a processos erosivos, riscos geotécnicos e carta de aptidão à urbanização nessa regional, bem como resultados de ensaios geotécnicos realizados nesta área de estudo.

1.4. Metodologia geral da tese

1.4.1. *Trabalhos de campo, escritório e laboratório*

Para cumprir os objetivos propostos, primeiramente foi realizado o reconhecimento das áreas de estudo para formação de banco de dados de setores e taludes críticos, bem como de ocorrências da Defesa Civil e demais informações pertinentes de campo, laboratório e bibliográficas.

Em Contagem, essa etapa foi realizada a partir do segundo semestre de 2017, início do doutorado, até 2019, sendo que em 2017 e 2018 as atividades principais foram as vistorias de áreas de risco; e em 2019 o foco foi na organização e análise de dados e realização de ensaios de campo e laboratório, especificamente de materiais coletados na Voçoroca da Vila Feliz, na Regional Vargem das Flores. O plano de investigações consistiu na definição de 5 pontos de amostragem, sendo 4 representativos de horizontes de solo (A, B, C e solo saprolítico), e 1 representativo do colúvio-alúvio presente na base da voçoroca. Foram realizados em campo: 2 ensaios de permeabilidade *in situ* (Horizonte A e solo saprolítico); 1 ensaio de frasco de areia para determinação da massa específica do solo *in situ* (Horizonte A); coleta de 1 bloco de amostra indeformada (Horizonte B); coleta de amostras deformadas dos 5 pontos investigados. Em laboratório, foram realizados ensaios de caracterização completa nas 5 amostras deformadas (massa específica dos sólidos, granulometria completa, limite de liquidez, limite de plasticidade, limite de contração); além de 2 ensaios de cisalhamento direto tipo pré-adensado drenado (1 com umidade natural e outro inundado), e massa específica do solo a partir de amostras indeformadas do bloco extraído em campo (Horizonte B). Os ensaios de caracterização e resistência ao cisalhamento foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da PUC Minas.

A análise de dados de ocorrências e da comunicação de riscos em Contagem, deu origem ao primeiro artigo da tese, o qual foi publicado em janeiro de 2021 (APÊNDICE F – Artigo 1: Comunicação em Geociências na gestão de riscos e desastres ambientais. Em paralelo, no período de agosto de 2017 a agosto de 2020 a proposta metodológica para gestão e análise de risco (CAPÍTULO 3) foi testada e adaptada para os trabalhos de campo e escritório nesse município. Foi desenvolvida uma ficha de campo preliminar para identificação de parâmetros de risco, que já incorporava o método de atribuir pesos e valores quantitativos para a classificação. Contudo, essa primeira proposta de ficha foi alterada após os trabalhos no Porto, e nova ficha foi desenvolvida.

Já em Porto, a etapa de reconhecimento de campo e banco de dados de taludes críticos ocorreu entre outubro de 2020 e fevereiro de 2021, após a efetivação do acordo de doutorado em cotutela entre a UFMG e a Universidade do Porto, especificamente para realização desta tese, com a participação do professor orientador do Programa de Doutorado em Geotecnia da Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP). Em paralelo, a proposta metodológica desenvolvida em Contagem, foi sendo aplicada e adaptada para atender às duas áreas de estudo. Duas adaptações importantes ocorreram no método inicialmente adotado em Contagem: alteração da ficha de campo e a apresentação do risco em matriz adaptada, para atender Porto e Contagem.

A etapa de consolidação da proposta metodológica para Porto e Contagem ocorreu no primeiro semestre de 2021, quando em Porto, e posteriormente, após o retorno da autora ao Brasil em agosto de 2021, quando o método foi novamente aplicado nos estudos de caso de Contagem, devido às alterações na proposta inicial. Após os estudos de caso de Porto e Contagem foi realizada a análise comparativa dos resultados e validação do método, bem como as considerações finais e sugestões para pesquisas futuras. A Figura 1.1 apresenta o fluxograma da metodologia geral da tese.

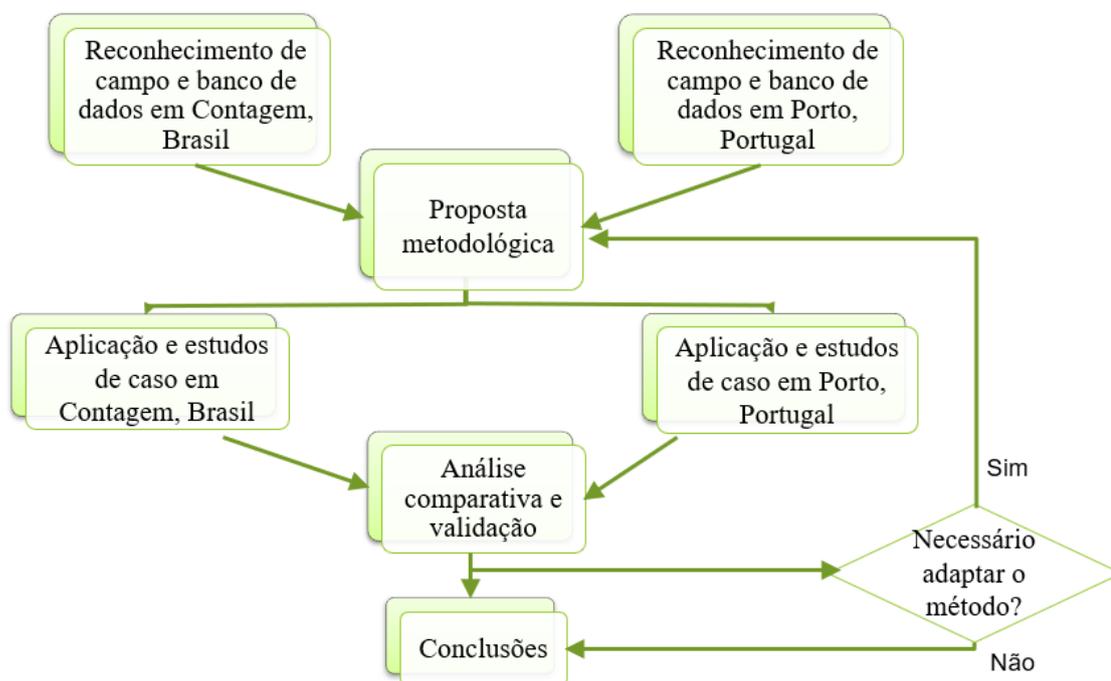


Figura 1.1- Fluxograma com a metodologia geral da tese

1.4.2. *Áreas de estudo*

Por ser uma pesquisa que testa a aplicabilidade de metodologias internacionais de gestão e análise de riscos, além das práticas nacionais, buscou-se efetivar a parceria com universidade no exterior, para verificar e comparar os resultados em município brasileiro e estrangeiro.

A base comum entre áreas de estudo, buscada nesta pesquisa para possibilitar análises comparativas, não foi quanto à similaridade do meio físico, mas sim, a similaridade metodológica para gestão de riscos no âmbito das defesas civis municipais. Portanto, a plataforma geológica mais complexa e heterogênea do Porto, com predominância de granitos e xistos em diferentes texturas, graus de alteração e condições estruturais, em relação à plataforma mais homogênea de Contagem, especificamente rochas do Complexo Belo Horizonte com predominância de gnaisses em diferentes graus de alteração, não interferem de forma negativa na escolha dos municípios. Pelo contrário, as características físicas peculiares de cada município possibilitam verificar a aplicabilidade do método em contextos geológicos diferentes.

A escolha de Contagem se deu por ter conhecimento prévio das áreas de risco, potencialidades e desafios da gestão, bem como pela abertura da equipe da Defesa Civil para pesquisas, além do município possuir mapeamento de risco (PMRR) e plano diretor aprovado (CONTAGEM, 2018)². Da mesma forma, o município do Porto possui mapeamento de áreas de risco apresentado em carta geotécnica (PORTO, 2003), especificamente em taludes rochosos (BORGES, 2017) e plano diretor aprovado (PORTO, 2020; PORTO, 2020b; PORTO, 2018)³; além da disponibilidade do professor orientador da FEUP e da possível parceria com a Proteção Civil de Porto⁴.

Em relação às metodologias nacionais aplicáveis aos municípios, destaca-se CPRM (2018) para Contagem; e ANPC (2009) para Porto. A leitura e análise dessas metodologias permite concluir que possuem a seguinte base conceitual comum: análise de condicionantes e indícios de movimentação do terreno para caracterizar o risco, determinação de perigo e consequências (CPRM avalia vulnerabilidades), e apresentação do risco em matriz, com graus diferenciados. Portanto, ambas se aplicam aos dois municípios em estudo, com adaptações.

² No início do doutorado, em agosto de 2017, o PMRR e o Plano Diretor de Contagem estavam em elaboração. A autora da tese acompanhou esse processo participando de reuniões públicas de discussão desses produtos.

³ O Plano Diretor Municipal (PDM) do Porto foi aprovado em maio de 2021. A autora da tese acompanhou esse processo quando em Portugal.

⁴ A quem agradecemos ao Sr. Diretor, e às Geólogas Dra Luisa Borges e Rita Borges.

Em relação às metodologias internacionais, destaca-se que tanto CPRM (2018) e ANPC (2009) atendem aos requisitos e recomendações, pelo menos de modo geral, da ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012), ABNT NBR ISO 31000 (2018) e ONU (2015).

1.4.2.1. Porto, Portugal

Conforme observa-se na Figura 1.2, o concelho⁵ do Porto localiza-se ao norte de Portugal, e faz parte do distrito⁶ de Porto. Possui divisa com os municípios de Matosinhos e Maia ao norte, Gondomar a leste, bem como é margeado pelo oceano Atlântico a oeste, e pelo Rio Douro ao sul. Na outra margem do Douro encontra-se o município de Vila Nova de Gaia. Segundo estimativas do Instituto Nacional de Estatística de Portugal, a população que reside em Porto teria passado de 214.119 habitantes, em 2016, para 216.606, em 2019. Possui área da unidade territorial de 45 km² compreendendo 7 regionais⁷: 1) Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde; 2) Ramalde; 3) Lordelo do Ouro e Massarelos; 4) Paranhos; 5) Cedofeita, Ildefonso, Sé, Miragaia, Nicolau, Vitória; 6) Bonfim; 7) Campanhã (PORTO, 2020; www.cm-porto.pt).

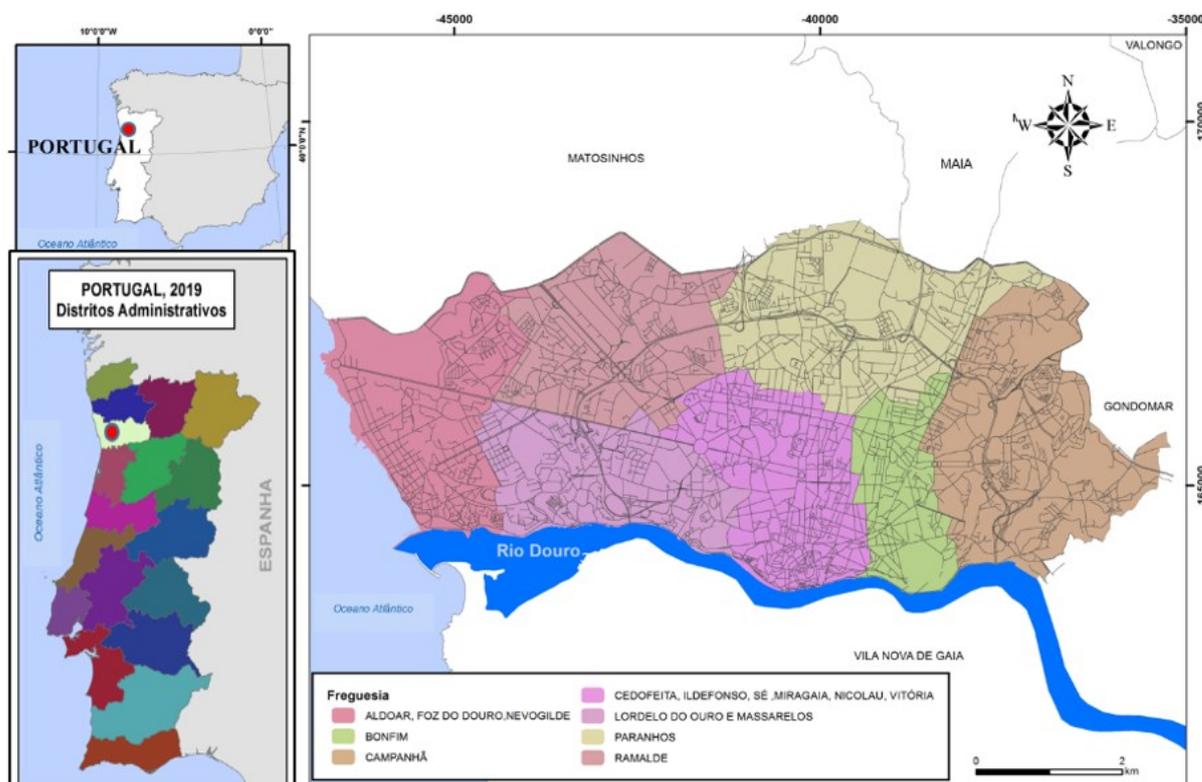


Figura 1.2- Mapa de localização de Porto, Portugal, e suas freguesias

⁵ A região administrativa que no Brasil denomina-se município, em Portugal denomina-se concelho.

⁶ A região administrativa denominada distrito, em Portugal, assemelha-se a estado, no Brasil.

⁷ O que é denominado no Brasil como regionais, em Portugal denomina-se freguesias.

A área de estudo em Porto compreende todo o município, contudo, com foco para aquelas regiões com maior suscetibilidade aos movimentos de massa em taludes de solo.

Após o reconhecimento de campo e aplicação dos critérios de escolha dos taludes, que estão descritos no CAPÍTULO 3, foram selecionados 8 taludes conforme se apresenta na Figura 1.3. A caracterização e descrição detalhada destes taludes está no APÊNDICE A.

Foram priorizadas as áreas: i) oriental, devido a presença da unidade geotécnica de xisto grauváquico mapeada em PORTO (2003) que por vezes origina solos pouco espessos, arenopregulhosos, e com estruturas reliquias que condicionam escorregamentos; ii) ocidental, a qual também possui solos originados de xistos e gnaisses, além do próprio granito.

Os taludes são denominados nesta pesquisa de TS-C1, TS-C2, TS-C3, TS-C4 e TS-C5, em Campanhã, e TS-F1, TS-F2 e TS-A1, na Foz do Douro e Aldoar.

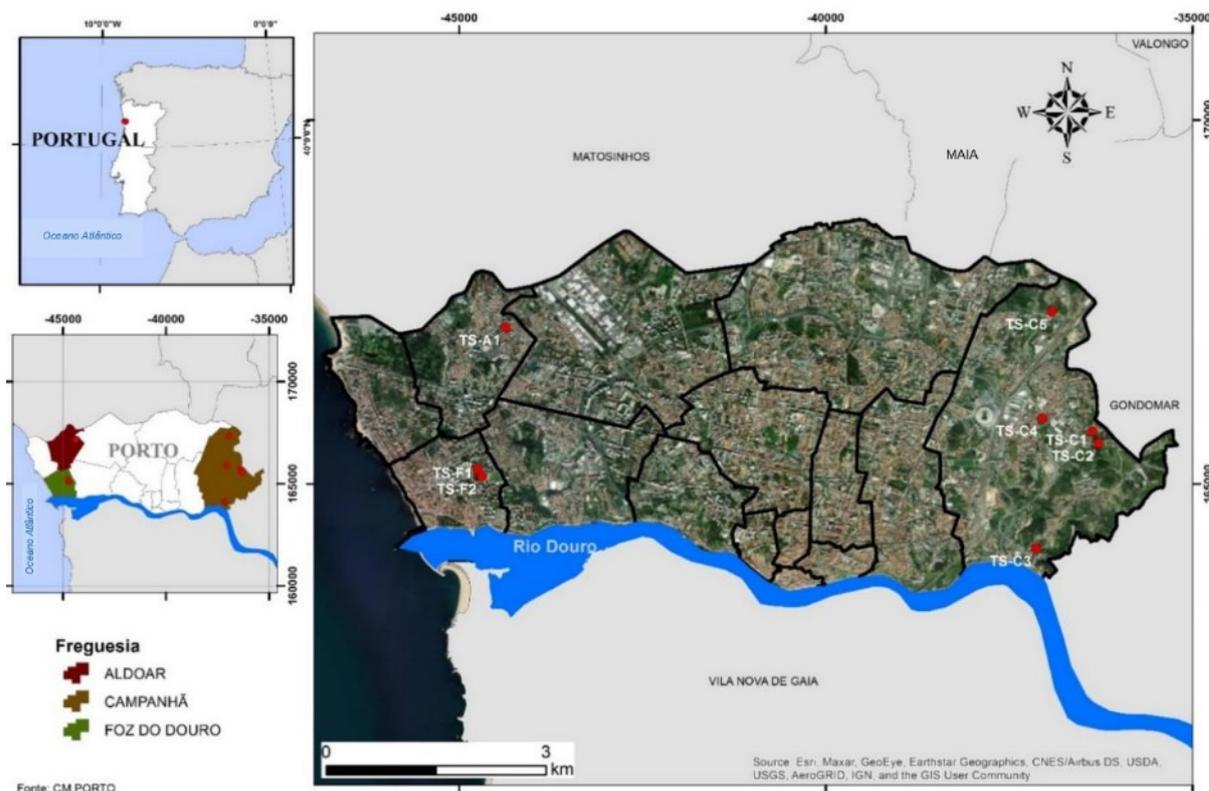


Figura 1.3- Localização dos taludes avaliados quanto ao risco, no município do Porto, Portugal

1.4.2.2. Contagem-MG, Brasil

O município de Contagem faz divisa com Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, Brasil. Possui área da unidade territorial de 194,3 km² e população de 603.442 habitantes, sendo que a regional Vargem das Flores, uma das 8 regiões administrativas do município e em destaque na Figura 1.4, ocupa 43,6% da área do município (84,74 km²), com

população de 55.238 habitantes, o que representa 9,2% da total. As outras regionais de Contagem são: Petrolândia, Sede, Nacional, Ressaca, Eldorado, Riacho e Industrial (IBGE, 2010 segundo BIDU, 2014).

A área foco dos estudos de caso foi a Regional Vargem das Flores, devido à importância da represa Vargem das Flores para o abastecimento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte e o papel dos processos erosivos e movimentos de massa, comuns na região, no assoreamento dos cursos d'água que abastecem a represa, além dos riscos que esses processos acarretam para a segurança da população. Ainda na Figura 1.4, observam-se áreas assinaladas em vermelho, que representam processos erosivos avançados (ravinas e voçorocas) identificados nos trabalhos de campo e em imagens de satélite; com destaque para a Voçoroca da Vila feliz, onde foram realizados os ensaios de campo e coleta de amostras para ensaios de laboratório. O mapa em destaque trata-se da Bacia Hidrográfica de Vargem das Flores, que é considerada uma APA – Área de Preservação Ambiental, conforme Lei Estadual nº 16.197, de 2006.

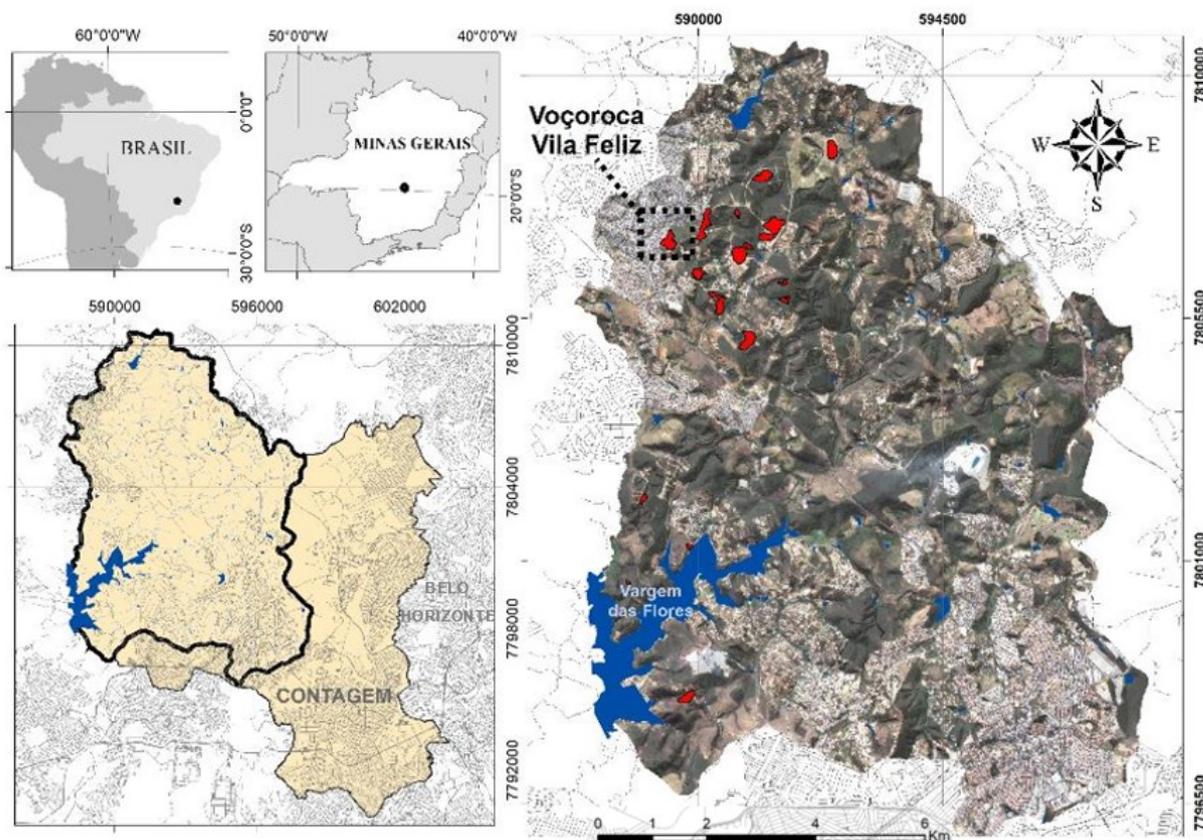


Figura 1.4- Mapa de localização da área de estudo em Contagem-MG (Adaptado de R. Jordan)

A análise realizada em Contagem foi multiescalar, de acordo com os objetivos específicos, conforme a seguir:

1. Recomendações conceituais para cartografia de risco: as diretrizes para elaboração de cartas de perigo de processos erosivos e escorregamentos e carta de aptidão geotécnica para urbanização considera a unidade de análise a Bacia Hidrográfica de Vargem das Flores (pertencente a APA Vargem das Flores), conforme em destaque na Figura 1.4.
2. Realizar ensaios de caracterização geotécnica: a área de estudo escolhida foi a voçoroca da Vila Feliz, assinalada na Figura 1.4. Contudo, foram coletadas amostras representativas dos horizontes A, B e C do solo residual de gnaiss, para possibilitar a utilização dos resultados em outras escalas de análise, já que os solos são relativamente homogêneos dentro do município.
3. Aplicar o método *FMEA* e analisar riscos com a utilização de fichas de campo: foram escolhidos 12 setores de risco de escorregamento de solo na Regional Vargem das Flores, já mapeados pelo PMRR (CONTAGEM, 2017), e revisitados pela autora. A Figura 1.5 apresenta a imagem de telas do *web map* Georiscos Contagem, sendo que em A), pode-se visualizar as manchas de risco dos setores analisados; e em B), o enquadramento dos setores à noroeste de Contagem (limite do município em linha preta), e na Regional Vargem das Flores (limite da regional em linha branca). Na Tabela 1.1, apresenta-se a lista com a denominação dos setores analisados, e grau de risco segundo PMRR.

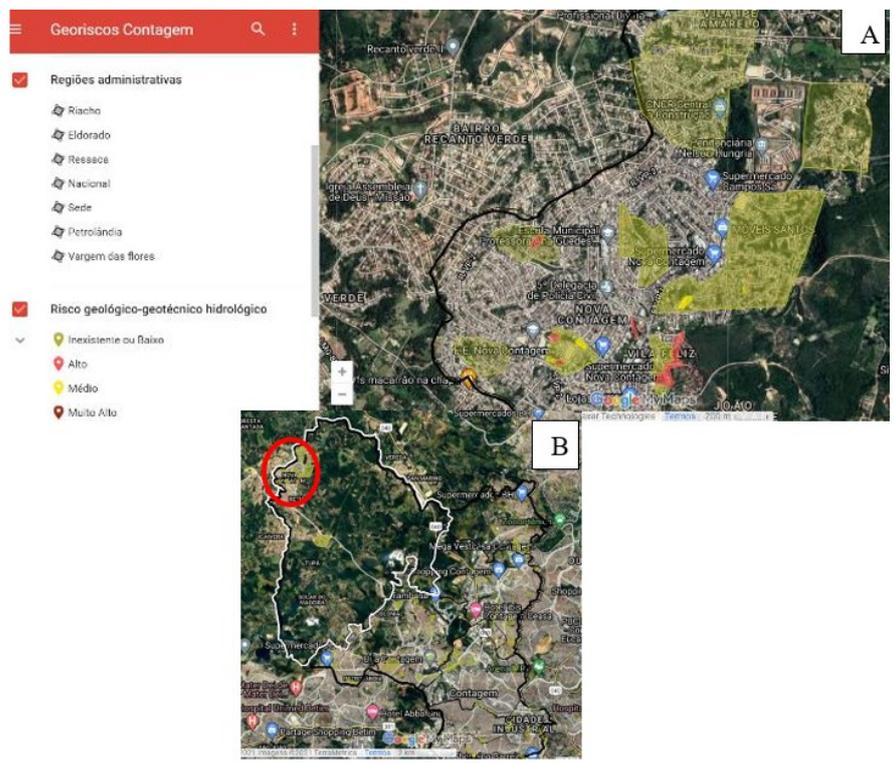


Figura 1.5- Telas do Georiscos Contagem com a imagem das áreas de risco analisadas

Tabela 1.1- Setores de risco de escorregamento de solo analisados

Área	Denominação do setor nesta pesquisa	Processos	Estimativa de domicílios segundo PMRR	Grau de risco Segundo PMRR ¹
58 – Vila Bastilha, carta 58	A58-S1	Escorregamentos de solo	7	R3
	A58-S2	Escorregamentos de solo	5	R2
	A58-S3	Escorregamentos de solo e aterro	2	R2
	A58-S4	Escorregamentos de solo	4	R3
63 – Vila feliz	A63-S1	Escorregamento de solo	6	R3
61 – Vila Estaleiro I	A61-S1	Escorregamento de solo	5	R2
	A61-S2	Escorregamento de solo	1	R3
	A61-S3	Escorregamento de solo	2	R2
57 – Vila Barroquinha	A57-S1	Escorregamento de solo		R3
125 - Beco Divino Cardoso	A125-S1	Escorregamento de solo	11	R3
125 - Beco Maria José Chiodi	A125-S2	Escorregamento de solo, queda de blocos	1	R1

Nota 1: a descrição dos graus de risco segundo PMRR (CONTAGEM, 2017) encontra-se no APÊNDICE B.

1.4.3. *Os produtos da tese*

O detalhamento dos métodos e materiais utilizados para obtenção dos produtos e resultados estão nos artigos técnicos (nos apêndices), e no capítulo 3 PROPOSTA METODOLÓGICA. Contudo, apresenta-se neste item, uma síntese da metodologia para obtenção de cada produto:

1) *Aplicação e adaptação de metodologia internacional e nacional (do Brasil e Portugal) de gestão e análise de risco no âmbito municipal de Porto e Contagem.*

Foi realizada uma leitura comparativa das metodologias de gestão e análise de risco de ABNT NBR ISO 31000 (2018); ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012); ONU (2015); UNDRR (2019); BRASIL (2012); CPRM (2018); ANPC (2009); PORTUGAL (2006). Os principais pontos de análise foram: verificar os conceitos e critérios de classificação de risco, perigo, consequências; recomendações sobre análise qualitativa e/ou quantitativa e aplicação nos municípios, em termos de práticas atuais e futuras. Após, estabeleceu-se uma base conceitual comum entre as metodologias citadas, com algumas ressalvas em termos e nomenclaturas. De acordo com essas referências pode-se gerir e analisar riscos em seis etapas: 1) estabelecimento do contexto; 2) identificação dos riscos; 3) análise e avaliação dos riscos; 4) estratégias para prevenção e mitigação; 5) monitoramento dos riscos; 6) revisão e análise crítica. A comunicação e relato é citada como uma atividade que deve permear todas as outras. Cada uma dessas etapas foi detalhada na proposta metodológica, buscando adequação e proposições para a escala local dos municípios do Porto e Contagem. As referências para aplicação do método

em escala local foram CONTAGEM (2017); CAMPOS (2011); BORGES (2017); PORTO (2003), dentre outras. Tanto em Porto quanto Contagem, foram identificadas e/ou revisitadas áreas de risco, as quais receberam notas de classificação quanto ao perigo e consequências. Os setores de risco foram hierarquizados e foram indicadas propostas de prevenção, mitigação e/ou correção com ações técnicas estruturantes, ou ações não estruturantes. Para consolidação das análises de risco e apresentação dos resultados em matriz e tabela, utilizou-se como referência o método *FMEA*. Este produto está apresentado nos capítulos 3- PROPOSTA METODOLÓGICA e capítulo de SÍNTESE DOS RESULTADOS.

2) *Banco de dados e Web Map com mapa de pontos de ocorrências e áreas de risco de Contagem.*

Primeiramente, foi cedida pela Defesa Civil de Contagem uma tabela em excel que continha as informações de ocorrências. Optou-se por realizar um protótipo do *Web Map* com pontos de ocorrências de 2017, que somaram 1178 para todo município (117 em Vargem das Flores), e áreas de risco do PMRR (CONTAGEM, 2017). A tabela foi organizada de forma a categorizar as ocorrências da Defesa Civil em: risco construtivo; interdição; escorregamento; remoção; abatimento do solo; solapamento; drenagem; erosão; inundação; alagamento; desabamento; terreno impróprio; outros/ sem dados. Havia ocorrências fora desta categorização, as quais foram avaliadas e relocadas para a nova classificação. Várias ocorrências estavam sem coordenadas ou com ajustes a fazer no endereço. Após a organização da tabela de dados, foi criado um mapa de pontos de ocorrências no software ArcGIS, cuja camada sobrepunha o mapa de áreas de riscos do PMRR. Foram criados arquivos do tipo *kmz* das camadas com pontos de ocorrências e áreas de risco, e as mesmas foram importadas pelo aplicativo *My Maps* do Google. Foi criada uma conta no google com o e-mail da Defesa Civil, para armazenar estas informações, onde a autora da pesquisa, com apoio voluntário de extensionistas da PUC Minas e colaboradores da Defesa Civil ficaram responsáveis pela edição e georreferenciamento das ocorrências. O *Web Map* foi denominado *Georiscos Contagem*. Foi utilizado o ArcGIS disponibilizado pela Defesa Civil, e o aplicativo de uso gratuito Google Maps (*My Maps*). O *Georiscos Contagem* foi utilizado e divulgado pela Defesa Civil no período chuvoso no fim de 2019 e início de 2020, contudo não se encontra mais disponível para a população, pois aguarda atualizações, caso seja de interesse do município. Junto a este produto foi realizada uma análise da comunicação de riscos em Contagem, e escrito o 1º artigo da tese, apresentado no APÊNDICE F – Artigo 1: Comunicação em Geociências na gestão de riscos e desastres ambientais.

3) *Modelo de roteiro de campo, com indicação de materiais e métodos, para Contagem e Porto, e sugestão de Procedimento Operacional Padrão (POP).*

Primeiramente, foi sugerido para a Defesa Civil de Contagem a criação de um modelo de roteiro de campo com detalhamento de como planejar o monitoramento de risco, bem como a criação de um POP para registrar esta atividade. A sugestão foi acolhida e, utilizando a técnica de *brainstorming* e escuta ativa, coletaram-se sugestões voluntárias dos técnicos e extensionistas. Foram realizadas alterações e inclusões a partir da aplicação em Porto, de forma a incluir materiais e métodos e atender aos dois municípios. O produto está apresentado no APÊNDICE C – Modelo de planejamento de campo e procedimento operacional padrão (POP) para monitoramento de riscos.

4) *Modelo de ficha de campo (com tabelas de perigo e consequências), para análise de risco de escorregamentos de solo, em Contagem e Porto.*

Foi desenvolvida uma ficha de campo para perigo e consequências de escorregamentos de solo. Para perigo, procurou-se reunir além dos indícios de instabilidade (trincas, surgências, movimentação de árvores e estreitamentos, degraus de abatimento), os condicionantes geomorfológicos, geológico-geotécnicos e de cobertura vegetal (altura e inclinação do talude, forma do talude e sua condição de concentração de água, cobertura vegetal benéfica); bem como se considerou o histórico de ocorrências. Para consequências, procurou-se reunir parâmetros de exposição (ocupação do talude, relação entre afastamento da moradia à base do talude/altura do talude); parâmetros de vulnerabilidade das edificações (condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. e largura da plataforma para contenção do escorregamento antes que atinja a moradia ou estrutura); e condicionantes do contexto urbanístico (como áreas turísticas, de interesse ambiental, social ou arqueológico). Cada parâmetro recebeu uma nota de 3, 9, 27 ou 81 pontos de acordo com seus graus de ocorrência ou relevância, sendo quanto maior a pontuação, maior criticidade. E para cada parâmetro buscou-se a validação em referências, ocorrências e/ou análises de estabilidade. Por exemplo, para se definir que as alturas de talude menores que 5 m receberiam pontuação 3; entre 5 e 10 m receberiam pontuação 9; entre 10 e 15 m, 27 pontos; e alturas maiores que 15 m receberiam 81 pontos, foram realizadas análises de estabilidade com parâmetros geotécnicos das áreas de estudo, a fim de estipular esses intervalos de alturas. Depois de somar os parâmetros de perigo faz-se o enquadramento do perigo em 5 classes. O mesmo procedimento foi realizado para consequências. A metodologia detalhada é apresentada no capítulo 3- PROPOSTA METODOLÓGICA, bem como no artigo técnico 2.

5) *Modelo de tabela para aplicação do FMEA, para Contagem e Porto.*

Após a determinação da classe de perigo em uma das 5 classes (Baixa- 1, Média-baixa- 2, Média- 3, Média-alta- 4, Elevada- 5); e determinar as classes de consequências (Residual- 1, Reduzida- 2, Moderada- 3, Acentuada- 4, Crítica- 5), esses resultados foram aplicados em uma matriz de risco de ordem 5 x 5 (perigo *versus* consequências). A localização do resultado da análise do talude na matriz indica a sua classe de risco. Essa matriz de risco é apresentada junto com uma tabela com colunas indicando a localização do talude, o modo de falha analisado, causas e efeitos, o resultado do perigo, consequências e risco, bem como ações estruturantes e não estruturantes para diminuir ou erradicar o modo de falha e o risco identificado. Esta é a metodologia *FMEA*, a qual está detalhada no capítulo 3- PROPOSTA METODOLÓGICA e no Artigo 2.

6) *Monitoramento das áreas de risco em Contagem e classificação do risco segundo metodologia proposta na tese e comparação com PMRR, bem como indicação de ações estruturantes e não estruturantes para tratamento dos riscos.*

As áreas de risco da Regional Vargem das Flores, indicadas pelo PMRR (CONTAGEM, 2017) foram revisitadas e avaliadas segundo ficha de campo e método *FMEA* propostos na tese. O resultado foi comparado com o resultado do PMRR, de forma a validar a aplicação do método também em Contagem. Os resultados estão nos capítulos 3- PROPOSTA METODOLÓGICA e capítulo de SÍNTESE DOS RESULTADOS.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Riscos geológico-geotécnicos

2.1.1. Principais referências

Em termos de metas globais para a redução de riscos e desastres, buscou-se a ONU – Organização das Nações Unidas, especificamente a UNDRR (*United Nations Office for Disaster Risk Reduction*), no relatório que essa instituição publicou com o acompanhamento das ações após o Marco de Sendai (UNDRR, 2019). Nesse relatório, o Sr. António Guterres, Secretário Geral da ONU, resume a situação mundial frente aos riscos e desastres da seguinte forma: “*If I had to select one sentence to describe the state of the world, I would say we are in a world in which global challenges are more and more integrated, and the responses are more and more fragmented, and if this is not reversed, it’s a recipe for disaster.*” A preocupação de Guterres é que os desafios globais são cada vez mais integrados, e a resposta a eles é cada vez mais com soluções fragmentadas, e dessa forma entende que é um caminho para desastres.

Nesse contexto, a UNDRR (2019) sugere uma mudança de paradigma na abordagem, e incorpora mais variáveis no entendimento global do risco. A Figura 2.1 ilustra a seguinte proposta de mudança de paradigma: i) em 2005, quando do Marco de Hyogo, o risco era o produto de perigo (de terremoto, tsunami, inundação ribeirinha, ciclone, tempestade) *versus* exposição (de estruturas) *versus* vulnerabilidade (econômica), e as escalas recomendadas para análise eram global e nacional; ii) em 2015, quando do Marco de Sendai, o risco era o produto de perigo (de terremoto, vulcanismo, tsunami, inundação, incêndio, biológico e tecnológico) *versus* exposição (de estruturas, agricultura, serviços básicos) *versus* vulnerabilidade (econômica, social, ambiental), com escala de análise recomendada global, nacional e local, e avaliação de impactos nos sistemas humano, ecológico e econômico; iii) para 2020 e além, tem-se a proposta de GRAF – *Global Risk Assessment Framework*, com o risco influenciado pelo perigo (de terremoto, vulcanismo, tsunami, inundação, seca, incêndio, biológico, químico, industrial, NATECH-desastres naturais que podem desencadear desastres com substâncias perigosas, nuclear e radiológico), pela exposição (de estruturas, agricultura, serviços básicos, habitações, sistemas críticos, subsistemas, capital natural), e pela vulnerabilidade (econômica, social, ambiental, de governança, legal, segurança), com escala de análise recomendada global, regional, nacional, subnacional, metropolitana, e local), e avaliação de impactos nos sistemas humano, ecológico, econômico, político, cultural, e financeiro.

Percebe-se, portanto, um aumento das variáveis relativas à perigo, exposição, vulnerabilidade, escalas de análise e sistemas impactados, o que torna o tema mais complexo e sistêmico. As consequências nesta abordagem são as perdas e danos quantificadas ou qualificadas a partir da mensuração de perigo, exposição e vulnerabilidade.

Observou-se durante a pesquisa bibliográfica que os termos gerais e conceitos em relação ao risco possuem grande variabilidade de definições, inclusive devido às mudanças de paradigmas, o que torna ainda mais importante a definição prévia de quais conceitos são adotados na pesquisa.

Foi realizada a pesquisa bibliográfica comparativa das principais referências nacionais, para o Brasil e Portugal, além dos preceitos da ONU (UNDRR, 2019). A Tabela 2.1 apresenta o conceito de perigo (ou perigosidade), vulnerabilidade, consequências e risco segundo ANPC (2009) e CPRM (2018), bem como considerações sobre a matriz de risco utilizada e etapas de gestão. Também são apresentadas as indicações da ABNT NBR ISO 31000 (2018), ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) e ABNT ISO GUIA 73 (2009).

Observa-se que ANPC (2009) não cita a comunicação e relato como uma etapa de gestão de risco. Contudo, a considera na Lei de Base da Proteção Civil (PORTUGAL, 2006), nas produções técnicas, e sites informativos disponíveis aos portugueses. CPRM (2018) utiliza o termo perigo, e delimita um período de tempo para ocorrer, o que se assemelha à probabilidade qualitativa e perigo. Apesar de não considerar os condicionantes geológicos e geomorfológicos para determinar a classe de perigo, os autores fazem um detalhado estudo anterior para definir áreas críticas a partir de critérios topográficos, baseados em estatísticas de movimentos de massa no Brasil e Japão. Em relação à vulnerabilidade, os autores adotaram somente a vulnerabilidade estrutural das moradias. A ABNT NBR ISO 31000 (2018) e respectivo ABNT ISO GUIA 73 (2009) conceitua probabilidade como “a chance de algo acontecer, não importando se de forma definida, medida ou determinada ainda que objetiva ou subjetivamente, qualitativa ou quantitativamente”. O conceito qualitativo de probabilidade aproxima-se do conceito de perigo.

A partir da análise das referências, adota-se nesta pesquisa $\text{Risco} = \text{Perigo (P)} \times \text{Consequências (C)}$, com abordagem qualitativa, contudo, com índices quantitativos ou semiquantitativos a partir da ficha de campo desenvolvida para tal, com parâmetros fisiográficos (relevo, vegetação e ação da água), geológico-geotécnicos, indícios de estabilidade, e também histórico de ocorrências para estimar a probabilidade. Em relação à matriz de risco, adota-se a 5x5 (perigo e consequências), baseada principalmente em ANPC

(2009). No CAPÍTULO 3- PROPOSTA METODOLÓGICA apresentam-se detalhes das metodologias aplicadas.

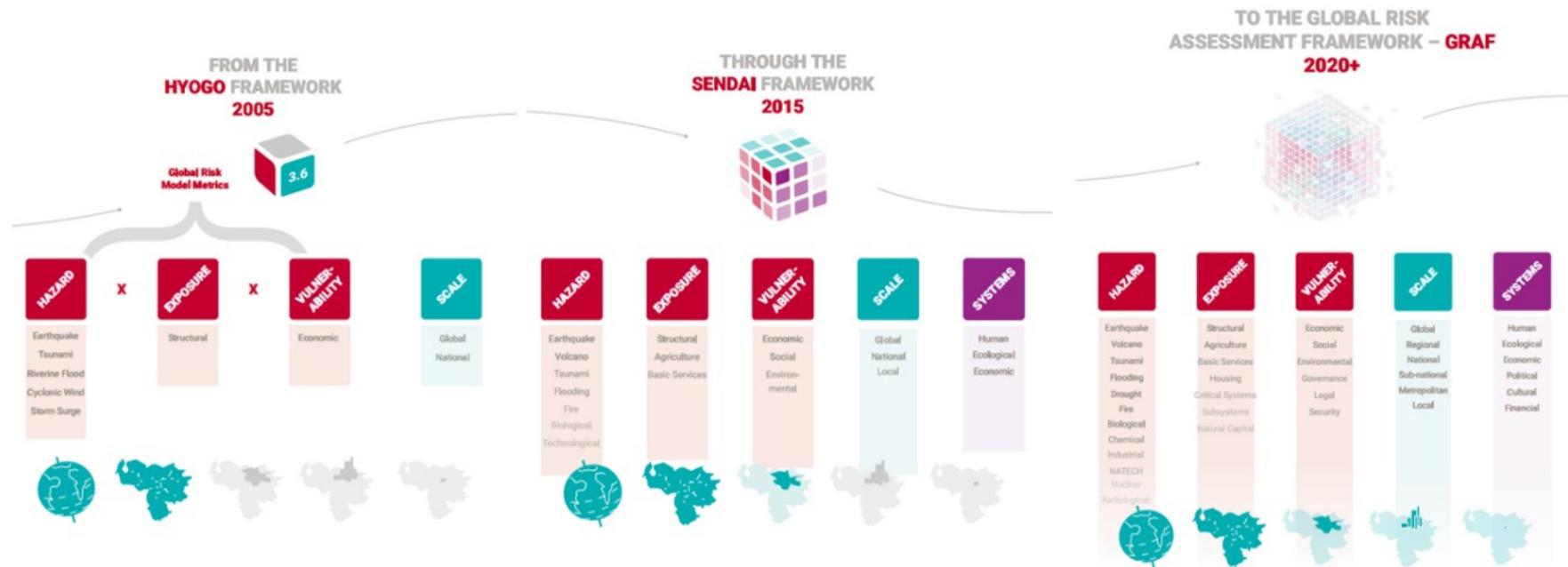
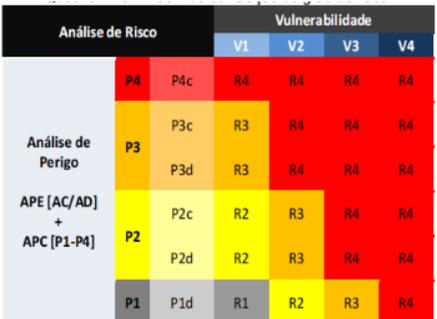
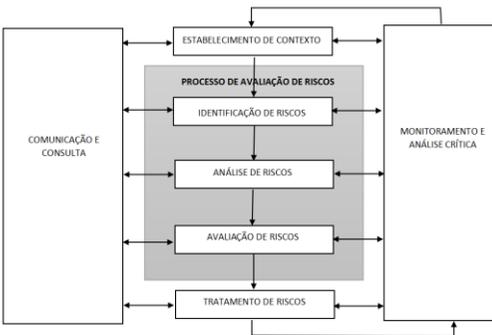


Figura 2.1- Mudança de paradigma: da estrutura de avaliação de riscos de Hyogo, 2005 até a estrutura global de avaliação de riscos, GRAF- Global Risk Assessment Framework (UNDRR, 2019).

Tabela 2.1- Conceitos dos métodos utilizados e recomendações

Referências	Perigo e conceitos afins	Consequências e afins	Riscos	
ANPC, 2009	<p>Não usa o termo perigo na matriz de risco. Usa Probabilidade, que considera potencial/frequência de ocorrências com consequências negativas para a população, bens ou ambiente, e Perigo – processo ou ação natural, tecnológico ou misto susceptível de produzir perdas e danos. Sugere uma tabela com critérios qualitativos e quantitativos para a escolha da classe de probabilidade.</p>	<p>Não usa o termo consequências, mas sim Gravidade, em termos de escala de intensidade das consequências negativas para a população, bens e ambiente. Sugere uma tabela com critérios qualitativos para a classificação. E Vulnerabilidade – potencial para gerar vítimas, bem como perdas econômicas para os cidadãos, empresas ou organizações, em resultado de uma dada ocorrência.</p>	<p>Risco é a probabilidade de ocorrência de um processo (ou ação) perigoso e respectiva estimativa das suas consequências. Indica o processo de caracterização do risco em 4 etapas: 1-situação de referência, 2-identificação do risco, 3-análise do risco, 4- estratégias de mitigação. O monitoramento e revisão é apresentado como uma atividade que perpassa as outras. Apresenta uma matriz de risco de 5 x 5 (probabilidade x gravidade). R=Probabilidade x Gravidade.</p>	
CPRM, 2018	<p>Usa o termo Perigo - Condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável dentro de um certo período de tempo. Sugere 4 classes de Perigo que diferem entre si, por critérios qualitativos. São considerados os indícios de instabilidade como parâmetros de perigo.</p>	<p>Nesta referência, os autores optaram por avaliar somente o fator Vulnerabilidade e especificamente das construções. A partir de informações de BRASIL, 2007 e adaptações, sugere 4 classes de vulnerabilidade que diferem em condições estruturais da moradia.</p>	<p>Risco - Relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco. Assim, considera-se o risco como uma função do perigo, da vulnerabilidade e dano potencial” (TOMINAGA, 2012, p.151). Contudo, o autor considera o risco como perigo x vulnerabilidade das construções. R=Perigo x Vulnerabilidade das construções.</p>	
ABNT NBR ISO 31000 (2018); ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) e ABNT ISO GUIA 73 (2009)	<p>Na terminologia de gestão de riscos, a palavra probabilidade é utilizada para referir-se à chance de algo acontecer, não importando se de forma definida, medida ou determinada ainda que objetiva ou subjetivamente, qualitativa ou quantitativamente, ou se descrita utilizando-se termos gerais ou matemáticos.</p>	<p>Vulnerabilidade são propriedades intrínsecas de algo resultando em suscetibilidade a uma fonte de risco que pode levar a um evento com uma consequência.</p>	<p>O risco é muitas vezes expresso em termos de uma combinação de consequências de um evento (incluindo mudanças nas circunstâncias) e a probabilidade (likelihood) de ocorrência associada. Estabelece as diretrizes de gestão riscos. Indica o processo em: 1-estabelecimento do contexto, 2-identificação do risco, 3-análise do risco, 4- avaliação do risco, 5- tratamento dos riscos. O monitoramento e análise crítica, e a comunicação e consulta perpassa as outras. Apresenta o método da matriz de risco como exemplo, pois cita mais 30 métodos. Não indica classes de probabilidade ou consequências. R=Probabilidade x Consequências.</p>	

2.1.2. *Termos gerais e conceitos*

Os termos gerais e conceitos utilizados nesta pesquisa foram obtidos e resumidos de ANPC (2009), e com complementos de ABGE (2013), ABNT NBR ISO 31000 (2018), e ABNT ISO GUIA 73 (2009) conforme a seguir:

- Perigo ou Perigosidade (*Hazard*): Processo ou ação natural, tecnológica ou mista suscetível de produzir perdas e danos identificados, ou seja, podendo causar uma consequência indesejável, num intervalo de tempo.
- Severidade (*Severity*), Sv: Capacidade do processo ou ação para danos em função da sua magnitude, intensidade, grau, velocidade ou outro parâmetro que melhor expresse o seu potencial destruidor. Esse conceito reporta exclusivamente a grandeza física do processo ou ação e não as suas consequências, pois essas dependem também da exposição.
- Suscetibilidade (*Susceptibility*), S: Incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada por meio dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência. Representável cartograficamente por meio de mapas de zoneamento, sobretudo nos casos dos processos naturais e mistos identificados.
- Probabilidade (*Probability*), P: Probabilidade de ocorrência de um processo ou ação (natural, tecnológica ou mista) com potencial destruidor ou para provocar danos, com uma determinada severidade, numa dada área e num dado período de tempo. Acrescenta-se dois subtipos de probabilidade segundo ABGE (2013):
 - Probabilidade estatística (frequência ou fração): resultado de uma experiência repetitiva como jogar cara ou coroa. Ela inclui também a ideia de variabilidade de população. Tal número é chamado “objetivo” ou probabilidade de frequência relativa porque ele existe no mundo real e é, em princípio, mensurável pela realização de experimentos.
 - Probabilidade subjetiva (grau de crença): medida quantificada da crença, julgamento, opinião ou confiança na possibilidade de um resultado, obtida por meio da consideração de toda a informação disponível, honesta e justamente, com o mínimo de tendenciosidade. A probabilidade subjetiva é afetada pelo estado de entendimento de um processo, julgamento relativo a uma avaliação,

ou a qualidade e a quantidade da informação. Esta pode mudar com o tempo, bem como o conhecimento muda.

- Possibilidade (*likelihood*): Utilizada como a descrição qualitativa da probabilidade ou frequência (ABGE, 2013). A ABNT NBR ISO 31000 (2018) e ABNT ISO GUIA 73 (2009), não faz a distinção entre probabilidade e possibilidade de ocorrência, mantendo a análise qualitativa ainda como probabilidade.
- Exposição ou elementos expostos ou em risco (*Elements at risk, exposure*), E: população, propriedades ou estruturas, expostos (potencialmente atingível) a um processo perigoso. Pode ser expresso em representação pontual, linear ou zonal em mapas. Esses elementos expostos podem ser subdivididos em elementos expostos estratégicos, com importância vital e/ou fundamentais para a resposta à emergência, como hospitais, escolas, quartéis, rede de água, energia, telecomunicações.
- Vulnerabilidade (*vulnerability*), V: Grau de perda de um ou mais elementos expostos, resultados de um processo natural, tecnológico ou misto de determinada severidade. Expressa numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total). Reporta-se aos elementos expostos e pressupõe a definição de funções ou matrizes de vulnerabilidade reportadas ao leque de severidade de cada perigo considerado. Contudo, a análise qualitativa não considera a vulnerabilidade como um número, podendo ser expressa também de forma não quantitativa.
- Valor dos elementos expostos (*Value*), VE: Valor monetário (também pode ser estratégico) de elementos em risco que deverá corresponder ao custo de mercado da respectiva recuperação, tendo em conta o tipo de construção ou outros fatores que possam influenciar esse custo. Deve incluir a estimativa das perdas econômicas diretas e indiretas por cessação ou interrupção de funcionalidade, atividade ou trabalho. Reporta-se aos elementos expostos.
- Consequência ou Dano Potencial (*Consequence/ potencial loss*), C: Prejuízo ou perda esperada num elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado do impacto de um processo (ou ação) perigoso natural, tecnológico ou misto, de determinada severidade. Reporta-se aos elementos expostos ($C = V * VE$).
- Risco (*Risk*), R: Probabilidade de ocorrência de um processo (ou ação) perigoso e respectiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos e indiretos ($R = P * C$).

- *Análise Qualitativa de Risco (Qualitative Risk Analysis)*: análise que utiliza forma verbal, escalas de classificação descritivas, ou numéricas para descrever a magnitude das consequências em potencial e a probabilidade destas consequências ocorrerem (ABGE, 2013).
- *Análise Quantitativa de Risco (Quantitative Risk Analysis)*: análise baseada em valores numéricos de probabilidade, vulnerabilidade e consequências, resultando em um valor numérico de risco (ABGE, 2013).

Nesta pesquisa apresenta-se uma proposta de *Análise Qualitativa de Risco*, com a seguinte equação de risco (R):

$$R = P * C$$

Em que:

P: perigo ou probabilidade de ocorrência de um evento danoso a partir de um grau de crença ou probabilidade subjetiva, considerando também os indícios de instabilidade e condicionantes fisiográficas e geológico-geotécnicas.

C: consequências, perda ou dano potencial dos elementos expostos a partir de análises qualitativas da exposição, vulnerabilidade e valor dos elementos expostos. Não será calculado o valor monetário das consequências, a qual terá medida qualitativa.

Apesar da análise de risco proposta ser qualitativa, buscam-se algumas informações quantitativas em relação às ocorrências de movimentos de massa, parâmetros de resistência dos materiais, e por vezes realiza-se o cálculo do fator de segurança do talude e o associa a graus diferenciados de índices de perigo.

A equação $R = P * C$ é utilizada para o cálculo do risco. Contudo, devido a importância do tema gestão de riscos para esta pesquisa, em alguns momentos de discussão conceitual e de hierarquização dos riscos adota-se a equação citada por SHOOK (1997) apud NOGUEIRA (2002), que acrescenta a variável g (gestão) na fórmula de risco, conforme a seguir, para indicar que ações de gestão podem erradicar ou reduzir o risco, independente da redução das probabilidades de ocorrência de um evento danoso. O risco é inversamente proporcional à gestão, ou seja, quanto mais efetiva a gestão, menor o risco.

$$R = (P * C) / g$$

2.1.3. *A Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil de Portugal*

A instituição denominada ANEPC⁸ – Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil de Portugal (antiga ANPC), sob a tutela do Ministério da Administração Interna do Estado, conforme Decreto-Lei n.º 45/2019, de 1 de abril, é a responsável pelas atribuições no âmbito do planeamento civil de emergência, da previsão e gestão de riscos e planeamento de emergência de proteção civil, da atividade de proteção e socorro, dos recursos de proteção civil e no âmbito da atuação dos bombeiros.

A direção central da ANEPC encontra-se em Carnaxide, distrito de Lisboa, e sua organização consta de 5 direções regionais, e mais 18 distritais, sendo Porto, uma dessas direções distritais (<http://www.prociv.pt/pt-pt/PROTECAOCIVIL/ANPC/QUEMSOMOS/Paginas/default.aspx>). Em julho de 2019 foi publicada a 1ª atualização da Avaliação Nacional de Riscos de Portugal (ANEPC, 2019), na qual estão analisados os seguintes riscos: nevões, ondas de calor, ondas de frio, ventos fortes, secas, cheias e inundações, galgamentos costeiros, sismos, tsunamis, movimentos de massa, erosão costeira em falésias, acidentes no transporte rodoviário, acidentes no transporte ferroviário, acidentes fluviais/marítimos, acidentes aéreos, acidentes no transporte terrestre de matérias perigosas, acidentes em infraestruturas fixas de transporte de matérias perigosas, incêndios urbanos, colapso de túneis e pontes, ruptura de barragens, acidentes em instalações fixas com substâncias perigosas, colapso de edifícios com elevada concentração populacional, emergências radiológicas e incêndios rurais. Contudo, a ANEPC informa que esses mapeamentos em escala nacional não substituem a cartografia em escala local e regional, realizada pela direção distrital e outros órgãos e instituições colaborativas da Proteção Civil.

Em relação à comunicação de riscos, Portugal possui o site “Plataforma Nacional para a Redução do Risco de Catástrofes” (<https://www.pnrrc.pt/>) que dentre outras informações relevantes, apresenta o link para o *InfoRiscos, Web Map* onde se pode digitar a região que se encontra e visualizar os riscos daquele território. O link de acesso é <http://www.pnrrc.pt/index.php/geovisualizador/>.

No APÊNDICE A – Contextualização e estudos de caso em Porto, Portugal apresentam-se informações sobre a Proteção Civil de Porto.

⁸ Antes de 2019, esta instituição denominava-se ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil. Portanto, algumas referências bibliográficas anteriores a 2019 ainda mantêm essa sigla.

2.1.4. *A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil do Brasil*

A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC) é o órgão responsável por coordenar as ações de Proteção e Defesa Civil e está sob a tutela do Ministério do Desenvolvimento Regional (<https://www.gov.br/mdr/pt-br/composicao/secretarias-nacionais/protecao-e-defesa-civil>, em 29/10/21). Essa secretaria se articula com as direções estaduais e municipais de Defesa Civil, com o objetivo de reduzir os desastres e praticar ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação. Na gestão atual, possui a meta de fortalecimento das defesas civis municipais, pois entende que os desastres ocorrem nos municípios, e o órgão de atuação municipal é o que está à frente tanto das ações preventivas, quanto no primeiro atendimento de resposta a um desastre ou evento danoso. A seguir, alguns órgãos que se articulam com a SEDEC na gestão, redução, prevenção de riscos e resposta a desastres.

- O CEMADEM – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais é o órgão responsável pelo serviço de monitoramento e alerta, a partir de contribuições de instituições como: i) do CPRM (Serviço Geológico do Brasil) para mapeamento de riscos e desastres, mapeamentos geológico-geotécnicos; ii) de previsões meteorológicas, de instituições como o INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>, em 30/10/21); iii) e de articulação com o CENAD. O CEMADEM está sob tutela do Ministério da Ciência, tecnologia e Inovações;
- O CENAD - Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres é o órgão sob tutela do Ministério de Desenvolvimento Regional, responsável por comunicar o alerta de riscos e desastres para os estados e municípios e articulação com os mesmos. Para o período de novembro/2021 a abril/2022, em parceria com o CEMADEM, organizaram duas estratégias para melhorar a comunicação: i) a partir de uma sala virtual de monitoramento 24 horas por dia, 2 equipes sendo uma de cada órgão, ficarão em contato direto com as CEDEC (Coordenadoria Estadual de Defesa Civil) e COMDEC (Coordenadoria Municipal de Defesa Civil); ii) foram criados grupos de mensagens instantâneas, sendo 1 grupo por estado, com telefones de plantão e equipe designada para tal função (<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/defesa-civil-nacional-desenvolve-estrategias-de-monitoramento-e-alerta-no-periodo-chuvoso>, em 30/10/21).
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil, é um importante órgão do governo federal que atua, dentre outras áreas, na elaboração de cartas de suscetibilidade e riscos em todo o

território brasileiro. Conforme BRASIL (2017), o CPRM entregou a diversos municípios, entre os anos de 2013 e 2015 a Setorização de Riscos Geológicos, por isso é recomendável verificar nas bases dos CPRM quais as informações disponíveis antes de iniciar um mapeamento de riscos municipal, para se ter esses documentos como referência. As cartas temáticas com a setorização de riscos estão disponíveis em (<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia--de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao--de-Riscos-Geologicos-4138.html>). Essas informações foram encaminhadas pelo CPRM para o CEMADEM e CENAD. Na área de educação ambiental e comunicação destaca-se a atuação recente do CPRM nas redes sociais, como os interessantes vídeos no Instagram, do programa “SEXTOU”, que disponibiliza semanalmente às sextas-feiras, informações geológicas relevantes (#cprm #serviçogeologicodobrasil #sgb #sextou #geologia #notícias).

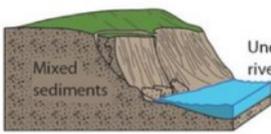
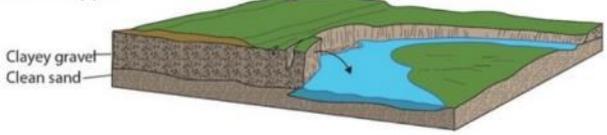
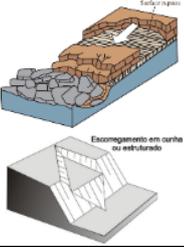
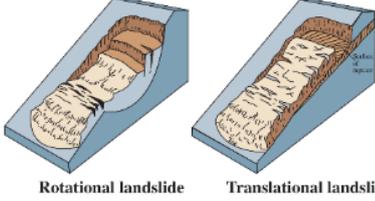
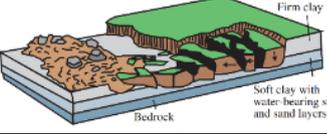
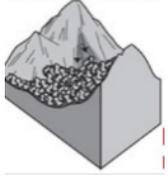
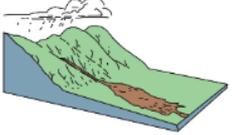
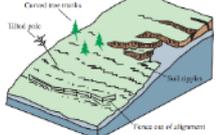
No APÊNDICE B – Contextualização e estudos de caso em Contagem, MG são apresentadas informações sobre a Defesa Civil de Contagem.

2.2. Movimentos de massa

A Tabela 2.2 apresenta a classificação de movimentos de massa conforme VARNES (1978), com ilustrações de USCS (2004). Segundo esses autores, os movimentos de massa de solo e/ou rocha podem ser classificados em: quedas; tombamentos; escorregamentos; espalhamentos; corridas; e movimentos de massa complexos, que são uma combinação de dois ou mais processos.

Os movimentos de massa apresentados na Tabela 2.2 estão descritos nos subitens de 2.2.1 a 2.2.6, e ilustrados com fotos das áreas de estudo, quando possível.

Tabela 2.2- Classificação dos movimentos de massa (Adaptado de VARNES, 1978; com ilustrações de USGS, 2004)

Tipo de Movimento	Tipo de material		
	Rocha	Solo	
		Predominantemente grosso	Predominantemente fino
Queda (Fall) e Rolamento	Queda de rocha	Queda de detritos (debris)	Queda de solo
			
Tombamento (topple)	Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de solo
			
Escorregamento (slide)	Escorregamento de rocha (planar ou cunha)	Escorregamento em detritos	Escorregamento em solo
			
Espalhamento (horizontal spread)	Espalhamento de rocha	Espalhamento de detritos	Espalhamento de solo
			
Corrida/ escoamento (flow)	Corrida de rocha	Corrida de detritos	Corrida de lama
			
	Creep (deep creep)	Creep (soil creep)	
Complexo	Combinação de dois ou mais tipos de movimento de massa		

2.2.1. *Queda e rolamento*

Segundo a ABNT NBR 11682 (2009) a queda de blocos constitui o desprendimento de fragmentos de qualquer tamanho, caindo de certa altura em queda livre ou outra trajetória. Para VARNES, 1978, a queda pode ser de rocha, detritos e/ou solo, conforme a granulometria do material em queda.

2.2.1.1. **Queda e rolamento de blocos de rocha**

A Figura 2.2 ilustra a queda de blocos de um talude de granito no Porto, com superfícies de desprendimento condicionadas por famílias de descontinuidades. Observam-se blocos soltos na base do talude.



Figura 2.2- Queda de blocos em talude de granito na Avenida D. Afonso Henriques, Porto, Portugal (BORGES, 2017).

Em Contagem, observam-se algumas áreas com maciços rochosos de gnaisse. A Figura 2.3 mostra a via conhecida como “Rua da Copasa”, Vila Darcy Ribeiro, na Regional Vargem das Flores, sendo que em A), moradias com risco construtivo e de inundação, pois se encontram às margens de um córrego; e em B), do lado oposto da mesma rua, trechos com risco de quedas de blocos. No trabalho de campo em 22 de junho de 2018, foi observado que o processo de movimento de blocos é potencializado por cortes, principalmente na base do talude.



Figura 2.3- Queda de blocos em talude de gnaiss na “Rua da Copasa”, Vila Darcy Ribeiro, em Contagem.

2.2.1.2. Queda e rolamento de detritos e solo

A Figura 2.4 ilustra a queda de blocos de rocha, detritos e solo em uma falésia da praia de Nazaré, Portugal. A justificativa para as diferentes texturas dos materiais que sofreram queda vem da diversidade litológica da encosta, e dos diferentes graus de intemperismo e discontinuidades visíveis nas camadas. Conforme CORROCHANO et al. (1998, apud RAMALHO et al, 2020), a falésia ao norte de Nazaré é um geossítio de extremo interesse pelas características geológicas únicas para a compreensão da Bacia Lusitânica. De baixo para cima, foram identificados pelos autores: calcários e brechas de dissolução cársticas, arenitos amarelos grosseiros, localmente colapsados, arenitos feldspáticos arcósicos brancos, basaltos olivínicos, conglomerados e arenitos.



Figura 2.4- Queda de blocos, detritos e solo na falésia da praia de Nazaré, Portugal, em junho de 2021 (Foto: Estevam A. Diniz Júnior).

Também na Regional Vargem das Flores, em Contagem, no Beco Maria José Chiodi, foram observadas quedas de blocos, detritos e solo, conforme mostra Figura 2.5. No trabalho de campo do dia 19 de junho de 2018, os moradores da região relataram constantes movimentações próximas às suas casas. Também foram observadas tubulações de lançamento de água servida no talude que potencializam os movimentos de massa.



Figura 2.5- Queda de blocos, detritos e solo no Beco Maria José Chiodi, Contagem.

Quedas de solo é um fenômeno expressivo nas margens dos cursos de água em Contagem, processo que pode estar associado a escorregamentos, tombamentos e desmoronamento de moradias, como se pode observar na Figura 2.6. Nesse local, há uma estrutura de contenção antiga, construída em gabião, mas que não foi suficiente para conter a queda de solo e desmoronamento de parte da moradia.



Figura 2.6- Queda de solo em margens de córrego, Contagem, MG.

2.2.2. Tombamento

Segundo a ABNT NBR 11682 (2009) o tombamento constitui um movimento de determinada massa, em forma de báscula, que gira a partir da base, ou outro determinado eixo. VARNES (1978) descreve tombamento para blocos de rocha, detritos e solo. As condições para ocorrência de tombamento rochoso são descontinuidades com inclinação vertical ou negativa (com mergulho para dentro do talude), associadas  cortes ou exposição natural da face do talude, e/ou associação de água nas descontinuidades.

2.2.2.1. Tombamento de blocos de rocha

A Figura 2.7 ilustra um bloco suscetível  tombamento na Rua da Mocidade da Arrábida em Porto. Este talude foi estabilizado com solução de tela estrutural em ao e tirantes.

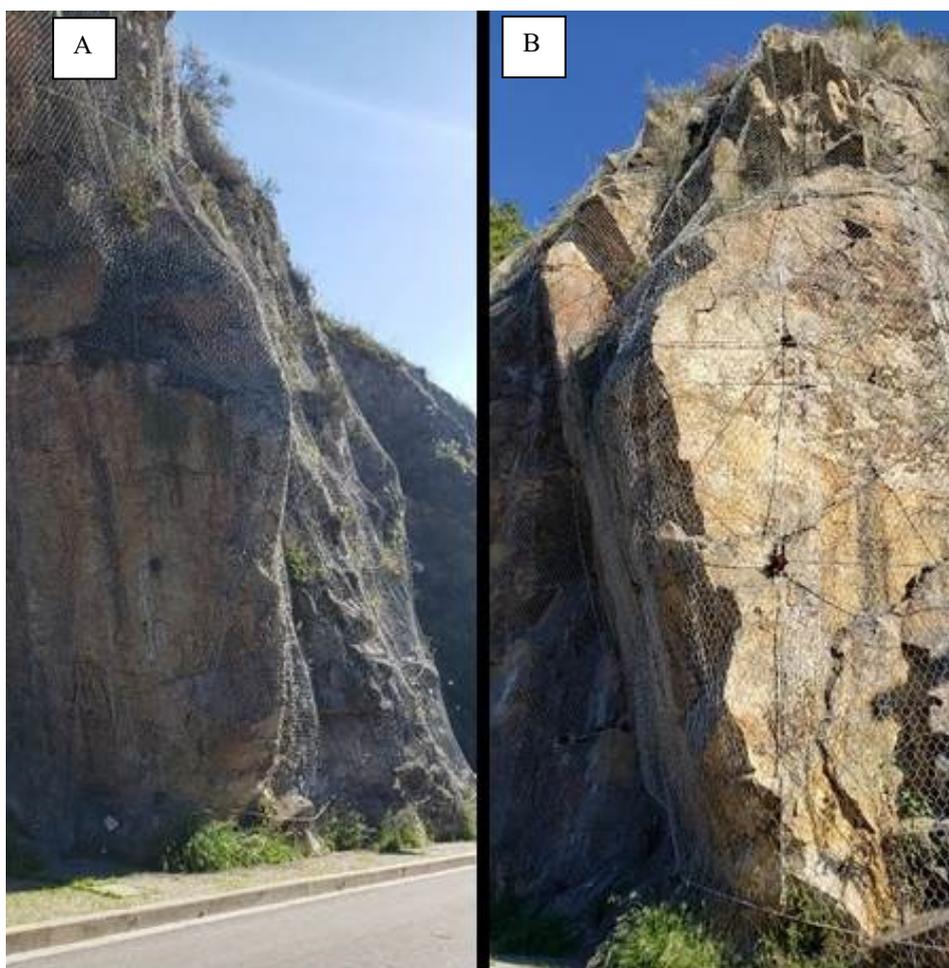


Figura 2.7- Suscetibilidade a tombamento de bloco em talude de granito na Rua da Mocidade da Arrábida, Porto, Portugal, em novembro de 2020. A) Vista geral; B) Detalhe do bloco.

2.2.2.2. Tombamento de detritos e solo

Já para ocorrência de tombamento de detritos e/ou solo, um perfil típico é apresentado na Tabela 2.2. Observa-se o talude verticalizado, com predominância de material argiloso sobre material arenoso, a deslocar-se em movimento de balsa a partir da base, devido ao efeito de fendas de tração na crista e ação da água na base que descalça o pé do talude.

2.2.3. *Escorregamento*

Segundo a ABNT NBR 11682 (2009) o escorregamento é um movimento de massa em que há deslocamento de determinado volume de material sobre uma ou mais superfícies de ruptura. VARNES, 1978 classifica escorregamento em rocha como planar ou cunha; e escorregamento em solo como rotacional (circular) ou translacional (planar).

2.2.3.1. Escorregamento planar e cunha de rocha ou saprolito

A Figura 2.8 ilustra escorregamentos em rocha alterada. Trata-se de um talude heterogêneo, localizado na parte ocidental do Porto. Na extensão do talude que abrange um quarteirão, pode-se observar desde xisto alterado a muito alterado, saprolito friável, até solo residual de xisto; e por vezes com intercalações de gnaisses. As descontinuidades ainda marcantes no saprolito, com foliação saindo na face do talude, condicionam os escorregamentos planares (A) e em cunha (B) observados. Trata-se do talude TS-F1.



Figura 2.8- Escorregamento em saprolito de xisto na Rua Henrique Lopes de Mendonça, Porto, Portugal, em janeiro de 2021. A) Escorregamento planar; B) Escorregamento em cunha.

2.2.3.2. Escorregamento translacional em solo e detritos

O escorregamento translacional em solo ocorre quando um certo volume de material desliza sobre uma superfície planar de ruptura, ou com pouca rotação. Conforme VARNES (1978) a massa deslizante se move como um bloco único encosta abaixo, ou com algumas unidades intimamente relacionadas. Esta definição de Varnes auxilia na diferenciação entre corrida de detritos e depósitos superficiais e escorregamentos planares rasos, pois na corrida o material é inconsolidado e se movimenta quando desagrega e flui, diferentemente do escorregamento planar que acontece em um bloco único.

Em geral, o escorregamento planar em solo e/ou detritos acontece em pequenas profundidades, condicionadas pelo contato com a rocha, por um caminho preferencial de água, ou por contato com material mais resistente. Para a análise de estabilidade destas ocorrências adota-se o conceito de talude infinito, ou seja, superfícies inclinadas e extensas. A Figura 2.9 ilustra um escorregamento planar de solo residual de xisto grauváquico, com superfície rasa de ruptura, condicionada pela estrutura reliquiar da rocha, com mergulho próximo de 50 graus, saindo na face do talude. Trata-se do talude TS-C1.



Figura 2.9- Escorregamento planar em solo residual de xisto grauváquico, no Parque Oriental do Porto, Portugal, em dezembro de 2020.

2.2.3.3. Escorregamento rotacional em solo e detritos

O escorregamento rotacional em solo ou detritos (solo predominantemente grosso) é um movimento de massa com superfície de ruptura curva, típica de solos residuais homogêneos, com profundidades que variam de rasas a profundas de acordo com o perfil de intemperismo do solo residual. Conforme VARNES (1978) e USGS (2004), estas rupturas possuem superfície de ruptura curvada e com concavidade para cima, e o conjunto único de solo se

desloca em torno de um eixo que é paralelo à superfície do solo e transversal ao deslizamento. Geralmente observa-se na superfície rompida, degraus de abatimento na crista e elevação da base do talude devido ao movimento rotacional. Na Figura 2.10 apresenta-se um exemplo de escorregamento rotacional de um talude rodoviário de média magnitude no Brasil, no qual pode-se observar o levantamento da base (rodovia).



Figura 2.10- Escorregamento rotacional em talude rodoviário no Brasil (CPRM, 2018).

Em Contagem, o solo residual de gnaiss, de textura predominantemente silto-arenosa, é suscetível a processos erosivos e escorregamentos rotacionais de pequena e média magnitude. Em levantamento realizado por CPRM (2012) foi identificada uma área de ocupação irregular em talvegue na Vila Bandeirantes, com processos erosivos e cicatrizes de escorregamento, conforme apresentado na Figura 2.11.



Figura 2.11- Escorregamentos e processos erosivos na Vila Bandeirantes, Contagem (CPRM, 2012)

Também em Contagem, na Vila Estaleiro, Regional Vargem das Flores, foram observados nos trabalhos de campo, realizados em junho de 2018, escorregamentos rotacionais e processos erosivos, acarretando o estreitamento de vias conforme apresentado na Figura 2.12.



Figura 2.12- Cicatriz de escorregamento rotacional raso, na Vila Estaleiro, Contagem.

2.2.4. *Espalhamento de rocha, detritos e solo*

O movimento de espalhamento não está contemplado na ABNT NBR 11682 (2009). Segundo VARNES (1978) o espalhamento ocorre em terrenos com inclinação suave ou horizontalizados, com movimentação lateral de expansão que acarreta fraturas.

A causa desta expansão lateral é a liquefação do material sotoposto, que submetido a carregamentos rápidos como terremotos, ou outras ações estáticas ou dinâmicas, gera um acréscimo de poropressão que anula as tensões efetivas entre os grãos do solo, fazendo com que o material se comporte como um fluido. Desta forma, as unidades superiores podem romper por forças de tração ou compressão, diminuir, girar, desintegrar, liquefazer, e/ou iniciar o movimento de corrida. O terremoto ocorrido em Lisboa, de magnitude ~9, em 1755 causou, dentre outros, o espalhamento de solo, rocha e detritos. A Figura 2.13 ilustra o espalhamento lateral em uma via próxima ao lago de Hebgen, em Montana, Estados Unidos, após um terremoto de grande magnitude.



Figura 2.13- Espalhamento lateral nas proximidades do lago de Hebgen, EUA, após terremoto de magnitude 7,3, em 1959 (Foto: R.B. Colton, USGS<<https://www.idahogeology.org/geologic-hazards/landslides>>).

Em Portugal, a investigação da suscetibilidade à liquefação de solos é uma importante linha de pesquisa, inclusive na Universidade do Porto, devido ao histórico de sismos e eventos danosos subsequentes, como por exemplo, movimentos de massa do tipo espalhamento.

Um projeto europeu recente nesse tema de investigação é o H2020 LIQUEFACT (www.liquefact.eu), intitulado “Avaliação e mitigação do potencial de liquefação em toda a Europa: abordagem holística para proteger estruturas / infraestrutura para melhorias e resiliência a desastres de liquefação induzidos por terremotos”, consistindo na introdução de uma “Metodologia para avaliação do risco de liquefação de solos induzida por sismos em quatro zonas piloto na Europa (MICROZONAMENTO)”. Esta sequência integrada de estudos pode ser vista em detalhe no trabalho relatado por VIANA DA FONSECA et al. (2018a, 2018b) e LAI et al. (2019). Na mesma linha de pesquisa, SALDANHA et al. (2018) desenvolveu o microzonamento de suscetibilidade à liquefação da região de Lisboa (Vale Inferior do rio Tejo) que é uma área intensamente povoada e com inúmeras infraestruturas sujeitas a risco de liquefação no caso de prováveis terremotos de grande intensidade. Esse trabalho, embasa a criação de mapas interativos de risco para a região, de forma a informar e atuar na prevenção de eventos danosos.

2.2.5. *Corrida*

O movimento de massa classificado como corrida é nomeado pela ABNT NBR 11682 (2009) como escoamento, onde o material passa a se comportar como um fluido, com movimento lento ou rápido. Conforme VARNES (1978) existem cinco categorias de corridas (ou fluxo, ou escoamento), descritas a seguir.

2.2.5.1. **Corrida de detritos**

Movimento de massa com velocidade alta, com material heterogêneo que combina solo solto, rocha, matéria orgânica, ar. Geralmente causado pela ação de águas superficiais em época de forte precipitação, que desloca os materiais declive abaixo. Também pode ser um movimento de massa complexo associado com detritos provenientes de escorregamento anterior ou processos erosivos. Os materiais rompidos e desagregados ficam depositados na ravina, ou na superfície de ruptura pretérita, até o próximo evento de precipitação extrema, o qual desencadeia a corrida desses detritos inconsolidados. A Figura 2.14 apresenta um exemplo de detritos suscetíveis à corrida, depositados em superfície pretérita de escorregamento. Podem ser provenientes de ruptura única rotacional ou de escorregamentos planares, quedas e processos erosivos.



Figura 2.14- Material inconsolidado suscetível a corrida de detritos em encosta na cidade de Albufeira, Portugal, em junho de 2021.

2.2.5.2. Avalanche de detritos

Movimentos de massa similar à corrida de detritos, mas com velocidade extremamente alta.

2.2.5.3. Corrida de terra

Quando o material com textura fina e fragmentos de rocha com argila se desagrega e forma um degrau de abatimento na crista e flui em encostas de inclinação moderada e sob elevado grau de saturação. Na área deposicional abre em formato de colher. O movimento completo tem feição de uma ampulheta. Corridas com material seco também são possíveis.

2.2.5.4. Corrida de lama

A corrida de lama é similar à corrida de terra, contudo, com pelo menos 50% de argila, que permite ao material fluir quando rompe, principalmente quando associado à elevadas precipitações em encostas íngremes.

Um caso histórico de corrida de lama ocorrido em Contagem na década de 90 foi a ruptura de talude na Vila Barraginha. As consequências do acidente foram significativas, e a corrida de lama foi condicionada pela presença de argila mole sensível no terreno de fundação da vila, e desencadeada pela construção de um aterro na crista da encosta, em área pertencente à uma empresa. A corrida de lama foi potencializada pelas chuvas intensas e elevado grau de saturação do terreno. Sabe-se que os solos sensíveis são aqueles que perdem resistência de forma significativa quando sofrem um amolgamento em sua estrutura pelo acréscimo de cargas, e podem sofrer rupturas abruptas de consequências danosas. Na Figura 2.15 mostra-se o perfil longitudinal do local do acidente antes e após a corrida de lama. Percebe-se que a ampliação do aterro em relação ao aterro existente não foi tão significativa, mas pela sensibilidade da argila já foi suficiente para causar a ruptura da argila sensível muito mole e saturada, e escoamento da massa rompida.

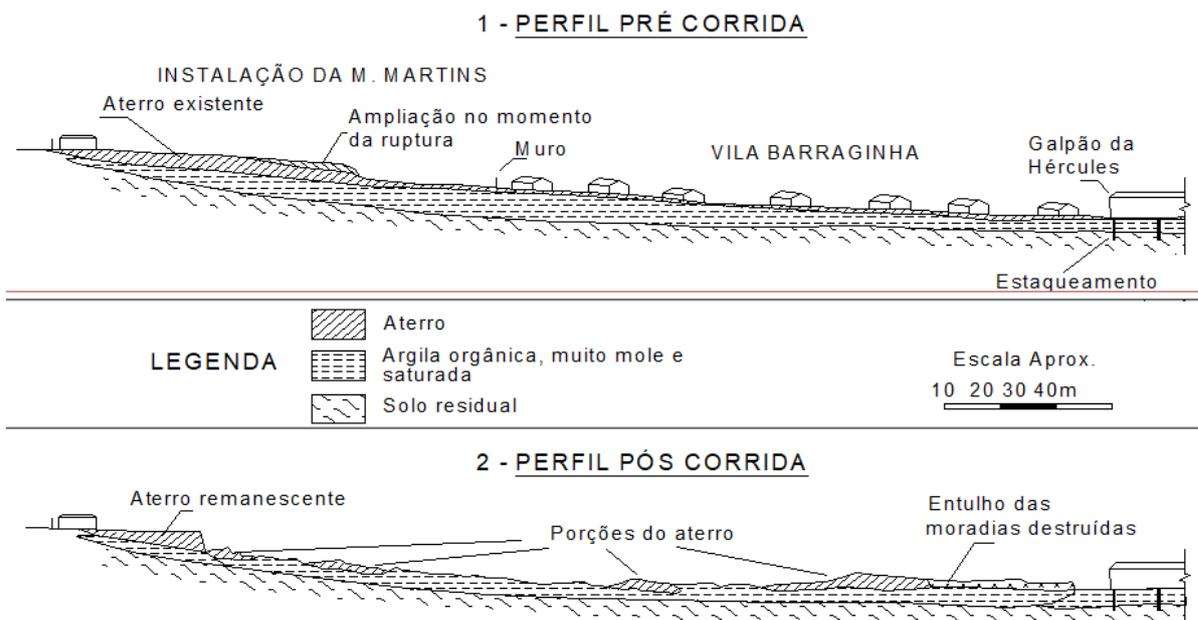


Figura 2.15- Seção transversal do talude que rompeu na Vila Barraginha, antes e depois da corrida de massa (adaptada de ABGE, 1998)

2.2.5.5. Rastejo ou creep

Imperceptivelmente lento, movimento constante e descendente de solo ou rocha em declive. Geralmente causa deformações, mas não a ponto de romper. Pode ser sazonal, influenciado pela variação do nível de água subterrânea e superficial, e temperatura; contínua, com deformações constantes; ou progressiva, quando as inclinações estão alcançando o ponto de ruptura. Índícios de rastejo são árvores inclinadas, ou cercas, ou pequenas ondulações no solo ou crista.

2.2.6. *Movimentos de massa complexos*

Os escorregamentos podem ser complexos, envolvendo material heterogêneo com fragmentos de rocha, detritos e solo que desencadeiam um ou mais movimentos de massa classificados por VARNES (1978).

A Figura 2.16 ilustra um talude localizado na parte ocidental de Porto, que sofreu uma ruptura complexa, mas de pequena magnitude. Observam-se quedas de pequenos fragmentos de rocha, em conjunto com queda de solo e detritos. O material mais fino estava a preencher as discontinuidades da rocha. A saturação do solo e ação das raízes de árvore localizada na crista desencadearam o processo de queda e pequenos escorregamentos planares. Trata-se do talude TS-A1.



Figura 2.16- Talude heterogêneo de solo e fragmentos de rocha, na parte ocidental de Porto, Portugal.

Outros movimentos complexos podem ocorrer em solos saprolíticos com estruturas reliquias da rocha. VALLEJO (2002) classifica o movimento de massa em solos saprolíticos ou rocha, condicionado por discontinuidades, como escorregamentos poligonais. Essa classificação é bastante oportuna para os solos residuais do Porto, tanto provenientes das unidades geotécnicas associadas aos granitos, quanto para os xistos grauváquicos da parte oriental da cidade e rochas metassedimentares (xistos e gnaisses) da parte ocidental do Porto. Na Figura 2.17 apresentam-se perfis de solos residuais de granito do Porto, de significativa espessura, que apresentaram rupturas poligonais condicionadas por estruturas reliquias da rocha.



Figura 2.17- Escorregamento poligonal em solo residual do granito do Porto (Foto: António Viana da Fonseca).

2.3. Processos erosivos

A erosão é um processo de transporte de massa que atua em solos e partículas de rochas, que por meio de um agente erosivo como a água ou vento, em combinação com a gravidade, carrega as partículas de um local para outro. Os processos erosivos alteram a paisagem ao longo do tempo, principalmente quando há ações antrópicas, como o desmatamento e ocupação do solo. Destacam-se dois tipos de erosão conforme o agente deflagrador: erosão eólica, pela ação dos ventos, e hídrica, pela ação das águas (marinha, fluvial e pluvial) (BRASIL, 2008).

Não é objetivo desta pesquisa a revisão bibliográfica aprofundada do tema, pois, limita-se neste item, a conceituar e ilustrar a erosão hídrica pluvial, para apresentar as características deste processo a serem identificadas em campo, devido à sua correlação com riscos de escorregamentos de solo, principalmente como observado em Contagem, onde ravinas e voçorocas formam-se rapidamente em solos residuais de gnaiss, especialmente na Regional Vargem das Flores.

Pode-se nomear os processos erosivos como: laminares, ou em lençol, em que o processo de percolação da água é difuso e não acarreta incisões no terreno; e lineares, onde a percolação de água acarreta incisões, que de acordo com sua magnitude e características da percolação do agente erosivo, podem ser em sulcos, ravinas ou voçorocas.

Segundo ALMEIDA FILHO (2014), os processos erosivos são descritos e caracterizados como:

“Existe uma tendência em que se considera uma profundidade mínima para as ravinas em torno de 30 cm, (Tricart, 1977) ou 50 cm (Imeson e Kwaad, 1980). Guerra (1994) também apresenta uma diferenciação cuja proposta é de que as ravinas podem ser obliteradas por máquinas agrícolas. Ao considerar que os sulcos e ravinas são originados pelo escoamento concentrado das águas superficiais e, ao haver a interceptação do lençol freático, existe uma somatória de processos erosivos superficiais e subsuperficiais, fazendo com que a forma erosiva atinja grandes dimensões e passe a denominar-se boçoroca ou voçoroca (Salomão, 1994), desenvolvendo processos/fenômenos como “piping”, liquefação de areias, deslizamentos e outros. De acordo com Guerra et al. (1999) e Oliveira (1999), aspectos importantes para o desenvolvimento das ravinas e voçorocas dependem da conjugação de

fatores naturais, como a pluviosidade, o tipo de solo, o relevo, e o uso e ocupação das terras. As feições erosivas lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) são descritas como sinais de instabilidade dos sistemas geomorfológicos. Sua classificação é sintetizada como sendo: sulcos, feições de pequenas dimensões resultantes do escoamento concentrado da água na encosta; ravinas, feições alongadas resultantes do processo do escoamento concentrado da água; e voçorocas, canais esculpidos pelo afloramento do lençol.”

2.3.1. **Erosão laminar**

O escoamento difuso da água superficial pode causar a remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo, em forma de lençol, o que é denominado de erosão laminar. Ocorre durante fortes precipitações quando o solo superficial já se encontra saturado, potencializado quando não há obstáculos pelo caminho, o que permite que a lâmina de água escoe. (GOMES, 2001, segundo BRASIL, 2008).

NA Figura 2.18, pode-se observar a percolação difusa de água e o carreamento laminar de finos, em Vargem das Flores, Contagem.



Figura 2.18- Carreamento laminar de finos em Vargem das Flores, Contagem.

2.3.2. *Erosão linear*

2.3.2.1. **Sulcos**

Adota-se a definição de sulcos como incisões lineares com profundidade e largura inferiores a cinquenta centímetros, com pequena ruptura em suas bordas, na superfície do terreno (DAEE, 1990 e Proin/Capes & Unesp/IGCE, 1999 apud BRASIL, 2008).

A transição entre o processo de erosão laminar e linear em sulcos pode ocorrer associada a chuvas intensas, e conforme LAFAYETTE (2006), a partir de irregularidades na superfície do solo e na sua estrutura e erodibilidade, o escoamento superficial se concentra no fundo e paredes das irregularidades e passa a retirar partículas formando incisões. Essa autora apresenta a ilustração de sulcos em um parque metropolitano de Pernambuco, conforme mostra a Figura 2.19.



Figura 2.19- Sulcos em Cabo de Santo Agostinho (LAFAYETTE, 2006)

2.3.2.2. **Ravinas**

As ravinas apresentam profundidade maior que cinquenta centímetros, perfil transversal em “V”, forma mais retilínea, alongada e estreita. Geralmente ocorrem entre eixos de drenagem, associadas a abertura de estradas e trilhas de gado. Ocorrem em decorrência dos sulcos e ação do escoamento superficial concentrado que escava o solo atingindo horizontes inferiores e até

a rocha. Podem ocorrer escorregamentos nas paredes laterais, aumentando a feição da ravina. Não costumam atingir o nível freático e raramente se ramificam (BRASIL, 2008; OLIVEIRA, 1994, Proin/Capes & Unesp/IGCE, 1999). A Figura 2.20 apresenta a feição de um processo de ravinamento ativo em Contagem, na Regional Vargem das Flores. Este local é nas adjacências na voçoroca da Vila Feliz, a qual foi analisada nesta pesquisa.



Figura 2.20- Ravinas em Vargem das Flores, Contagem.

Em Porto, foram observados processos erosivos em forma de ravina nos solos alúvio-coluvionares nas margens do Rio Tinto, conforme ilustra a Figura 2.21.



Figura 2.21- Ravinas em solo alúvio-coluvionar às margens do Rio Tinto, Porto.

2.3.2.3. Voçorocas

As voçorocas se diferem das ravinas por possuírem perfil transversal próximo de “U”, além de se desenvolverem não somente pela ação da água superficial, mas por percolação subsuperficial. Por isso, a voçoroca se caracteriza por apresentar o nível freático aparente. Portanto, o processo conhecido como voçorocamento, ou desenvolvimento de voçorocas, reúne processos de erosão superficial, “piping”, carreamento de finos por percolação subsuperficial, associados a movimentos de massa como escorregamentos e quedas, solapamento, desabamento, o que confere às voçorocas características de rápida evolução e elevado poder destrutivo (BRASIL, 2008; LAFAYETTE, 2006; SALOMÃO E IWASA, 1995 apud BRASIL, 2008).

A Figura 2.22 mostra a voçoroca da Vila Feliz em Contagem, com quantidade considerável de ilhas e ravinas, e sobretudo, com o nível freático aflorando em sua base.



Figura 2.22- Afloramento de lençol freático na base da Voçoroca em Vargem das Flores, Contagem.

3. PROPOSTA METODOLÓGICA

Neste capítulo apresenta-se, além dos materiais e métodos adotados, uma discussão prévia de conceitos e metodologias para gestão e análise de riscos geológico-geotécnicos. Também são apresentados os critérios de definição dos taludes e áreas estudadas, os parâmetros de perigo e consequências, bem como o método de elaboração da matriz de risco e da tabela *FMEA*. Em síntese, alia-se o método *FMEA*, com as etapas de gestão e análise de risco preconizadas pelas instituições de Proteção e Defesa Civil e normas nacionais (ANPC, 2009; CPRM, 2018; PORTUGAL, 2006; BRASIL, 2012), e também em conformidade com a ABNT NBR ISO 31000 (2018) e ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012). Na Figura 3.1 podem ser observadas as etapas principais adotadas e logo a seguir, a descrição sucinta das mesmas.



Figura 3.1- Metodologia para caracterização e gestão de risco (Criado pela autora no Prezi, a partir de conceitos de ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) e ANPC, 2009)

Etapa 1: Situação de referência ou estabelecimento de um contexto: com definição da área de análise, avaliação de cartografia temática e caracterização física, socioeconômica e de infraestrutura da área;

Etapa 2: Identificação do risco: com definição de áreas com possibilidade de ocorrência de um evento danoso, levantamento de dados de ocorrências, identificação de processos da dinâmica superficial presentes na região;

Etapa 3: Análise e avaliação do risco: com definição de cenários, perigo e consequências a partir de fichas de campo, bem como definição de uma matriz e estabelecimento de graus de risco;

Etapa 4: Estratégias para mitigação: com identificação de medidas de prevenção, instrumentos de planejamento e identificação de meios para mitigação;

Etapa 5: Monitoramento, com identificação de periodicidade e índices de monitoramento;

Etapa 6: Revisão e análise crítica: com sugestões de melhoria no processo e propostas para a próxima rodada de caracterização e monitoramento dos riscos.

Além das seis etapas, a ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) inclui o registro e relato, e a comunicação de riscos e consulta como etapas de gestão, que permeia todas as outras.

Quanto à abrangência, ANPC (2009) pode ser aplicada para caracterização de todos os riscos do território. Contudo, o objetivo desta pesquisa é a análise de taludes de solo, portanto as cartas temáticas foram avaliadas e a metodologia foi adaptada com o foco em características que possam influenciar o risco quanto aos processos da dinâmica superficial nesses taludes.

Quanto à escala de análise, pode-se aplicar a metodologia em escalas diferentes. Inicialmente o método da Figura 3.1 foi aplicado em escala regional para identificação e reconhecimento de áreas de risco em Porto e Contagem, e posteriormente, as etapas metodológicas são aplicadas em escala local dos taludes de solo, para se obter maior detalhamento do contexto local e apresentar como resultado a mensuração do risco dos taludes e áreas avaliadas.

Ao término das etapas 1 e 2 da Figura 3.1, Análise da Situação de Referência e Identificação dos Riscos, os taludes de solo a serem estudados são escolhidos; e na etapa 3 são estabelecidos os critérios para determinar o perigo e consequências de um evento danoso, de forma qualitativa a partir da determinação de índices quantitativos. Conceitos da metodologia *FMEA* são adaptados para a análise dos taludes de solo. Os resultados são apresentados em uma matriz de risco e tabela.

3.1. Estabelecimento do Contexto ou Situação de Referência

3.1.1. *Em Porto*

Esta etapa contempla os trabalhos de escritório, campo, e estudo das cartas existentes e publicações técnicas específicas para definição da situação de referência. Nomeadamente, três referências principais são consideradas, além de informações obtidas junto à Proteção Civil do município:

- PDM - Plano Diretor Municipal do Porto (PORTO, 2020; PORTO, 2020b);
- Caracterização Biofísica do Porto (PORTO, 2018);
- Carta Geotécnica do Porto (PORTO, 2003).

A análise do PDM foi realizada com vista aos aspectos da caracterização física e de infraestruturas que afetam ou estão relacionadas ao risco. As áreas de preservação e interesse histórico e arqueológico constituem outro foco de análise do ponto de vista de riscos geológico-geotécnicos, bem como áreas de vales, encostas íngremes e infraestruturas. As características socioeconômicas não foram analisadas nesta pesquisa, a não ser quando minimamente citadas, em caráter informativo, a partir de PORTO (2018b). A maquete 3D da cidade do Porto foi visitada para melhor compreensão e visualização das cartas e do território em geral.

Além do PDM, foi analisada a carta geotécnica do Porto (PORTO, 2003) e a caracterização biofísica (PORTO, 2018) para identificação de aspectos relevantes do meio físico, além de informações fornecidas pela Proteção Civil do município.

3.1.1.1. **Definição do território em análise**

A área de estudo de risco de taludes de solo é delimitada pelo território municipal do Porto. Para reconhecimento e escolha de taludes em campo foi realizada a pesquisa de áreas de interesse, conforme metodologia sugerida por CPRM (2018), que sugere a escolha de porções do município que requerem mapeamento de perigo e risco, como setores industriais, residenciais, escolas, áreas com risco de impacto ambiental, cursos de água, áreas de interesse social, dentre outras. Além disso, a partir de reunião técnica com a Proteção Civil de Porto, obteve-se a informação sobre a demanda para desenvolvimento de metodologia para análise de risco em solo, já que havia uma pesquisa recente em taludes rochosos (BORGES, 2017). Foi

sugerida a área de Campanhã, até então pouco investigada, bem como a análise de taludes com histórico de ocorrências na freguesia de Aldoar e Foz.

Foram então selecionadas as áreas de interesse para início da investigação: o vale do Rio Tinto na freguesia de Campanhã, devido à possibilidade de movimentos de massa em suas vertentes atingirem o rio, moradias, ou vias adjacentes, além do interesse ambiental por ser uma área de recente implantação do Parque Oriental com pistas de caminhada e requalificação paisagística do entorno. A Figura 3.2 apresenta a indicação dessas áreas sobre a imagem da maquete de Porto. Observam-se também os limites do concelho de Porto (linha azul externa) com área urbanizada inscrita.



Figura 3.2- Foto da maquete do concelho de Porto com indicação das áreas de interesse do vale do Rio Tinto, Aldoar e Foz.

A partir do exposto, os seguintes roteiros para trabalho de campo foram propostos:

- Roteiro 1: Vale do Rio Tinto e entorno, na freguesia de Campanhã;
- Roteiro 2: Praça Pedra Verde e entorno, na freguesia de Aldoar;
- Roteiro 3: Rua Henrique Lopes e entorno, na freguesia de Foz.

O detalhamento dos roteiros está apresentado no APÊNDICE A – Contextualização e estudos de caso em Porto, Portugal, bem como a definição dos 8 taludes a serem analisados quanto ao risco.

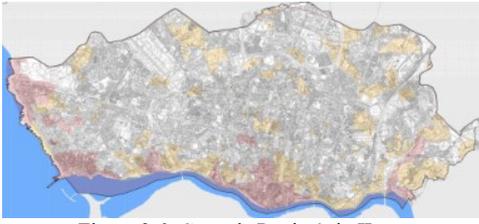
3.1.1.2. Caracterização física

A partir de um recorte de ANPC (2009), com adequações para taludes de solo, a caracterização física contém informações geotécnicas da área de estudo, geomorfológicas, de clima, uso do solo (cobertura, ordenamento), interesse arqueológico e ambiental, e as seguintes perguntas são respondidas:

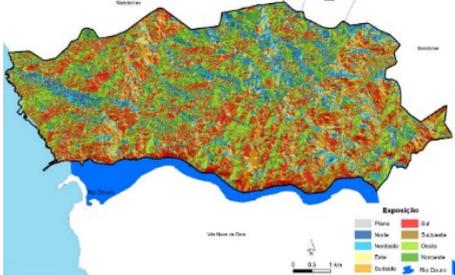
- Existem locais que contribuem para a vulnerabilidade de pessoas, bens e ambiente?
- Existem áreas sensíveis do ponto de vista ambiental, como áreas protegidas ou vulneráveis?

A Tabela 3.1 apresenta o modelo que foi aplicado para realização da síntese das questões identificadas em cada mapa temático quanto à caracterização física da área de estudo, especificamente de cada talude ou área avaliada.

Tabela 3.1- Modelo para síntese da caracterização física dos taludes

Descritores	Mapa Temático ou referência	Enquadramento
Qualificação do solo	 <p>Figura 3.3- Qualificação do solo em https://geopdm.cm-porto.pt/pocqs (PORTO, 2020).</p>	<p>Marcar o talude em estudo no mapa, para análise em escala local. Indicar se está em área de qualificação funcional (espaços centrais, de atividades econômicas, verdes e frente mar ou rio, para equipamentos especiais, área de infraestruturas, área urbana de baixa densidade); qualificação operativa (espaços consolidados ou não); propostas de canais de circulação; área de intervenção do PDM; ou se é UOPG - Unidade Operativa de Planeamento e Gestão.</p>
Estrutura Ecológica Municipal	 <p>Figura 3.4- Carta de estrutura ecológica https://geopdm.cm-porto.pt/pocem (PORTO, 2020).</p>	<p>Marcar o talude em estudo no mapa, para análise em escala local. Descrever se a localização do talude é em área frente ao mar ou rio; se em linhas de água ou bacias de retenção; se área de declive ou de aluvião; se espaços verdes fundamentais; se em corredores verdes projetados.</p>
Patrimônio Urbanístico e Arquitetônico e Patrimônio Natural	 <p>Figura 3.5- Carta de Patrimônio I em https://geopdm.cm-porto.pt/pocpl (PORTO, 2020)</p>	<p>Marcar o talude em estudo no mapa, para análise em escala local. Descrever se a localização do talude é em área de interesse para o descritor; se está em conjunto de imóveis de valor patrimonial classificados ou em vias de; se em zona de proteção; se abrange algum patrimônio natural.</p>
Patrimônio Arqueológico	 <p>Figura 3.6- Carta de Patrimônio II em https://geopdm.cm-porto.pt/pocp2 (PORTO, 2020)</p>	<p>Marcar o talude em estudo no mapa, para análise em escala local. Descrever se a localização do talude é em área de interesse para o descritor; se constitui área de valor arqueológico (AVA) ou de potencial valor arqueológico (APA).</p>

Descritores	Mapa Temático ou referência	Enquadramento
Carta de Condicionantes	 <p data-bbox="448 533 901 577">Figura 3.7- Carta de condicionantes em https://geopdm.cm-porto.pt/pcccg (PORTO, 2020)</p>	<p data-bbox="927 344 1455 528">Marcar no mapa o talude em estudo para análise em escala local. Descrever se a localização do talude é em domínio hídrico; espécies florestais protegidas ou de interesse público; patrimônio; estabelecimentos prisionais e de defesa; rede elétrica.</p>
Carta de Riscos Naturais	 <p data-bbox="448 808 901 857">Figura 3.8- Carta de Riscos Naturais em https://geopdm.cm-porto.pt/pocrn (PORTO, 2020)</p>	<p data-bbox="927 642 1455 797">Marcar o talude em estudo no mapa, para análise em escala local. Descrever se a localização do talude é em área de risco já mapeada quanto a galgamento oceânico; inundação; instabilidade de vertentes.</p>
Carta Geomorfológica	 <p data-bbox="448 1099 901 1227">Figura 3.9- Carta geomorfológica em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018, baseada em PORTO, 2003)</p>	<p data-bbox="927 875 1455 1211">Marcar o talude em estudo no mapa, para análise em escala local. Descrever se a localização do talude é em zonas instáveis mais críticas; menos críticas ou potencialmente instáveis. Definir a morfologia da área em estudo: se planalto (marrom); plataforma intermediária (verde); inferior (bege); vertentes do Douro e vales (azul). Nesta versão não há rosetas com a indicação de ângulos de mergulho de descontinuidades. Esta informação pode ser obtida em PORTO (2003).</p>
Síntese Fisiográfica	 <p data-bbox="448 1469 901 1585">Figura 3.10- Mapa de declives em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018)</p>	<p data-bbox="927 1301 1455 1514">Marcar o talude em estudo no mapa, para análise em escala local. Descrever se a localização do talude se encontra em zonas com declividade de até 5 graus (verde); de 6 a 10 graus (verde claro); de 11 a 20 graus (amarelo); de 21 a 40 graus (laranja); de 41 a 79 graus (vermelho). Contudo, a inclinação do talude deve ser medida <i>in situ</i>.</p>
Carta Hidrogeológica	 <p data-bbox="448 1917 901 1944">Figura 3.11- Carta hidrogeológica (PORTO, 2003)</p>	<p data-bbox="927 1603 1455 1995">Marcar o talude em estudo no mapa, para análise em escala local. Descrever em qual das 5 unidades hidrogeológicas se encontra, dentro do espectro que varia de permeável, semipermeável a impermeável. Mas, sobretudo, observar proximidade com pontos de nascentes, linhas de água entubada ou não. A percolação de água pelos taludes é um importante fator de risco a ser considerado. Deve-se considerar que as informações desta carta podem estar ultrapassadas, mas permanecem como uma importante referência quanto à localização de nascentes.</p>

Descritores	Mapa Temático ou referência	Enquadramento
<p>Carta de Condicionantes Geotécnicas</p>	 <p>Figura 3.12- Condicionantes geotécnicas em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018, baseada em PORTO, 2003)</p>	<p>Marcar o talude em estudo no mapa para análise em escala local. Descrever se a localização do talude se encontra em áreas de condicionantes geotécnicas, quais sejam: solos com baixa resistência e alta deformabilidade, por vezes com níveis freáticos altos; taludes instáveis ou com potencial de; zona de recarga direta de aquíferos; vulnerabilidade a contaminação do subsolo, zonas de interesse patrimonial; lixeiras, entulheiras e cemitérios. Este é um mapa síntese, mas nesta pesquisa optou-se por avaliar também as cartas de fatores. Esta carta de condicionantes contempla a Carta de Riscos Naturais (PORTO, 2003 e PORTO, 2020)</p>
<p>Mapa de Exposição de Vertentes</p>	 <p>Figura 3.13- Mapa de exposição de vertentes em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018).</p>	<p>Marcar no mapa o talude em estudo para análise em escala local. Descrever qual a orientação da face do talude e comparar com as direções de descontinuidades mapeadas na carta geotécnica do Porto (2003). Por exemplo, nos solos residuais e maciço rochoso de xisto grauváquico tem-se foliações com direção de mergulho para leste. Portanto, as orientações de vertente a leste (cor amarela) condicionam os taludes com descontinuidades desfavoráveis à segurança, quando aliadas a inclinações de taludes acima de 50 graus.</p>
<p>Carta Geológica</p>	 <p>Figura 3.14- Carta Geológica em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018, baseada em PORTO, 2003)</p>	<p>Marcar no mapa o talude em estudo para análise em escala local. Descrever a localização nas seguintes opções: zonas de rochas sedimentares ou sedimentos (aterros e aluviões em cinza, depósitos fluviais em amarelo, depósitos marinhos em cinza escuro); zonas de rochas metamórficas (complexo Foz do Douro com gnaisses em rosa e metassedimentos em verde claro); rochas ígneas (granitos em laranja, rosa pêssego e bege). A análise deste mapa deve ser conjunta com unidades geotécnicas. Observar se as foliações e falhas podem condicionar rupturas em solos saprolíticos.</p>
<p>Carta de Zoneamento Geotécnico</p>	 <p>Figura 3.15- Carta de zoneamento geotécnico em https://portoplanodiretormunicipal-live-b22d5cf-b4f967f.divio-media.com/documents/21_PDMP_ECD_Caract_Biofisica.pdf (PORTO, 2018, baseada em PORTO, 2003)</p>	<p>Marcar o talude em estudo no mapa e descrever o enquadramento nas unidades geotécnicas: G1-aterros (cinza claro); G2-aluvião e colúvio (amarelo); G3-Depósitos de praias e terraços fluviais (cinza escuro); G4-X-solos residuais metamórficos medianamente compactos (verde claro); G5-solos residuais metamórficos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade (verde escuro e quando misturado com G4-X com listras), G6-maciço metamórfico rochoso de fraca a excelente qualidade (verde com tom marrom); G4-C-solos residuais</p>

Descritores	Mapa Temático ou referência	Enquadramento
		graníticos medianamente compactos intensamente caulinizados (vermelho); G4-G-solos residuais graníticos medianamente compactos (rosa); G8-solos residuais graníticos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade (laranja); G9-maciço granítico rochoso de fraca a excelente qualidade (laranja claro). G4-G e G8 em laranja claro com listras.

Todas as cartas temáticas do PDM (PORTO, 2020) foram consideradas, exceto a carta de zoneamento acústico, por não impactar na análise de risco e consequências. Optou-se por não avaliar os seguintes documentos da Carta Geotécnica do Porto (PORTO, 2003): a Carta de Ocupação de Superfície, pois avaliou-se a carta mais atual apresentada no PDM (PORTO, 2020); a Carta de Trabalhos de Prospecção, pois não foi possível associar os pontos de ensaios do mapa com os resultados no relatório; e a Carta de Materiais de Construção por não impactar nas análises desta pesquisa.

3.1.1.3. Caracterização das infraestruturas

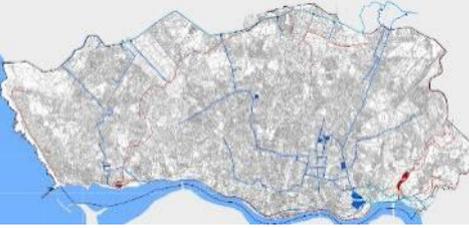
Em ANPC (2009) a caracterização das infraestruturas tem uma concepção mais ampla, pois o objetivo é identificar todos os riscos do município e mapear as infraestruturas e estruturas necessárias para realizar a resposta em caso de emergências. Nesta pesquisa, o foco é identificar o enquadramento dos taludes de solo com risco, para saber se uma ruptura do mesmo pode impactar alguma estrutura ou infraestrutura necessária para o município. Nesse contexto, busca-se resposta para a seguinte pergunta:

- A área em estudo encontra-se em local de rede viária, ferroviária, ou outra infraestrutura ou estrutura importante para o município, ou para o atendimento de uma emergência?

Para a caracterização das infraestruturas, foram avaliadas as cartas temáticas do PDM (PORTO, 2020), conforme apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2- Modelo para síntese da caracterização das Infraestruturas nas áreas dos taludes em análise

Descritores	Mapa Temático ou referência	Enquadramento
Estrutura Viária e Estacionamento	 <p>Figura 3.16- Qualificação do solo em https://geopdm.cm-porto.pt/poceive (PORTO, 2020).</p>	<p>Marcar o talude em estudo para análise em escala local. Indicar se próximo ou sobre/sob a rede de serviço nacional (linha preta); rede de ligação inter-níveis (linha vermelha); rede de serviço municipal (linha azul para estruturante, e verde para complementar, e mancha verde para complementar de importância sequencial); áreas especiais para estacionamento (áreas de influência da estação de metrô, 300m em mancha laranja com listras, e zona central de potencial dotação limitada). As linhas com traço contínuo são de estrutura existente e linhas tracejadas são propostas.</p>
Equipamentos Coletivos	 <p>Figura 3.17- Carta de Equipamentos coletivos em https://geopdm.cm-porto.pt/cccaec (PORTO, 2020)</p>	<p>Marcar o talude em estudo e verificar se em áreas de Equipamentos Existentes (laranja); Equipamentos Propostos (azul); Reserva de Solo para Equipamentos (listras azuis).</p>
Infraestrutura de Transporte Coletivo	 <p>Figura 3.18- Infraestrutura de Transporte Coletivo em https://geopdm.cm-porto.pt/cccite (PORTO, 2020)</p>	<p>Marcar o talude no mapa e verificar se em área de: Corredores de Autocarro da Alta Qualidade - Radiais (verde escuro); Corredores de Autocarro de Alta Qualidade - Circulares (azul escuro); Corredores de Elevada Frequência - radiais (verde claro); Corredores de Elevada Frequência - circulares (azul claro); Eixo com especial apetência para o transporte coletivo (laranja); Propostas (listras cinza); e informações sobre ferrovias.</p>
Infraestrutura de Modos Suaves	 <p>Figura 3.19- Infraestrutura de Modos Suaves em https://geopdm.cm-porto.pt/cccims (PORTO, 2020)</p>	<p>Marcar o talude e verificar se em área de: Rede de ciclovias estruturantes (verde c/ listras); Rede pedonal estruturante (linha vermelha contínua); Infraestrutura p/ atravessamento pedonal (caminho vermelho); Infraestrutura c/ ligação mecânica (caminho azul); ou Programa de qualificação urbana, mobilidade e ambiente (hachura cinza).</p>

Descritores	Mapa Temático ou referência	Enquadramento
<p>Infraestruturas I: Abastecimento de Água e Drenagem de Águas Residuais</p>	 <p>Figura 3.20- Carta de Infraestrutura de Água e Residuais em https://geopdm.cm-porto.pt/ccci1 (PORTO, 2020)</p>	<p>Verificar se em área de: reservatório de água existente (azul); reservatório de água proposto (listras azuis), Tubulação adutora (linha azul); Estação de tratamento de águas residuais existente (vermelho); Estação de tratamento de águas residuais proposta (listras vermelhas); Tubulação coletora (linha vermelha contínua é existente, tracejada é proposta); condutor de transporte de lamas e águas residuais para reutilização (proposta) (linha tracejada laranja).</p>
<p>Infraestruturas II: Transporte e Distribuição de Energia Elétrica</p>	 <p>Figura 3.21- Carta de Infraestruturas II - Transporte e distribuição de energia elétrica em https://geopdm.cm-porto.pt/ccci2 (PORTO, 2020)</p>	<p>Verificar se o talude está em área de: Rede nacional de transporte de eletricidade (muito alta tensão, aérea em linha fina marrom; e muito alta tensão, subterrânea em linha laranja grossa); Rede nacional de distribuição de eletricidade (alta tensão aérea existente em linha verde médio; alta tensão subterrânea existente em verde escuro e a proposta tracejada; média tensão aérea existente em verde claro e subterrânea existente em marrom claro e proposta em tracejado); Subestação muita alta e alta tensão (hachura vermelha); Subestação alta e média tensão (em azul médio); Posto de seccionamento de alta tensão em azul claro.</p>
<p>Infraestruturas III Resíduos Sólidos, Oleoduto, Gás, e Telecomunicações</p>	 <p>Figura 3.22- Carta de Infraestruturas III em https://geopdm.cm-porto.pt/ccci3 (PORTO, 2020)</p>	<p>Marcar o talude no mapa e verificar se está em área de: Transporte e distribuição de combustíveis (oleoduto Leixões, linha preta; rede primária de gás natural em linha rosa); Telecomunicações (Centro de monitorização em hachura laranja; fibra ótica em linha azul sendo contínua existente e tracejada proposta); Resíduos sólidos urbanos (ecocentro existente hachura verde; ecocentro proposto hachura verde com listras).</p>
<p>Zoneamento Perequativo</p>	 <p>Figura 3.23- Carta de Zoneamento Perequativo em https://geopdm.cm-porto.pt/ccczp (PORTO, 2020)</p>	<p>Este mapa traz o zoneamento perequativo em 3 áreas: Área Central (verde); Área Ocidental e Arco Exterior (laranja); e Área Oriental (amarelo). Ainda, apresenta as áreas condicionantes biofísicas segundo PORTO, 2020. Verificar se o talude está em áreas declivosas, de salvaguarda da orla costeira, inundáveis e de instabilidade de vertentes.</p>

Todas as cartas do PDM, relativas às infraestruturas e estruturas existentes e propostas foram apresentadas na Tabela 3.2.

3.1.2. *Em Contagem*

Para Contagem, as seguintes referências foram consultadas com o objetivo de estabelecer o contexto:

- PDM - Plano Diretor Municipal de Contagem (CONTAGEM, 2018);
- PMRR - Plano Municipal de Redução dos Riscos (CONTAGEM, 2017).

A definição do território em análise foi a escolha de áreas de risco de escorregamento de solo já mapeadas pelo PMRR para a regional Vargem das Flores, que totalizam 12 áreas (Tabela 1.1). Portanto, não foi necessário estabelecer critérios para escolha de áreas críticas, como detalhado para Porto.

A caracterização física e de infraestruturas dessas áreas também foi mais sucinta, visto que todas se encontram em áreas mapeadas no Plano Diretor Municipal (CONTAGEM, 2018) como AIS – Áreas de Interesse Social (vilas e favelas).

Os roteiros e planejamento de campo das áreas de risco estão apresentados no APÊNDICE B – Contextualização e estudos de caso em Contagem, MG.

3.2. Identificação de Riscos

A ABNT NBR ISO 31000 (2018) orienta que o propósito da identificação de riscos é encontrar, reconhecer e descrever riscos do território em análise. Esta pesquisa realiza um recorte e conforme a lista de verificação para identificação de riscos de ANPC (2009) já define que a avaliação será para riscos naturais/categoria geologia/movimentos de massa e processos erosivos em vertentes. Portanto, nesta etapa 2 de identificação dos riscos, o que se pretende é identificar quais taludes em risco serão avaliados, reconhecê-los em campo e descrevê-los. Para tal, propõe-se critérios conforme a seguir. Em Contagem, as áreas de risco já estavam mapeadas previamente por PMRR, e o trabalho de campo foi realizado com o objetivo de monitorar estas áreas, e não identificar riscos, o que não impede de sugerir ou identificar novas áreas, caso verificadas em campo.

3.2.1. *Análise de suscetibilidade e critérios para definição de taludes a serem avaliados*

A partir da análise das informações disponíveis em mapas temáticos analisados na etapa de estabelecimento do contexto, principalmente as relativas à suscetibilidade de escorregamentos de taludes de solo na Carta Geotécnica do Porto (2003) e no PMRR

(CONTAGEM, 2017), os seguintes critérios foram definidos para identificar taludes de solo a serem investigados quanto ao risco:

1. Taludes de solo com suscetibilidade a atingir áreas de interesse, como escolas, vias, hospitais, cursos d'água.
2. Taludes de solo em áreas de risco já mapeadas em PORTO (2020), PORTO (2018) e/ou PORTO (2003), e CONTAGEM (2017).
3. Taludes de solo em áreas com feições de escorregamentos ou processos erosivos avançados identificados em campo.
4. Taludes de solo com declividade superior a 25° e altura maior que 5 m (segundo CPRM, 2018, esse é um critério de definição de taludes com risco potencial a partir de análise de casos de extenso banco de dados no Brasil e Japão).
5. Taludes de solo em local de ocorrência registrada ou próximo.
6. Taludes de solo com interferências identificadas nas cartas temáticas (PORTO, 2020; PORTO, 2018; PORTO, 2003; CONTAGEM, 2018), quer seja por suscetibilidade geotécnica ou outras condicionantes das cartas de caracterização física e de infraestruturas.

O talude a ser escolhido para a análise de risco deverá atender pelo menos um dos critérios elencados. A partir da definição desses critérios, o trabalho de campo foi realizado.

3.2.2. *Trabalhos de campo*

3.2.2.1. **Planejamento de campo e modelo para os roteiros**

Foi proposto um modelo de roteiro a ser preenchido na etapa de planejamento dos trabalhos de campo, o qual apresenta-se na Tabela 3.3, bem como apresenta-se o detalhamento das informações requisitadas. O roteiro pode ser usado para a identificação de riscos em áreas ainda não monitoradas, ou para monitoramento de áreas já acompanhadas pela Proteção Civil. A ideia de adotar POP – Procedimento Operacional Padrão - para esta atividade, dentre outras, é alinhada com práticas comuns de defesas civis, como do município de São Paulo (https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/seguranca_urbana/defesa_civil/legislacao/) e em Rio Sul, Santa Catarina, cujo procedimento operacional para implantação de rede de proteção e defesa civil obteve, em 2021, reconhecimento do Ministério da Integração como boas práticas (<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/boas->

praticas/003_boas_praticas_eixo_gestao_sistemica/011_boapratica_gestaosistemica_rede_protecao_defesa_civil_rio_sul_sc.pdf).

Tabela 3.3- Modelo para Roteiro de Identificação e Monitoramento de riscos

IDENTIFICAÇÃO DO ROTEIRO	
Freguesia/bairro: Área ou Taludes:	Data do último monitoramento: Data do presente monitoramento: Equipe:
DESCRIÇÃO DO ÚLTIMO MONITORAMENTO OU CONHECIMENTOS PRÉVIOS	
Área X ou Talude X: Condicionantes: Fatores predisponentes: Possíveis agentes deflagadores (gatilhos): Descrição dos processos e cenários possíveis de ocorrer: Descrição de fotos obtidas no local e outras observações: Estimativa de nº de edificações no setor: Grau de Perigo: Grau de Consequências: Grau de risco: Indicação de intervenção e/ou medidas preventivas:	
DETALHAMENTO DO ROTEIRO	
Incluir imagem do Google com indicação dos pontos de parada, caminhamento, e caso já definidos, os taludes a serem avaliados. Usar o aplicativo Google Maps ou modo similar.	
1. Preparação na base da Proteção Civil	Xx Minutos
2. Deslocamento até área a ser monitorada de carro	Xx Minutos
3. ...	Xx Minutos
Tempo Total:	xxx Minutos, xx horas e xx minutos
MATERIAIS	
<ul style="list-style-type: none"> • Roteiro impresso ou com acesso pelo celular ou tablet; • ... 	

A seguir, o detalhamento das informações citadas no modelo de roteiro proposto:

- Identificação do roteiro: nome que indique o local, bairro (freguesia), datas de monitoramentos anteriores, equipe de campo, pontos de referência ou nomes dos taludes a serem visitados caso sejam conhecidos.
- Descrição do último monitoramento ou conhecimento prévio das áreas: para áreas ainda não visitadas, o preenchimento destes dados foi realizado a partir de análise de mapas temáticos apresentados em PORTO (2020), PORTO (2018), PORTO (2003), CONTAGEM (2017). Para taludes já conhecidos, a descrição foi realizada a partir de dados do último monitoramento além das análises de cartas temáticas. Os seguintes itens fazem parte do roteiro:
 - Condicionantes: listar os condicionantes geológico-geotécnicos como estruturas reliquias da rocha de origem (foliações, fraturas, falhas), solos de baixa resistência, solos de alta compressibilidade; solos com alta suscetibilidade à erosão, declividade e/ou amplitude acentuada, concavidade da encosta que possibilita concentração de caminhos preferenciais de escoamento de água superficial, elevado nível freático, além de outras condicionantes fisiográficas e associadas às infraestruturas, as quais foram identificadas na etapa de estabelecimento do contexto e situação de referência.
 - Fatores predisponentes: listar fatores que podem predispor o talude a um movimento de massa, como por exemplo, desconfinamento da base, cortes verticalizados, acúmulo de água na crista, fendas de tração preenchidas por água ou não, trincas na crista ou na face ou em bermas intermediárias, vegetação concentradora de água em suas raízes, aterros e construções na crista, incidência de processos erosivos, presença de cicatrizes de ruptura pretéritas, dentre outros.
 - Agentes deflagadores (gatilhos): chuvas intensas com aumento do grau de saturação do talude, rompimento de tubulação de água ou esgoto sob o talude, quedas de árvores de grande porte levando parte do talude, elevação brusca do nível de água subterrâneo, inundação da face do talude, sismos, dentre outros.
 - Descrição dos processos e cenários possíveis de ocorrer: identificar os processos possíveis como escorregamento planar, cunha, rotacional, complexo (detalhar), corrida de tálus, detritos, erosão que desencadeia escorregamento, deslizamento associado a queda de muro, dentre outros.

- Descrição de fotos ou observações gerais: descrever a ocupação da crista e da base da encosta, a área de entorno e sua urbanização, se há sistema formal de drenagem superficial, se área de circulação elevada de pedestres, dentre outros.
 - Nº de edificações na área: citar aquelas que podem ser impactadas direta ou indiretamente por um deslizamento.
 - Grau de perigo de movimento de massa: indicar para taludes avaliados anteriormente.
 - Grau de consequências: indicar para taludes avaliados anteriormente.
 - Grau de risco: indicar para taludes avaliados anteriormente.
 - Indicação de Intervenção: medidas relativas à drenagem superficial, proteção superficial do talude, monitoramento com visitas periódicas ou instrumentos instalados em campo, estruturas de contenção.
- Detalhamento do roteiro:
- Indicar o meio de transporte para chegar até a área de estudo.
 - Definir local para estacionar.
 - Marcar o caminhamento proposto para o monitoramento em texto e se possível na imagem de satélite. O aplicativo livre *Google Maps* e/ou *Google Earth* foi utilizado no planejamento do roteiro.
 - Incluir a imagem de satélite com indicação das paradas.
 - Indicar previsão de tempo gasto em cada etapa do trabalho de campo.
- Materiais:
- Roteiro impresso e/ou com acesso pelo celular ou tablet;
 - Fichas de avaliação de risco em branco (perigo e consequências) para preenchimento manual em campo, ou ficha a ser preenchida pelo celular ou tablet em formulários eletrônicos com acesso à internet;
 - Caderneta de anotações, lápis ou caneta, borracha.
 - Plano de internet para consultas a mapas temáticos essenciais para as avaliações de risco, e documentos de análise de risco.
 - Celular ou tablet com acesso à internet para geolocalização e visualização de documentos. Podem ser utilizados também para a marcação das coordenadas

geográficas do roteiro pelo *Google Maps* ou aplicativos similares. Deve-se ir a campo com bateria dos equipamentos em 100%.

- Carregador extra de celular ou tablet.
- E/ou GPS para marcação das coordenadas geográficas do roteiro.
- Trena a laser para obtenção de distâncias, ângulos de inclinação do talude. Em Contagem, não havia este equipamento disponível. Foi utilizada trena comum em alguns casos, e outros, estimativas.
- Picareta pequena de ponta dupla, sendo uma pontiaguda e outra achatada para pequenas escavações (sacho). O martelo de geólogo pode ser optativo, já que taludes em solo que estão sendo avaliados, bem como o martelo de Schmidt para medida da força de compressão para correlacionar com grau de alteração do maciço rochoso.
- Máquina fotográfica ou celular com câmera de resolução satisfatória.
- Plásticos para proteger documentos da chuva e acondicionar pequenas amostras de solo para identificação visual e tátil do material seco.
- Objetos pessoais: pelo menos 1 litro de água fresca para beber, para deslocamentos de meio período do dia, lanches rápidos como barra de cereais e biscoitos.
- 1 litro de água a mais para identificação visual e tátil do solo em campo.
- Equipamentos de segurança: chapéu, botas, protetor solar com fator FPS 30 ou superior, repelente de insetos, capa de chuva. E se em local de risco quanto a picadas de animais peçonhentos avaliar a utilização de perneira.

Obs.: Os equipamentos de proteção individual são sugestões desta pesquisa. Para uso futuro, devem ser revisados conforme normas da Proteção Civil e/ou empresa executora do monitoramento de risco.

Apresenta-se a sugestão de POP para o monitoramento no APÊNDICE C.

3.3. Análise e Avaliação do Risco

Nesta etapa, determina-se o perigo e suas consequências, bem como apresenta-se o resultado em uma matriz com graus de riscos diferentes. Após a avaliação dos resultados é realizada a hierarquização dos riscos de forma a embasar a próxima etapa que é a definição de estratégias e ações de prevenção e mitigação, bem como corretivas.

Para a escolha dos métodos de análise de risco, foi realizada uma pesquisa prévia de metodologias aplicáveis, conforme a seguir.

3.3.1. Ferramentas e técnicas

3.3.1.1. Métodos elencados pela ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012)

A norma ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) apresenta 31 ferramentas e técnicas para análise e avaliação de riscos, e cita que o processo de avaliação pode ter diferentes graus de detalhamento, do simples ao complexo; e que convém que as técnicas usadas sejam justificáveis e apropriadas à situação ou organização em questão; e que os resultados possam ampliar o entendimento do risco e seu tratamento; e que a técnica adotada seja rastreável, repetível e verificável. A Tabela 3.4 apresenta as técnicas citadas pela referida norma, acrescidas de breve descrição, e aplicabilidade.

Ressalta-se que essa norma é genérica, não sendo específica para um só tipo de risco, organização ou instituição, mas seus preceitos podem ser aplicados para avaliação de riscos geológico-geotécnicos em áreas urbanas.

Tabela 3.4- Aplicabilidade e uso de métodos de avaliação de riscos (síntese elaborada a partir da ABNT NBR ISO/IEC 31010, 2012) ⁽¹⁾.

Ferramentas e técnicas	Breve descrição do método	Utilização
<i>Brainstorming</i> (tempestade de ideias)	Técnica que estimula o diálogo e discussão em grupo para identificar riscos, modos de falha, ou medidas de tratamento. Pode ser estruturado ou não. E a mediação é importante para manter o livre pensamento e sintetizar as propostas ao fim.	Pode ser usado em conjunto com outros métodos na avaliação de riscos, e como exemplo, na etapa de identificação de riscos para elaborar uma lista de riscos e controles atuais; ou para sugerir soluções de mitigação. Em Contagem, foi utilizada em vários momentos com a equipe da Defesa Civil e extensionistas, por exemplo, para elaboração do roteiro e procedimento de trabalho de campo.
Entrevistas estruturadas ou semi-estruturadas	Na estruturada, os entrevistados respondem perguntas pré-elaboradas segundo determinada perspectiva. A entrevista semi-estruturada é similar, mas permite conversa a partir de questões que surjam.	Quando for difícil reunir em grupo, ou inapropriado, ou é preciso entrevistar muitas pessoas o que não é adequado para brainstorming. Apropriadas para identificar riscos ou controles. Também para identificar a percepção de risco, verificar aspectos de comunicação, ou qualquer outra questão do ciclo de gestão de riscos.
Delphi	Técnica para obter consenso confiável de opiniões em um grupo de especialistas, onde cada um expressa sua opinião individual e anônima, e obtém acesso aos pontos de vista de outros especialistas à	Qualquer etapa da gestão de riscos em que seja necessário um consenso de especialistas. Por exemplo, sobre um possível cenário de ruptura de talude, onde um conjunto de opções são apresentadas para especialistas por meio de um questionário semiestruturado; depois alguém compila os resultados e repassa a todos. Os especialistas voltam a dar um

Ferramentas e técnicas	Breve descrição do método	Utilização
	medida que o processo evolui.	parecer e o processo se repete até o consenso. Técnica pode ser usada na elaboração de mapas temáticos, para dar peso as variáveis por exemplo.
Listas de verificação	São listas para verificar perigos e riscos ou para avaliar controles, desenvolvidas a partir da experiência, como resultado de um processo de avaliação de riscos anterior, ou como resultado de falhas passadas.	Pode ser utilizada em qualquer etapa da caracterização do risco. É amplamente utilizada como ficha de campo para identificação dos riscos, ou para vistoria de áreas de risco pela Proteção Civil. Pode também ser utilizada em conjunto com outras técnicas.
Análise preliminar de perigos (APP)	Fornece informações preliminares sobre os perigos e situações e eventos que podem causar danos, de forma simples e indutiva.	Não são adequadas para análises detalhadas de riscos, mas sim, no início do desenvolvimento de análises. Podem ser apresentadas em tabelas ou árvores.
Estudo de perigos e operabilidade (HAZOP)	HAZOP é acrônimo para <i>Hazard and Operability Study</i> , e é um exame estruturado e sistemático para identificar riscos para as pessoas, equipamentos, ambiente. Espera-se também uma indicação de tratamento para o risco. É similar ao FMEA enquanto se identifica os modos de falha, causas e consequências. A diferença é que considera os resultados indesejáveis e condições pretendidas e os trabalha de trás para frente.	Foi inicialmente desenvolvido para analisar sistemas de processos químicos, mas pode ser aplicado em projeto de software, controle de instrumentos críticos de segurança (como por exemplo, medidores de nível de água e piezômetros), sistemas de computador, entre outros. Deve ser usado a partir de um método sistemático de definição de palavras chave e identificação de desvios. E a partir daí, identificar as possíveis causas. Norma de referência: IEC 61882, Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide.
Análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC)	Fornece uma estrutura para identificar perigos e aplicar controles em todas as partes pertinentes de um processo e proteger dos perigos, mantendo a confiabilidade e segurança.	Inicialmente desenvolvido para assegurar a qualidade dos alimentos para o programa espacial da NASA, e agora utiliza-se em organizações que operam na cadeia alimentar de alimentos. Norma de referência: ABNT NBR ISO 22000, Sistemas de gestão da segurança de alimentos – Requisitos para qualquer organização na cadeia produtiva de alimentos. Esta técnica pode ser útil por exemplo, em inspeções de taludes, sistemas de drenagem e contenções.
Avaliação de risco ambiental	Este método visa analisar como os perigos identificados podem atingir vegetais, animais e seres humanos devido a sua exposição, e causar danos. É fornecida uma estimativa da provável extensão do dano.	Como o método prevê a análise do caminho de como um perigo atinge um alvo, pode ser útil na identificação dos riscos, mas também na sinalização de formas de tratamento ou remediação.
<i>Técnica estruturada “E se” (SWIFT)</i>	Sendo mais simples que a técnica HAZOP, trata-se de um estudo sistemático e desenvolvido em uma equipe multidisciplinar, em que o facilitador pergunta “e se”, em relação à diferentes possibilidades de resultados não desejados.	Inicialmente foi desenvolvida para identificação de perigos em instalações químicas e petroquímicas. Pode ser utilizada para explorar potenciais cenários, suas causas, consequências e impactos de riscos.
Análise de cenários	Esta técnica pode ser entendida como uma análise de sensibilidade de	Pode ser utilizada para planejamento de ações

Ferramentas e técnicas	Breve descrição do método	Utilização
	cenários de risco, à medida que pode prever um cenário otimista, outro intermediário e outro pessimista. Permite a previsão e preparo para o futuro.	estratégicas para erradicação ou mitigação dos riscos.
Análise de impactos no Negócio (BIA)	Esta técnica permite identificar os riscos que possam causar impactos em uma organização, e identifica a forma de gerenciá-los.	Utilizada para determinar a criticidade e tempo de recuperação de uma organização em caso de rupturas. Fornece uma lista de processos críticos, por prioridade. Pode ser usada em elaboração de Plano de Contingência
Análise de causa-raiz (RCA)	É uma técnica para análise de uma grande perda, de forma a evitar nova ocorrência, a partir da investigação da causa raiz do problema.	Utilizada em grandes desastres, para problemas complexos, investigação de acidentes de saúde e segurança ocupacional.
Análise de modos de falha, efeitos e criticidade (FMEA e FMECA)	O método FMEA identifica possíveis modos de falha e seus efeitos, e obtém um índice de risco qualitativo ou quantitativo a partir da análise de probabilidade de ocorrência de um evento danoso e consequências. O FMECA, além disso, determina a ordem de prioridade de ação em relação aos riscos identificados.	Método bastante aplicado em processos de manufatura, montagem, análises de risco em barragens e pilhas. Mais facilmente implementado em fase de projeto e pode ser entrada para outro método de análise de falhas em cascata, como árvores de falhas. Normas: IEC 60812, Analysis techniques for system reliability – Procedures for failure mode and effect analysis (FMEA)
Análise de árvore de falhas (FTA)	Este método apresenta em uma árvore a relação entre um evento indesejado (de topo) e fatores causais identificados por dedução, bem como os eventos de base. Tem o foco nas causas.	Quando utilizada qualitativamente, estabelece potenciais causas ou caminho de eventos até o evento de topo indesejado; e quando utilizada quantitativamente, pode-se calcular as probabilidades dos eventos de base e do caminho até chegar ao topo, tendo como resultado a probabilidade deste evento de topo indesejado. Normas: IEC 61025, Fault tree analysis (FTA); IEC 60300-3-9, Dependability management – Part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems.
Análise de árvore de eventos (ETA)	Assim como a FTA, apresenta o resultado graficamente, contudo parte-se de um evento iniciador e vai deduzindo os eventos consequentes e identificando os caminhos caso os efeitos sejam atenuados ou não. Tem o foco nas consequências.	Pode-se ter um resultado qualitativo ou quantitativo em termos de frequência por ano. Pode ser utilizado na previsão de cenários após um evento iniciador, e verificar como os resultados são afetados por diferentes tratamentos do risco (efeito atenuador).
Análise de causa e consequência	Esta técnica une conceitos da FTA para análise das causas, e da ETA para análise das consequências. Também possui uma saída gráfica em forma de fluxograma (árvore).	Utilizado para análises complexas de falhas, causas e consequências. Demanda maior envolvimento da equipe e dedicação, além de conhecimentos específicos de todo o processo.
Análise de causa e efeito	Assim como a FTA, parte do efeito danoso para elencar as causas, mas essas em categorias distintas e listadas todas as possíveis causas. Por isso não se indica o cálculo das	Geralmente utilizada para análise qualitativa das possíveis causas de um efeito danoso e apresentada como um diagrama espinha de peixe ou de Ishikawa.

Ferramentas e técnicas	Breve descrição do método	Utilização
	probabilidades, pois as causas são possíveis fatores contributivos, diferentes de falhas prováveis onde se pode calcular a probabilidade de ocorrência.	
Análise de camadas de proteção (LOPA)	Neste método semiquantitativo seleciona-se um par de causa e consequência de um evento danoso e realiza-se um cálculo para verificar se a proteção planejada é suficiente para reduzir o risco a um nível tolerável.	Eficiente em conjunto com técnicas predecessoras como HAZOP e APP, para verificar as estratégias de prevenção e mitigação do risco, por cada camada de proteção.
Árvore de decisões	Similar à técnica ETA, parte de um evento inicial ou decisão e apresenta diferentes caminhos ou decisões a serem tomadas posteriormente.	Pode ser utilizada na gestão de riscos para, por exemplo, auxiliar na escolha da melhor opção para tratamento de riscos.
Análise da confiabilidade Humana (ACH)	Esta técnica permite verificar o impacto que possíveis erros humanos podem ocasionar em um sistema. Também sinaliza formas de prevenção.	Pode ser utilizada de forma qualitativa, quando identifica os potenciais erros humanos e suas causas e formas de evita-los; ou de forma quantitativa quando utilizada para fornecer dados sobre falhas humanas como entrada para outras técnicas.
Análise <i>Bow Tie</i>	É um método gráfico, onde o possível evento danoso é colocado em uma forma circular, e são correlacionadas as causas e consequências. Reúne conceitos de FTA e ETA, mas de forma menos complexa.	Pode ser utilizada em uma sessão de <i>brainstorming</i> para organizar as possíveis causas e consequências de um evento danoso.
Manutenção centrada em Confiabilidade (RCM)	Este método identifica as políticas de gestão de falhas e ações preventivas.	É utilizada para garantir sistemas de manutenção eficaz na fase de projeto, desenvolvimento ou operação.
<i>Sneak analysis (SA)</i> e <i>sneak circuit analysis (SCA)</i>	Este método tem como fim identificar erros de projeto. Estas condições (<i>sneak</i>) podem causar um evento indesejado ou evitar um evento desejado. Pode integrar outras metodologias como FTA, ETA	Foi desenvolvida pela NASA para identificar caminhos incorretos de circuitos elétricos. Sua utilização pode integrar outras metodologias como FTA, ETA, FMEA. Em geotecnia pode ser utilizada por exemplo para verificação de instrumentos e sistemas de monitoramento.
Análise de Markov	É uma técnica quantitativa, com fórmulas matemáticas, que requer programas computacionais e que visa avaliar um estado futuro a partir de um estado atual, aplicando taxas de mudança (quando equação contínua), ou utilizando probabilidades entre as mudanças de estado (como processo discreto).	Por se tratar de método quantitativo sua utilização requer mais dados e informações numéricas. Aplicável para identificar riscos e análise de consequências. Contudo, técnica muito complexa para aplicação em gestão de riscos geológicos em áreas urbanas, quando não se detém um banco de dados vasto.
Simulação de Monte Carlo	É um método que visa identificar as incertezas de um sistema por meio de cálculos probabilísticos quando as	Assim como a ferramenta de Markov, é uma técnica que necessita de entradas quantitativas. Aplicável para identificar riscos e análise de consequências. Contudo,

Ferramentas e técnicas	Breve descrição do método	Utilização
	técnicas analíticas não funcionam. Considera as entradas como variáveis aleatórias e executa um número N de cálculos (simulações/iterações) a fim de se obter N saídas possíveis para o resultado esperado.	técnica muito complexa para aplicação em gestão de riscos geológicos em áreas urbanas, mas utilizada com certa frequência em análises de estabilidade probabilística de taludes.
Estatística Bayesiana e Redes de Bayes	Este método estatístico e probabilístico apresenta de forma gráfica um conjunto de variáveis e suas relações. Tem como premissa que relações conhecidas <i>a priori</i> podem ser combinadas com medições subsequentes <i>a posteriori</i> para estabelecer uma probabilidade global. Difere da estatística clássica que considera os parâmetros da distribuição fixos, e considera por outro lado os parâmetros como variáveis aleatórias.	Utilizada em diagnósticos médicos, modelagem de imagens, genética, buscas na web, etc. Contudo, técnica muito complexa para aplicação em gestão de riscos geológicos em áreas urbanas, considerando o atual espectro de técnicas utilizadas e falta de dados catalogados para alguns municípios.
Curvas FN	Esta curva, na maioria das vezes, se refere à probabilidade de eventos com potencial de perdas de vida (frequência acumulada, F) em relação à previsão de membros da população que serão afetados (N).	Técnica que pode ser muito útil de ser apresentada em conjunto com outra técnica de análise de risco, por exemplo FMEA, já que existem riscos que podem ter baixa probabilidade de ocorrência, mas consequências muito graves em perdas de vidas. Portanto, nestes casos, mesmo que o risco seja baixo ou médio, ações de mitigação ou tratamento devem ser implantadas para evitar as consequências, e a curva FN pode ser um critério de comparação desses riscos para subsidiar estratégias de ação.
Índices de Risco	É um método semiquantitativo de análise de risco, por meio de uma abordagem de pontuação mediante escalas e faixas de risco. Embora os números sejam utilizados, são para facilitar a manipulação dos dados e padronização, pois a análise de risco em si é qualitativa.	Utilizados para classificar diferentes tipos de risco, inclusive para verificar a necessidade de uma análise quantitativa. Técnica muito usada para fichas de campo, geração de mapas de risco por geoprocessamento, em complemento e conjunto com outras técnicas de análise, dentre outras aplicações em gestão de riscos geológicos em áreas urbanas.
Matriz de probabilidade/consequência	Método que apresenta a probabilidade no eixo x de uma matriz, por exemplo, e consequências no eixo y. Combina avaliações qualitativas e quantitativas e a ordem da matriz e critérios de classificação de risco devem ser adequadas para cada situação.	Técnica que pode ser utilizada em conjunto com outras como FMEA e índices de risco. Recomendável para estabelecer criticidade dos riscos e possibilitar visualização comparativa dos mesmos.
Análise de custo/benefício (ACB)	Técnica que pondera os custos totais esperados contra os benefícios totais esperados a fim de escolher a melhor opção de tratamento dos riscos, ou decidir manter a situação como está.	Utilizada para decidir entre opções que envolvam risco como: qual a melhor estratégia de tratamento dos riscos; se convém tratar; qual a melhor linha de ação.

Ferramentas e técnicas	Breve descrição do método	Utilização
Análise de decisão por multicritério (MCDA)	Este método tem o objetivo de utilizar uma faixa de critérios para avaliar o valor global de um conjunto de opções, e hierarquizar, a partir da pontuação das opções, dentro de intervalos pré-estabelecidos de opções.	Utilizado para comparar, hierarquizar e/ou alcançar consenso entre opções que por vezes podem ter interesses conflitantes entre partes interessadas. Técnica muito usada para geração de mapas de risco, susceptibilidade, vulnerabilidade, aptidão para urbanização dentre outros, por meio de técnicas de geoprocessamento, em complemento e conjunto com outras técnicas de análise, dentre outras aplicações em gestão de riscos geológicos em áreas urbanas.

Nota 1: Esta tabela é uma síntese e foi adaptada a partir da norma ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012). Contempla algumas pontuações da autora desta pesquisa quanto à utilização dos métodos, e não constitui produto aprovado pelo comitê normativo, tampouco íntegra da norma, sendo responsabilidade dos utilizadores a adoção da mesma. Para maiores detalhes, recomenda-se a consulta direta à norma, que possui texto amplo sobre os 31 métodos aqui citados.

Após o estudo dos métodos apresentados na Tabela 3.4 para análise e avaliação dos riscos, optou-se por utilizar: o *Brainstorming*, em reuniões e trabalhos de campo com a Defesa Civil; Listas de Verificação, para elaboração dos roteiros e fichas de campo; Índice de Riscos para elaboração das fichas de perigo e consequências; e principalmente o método *FMEA* para gestão de riscos, que contempla em si o método de Matriz de Probabilidade x Consequências.

3.3.1.2. O método FMEA e FMECA

A metodologia FMEA possui o objetivo de prever e se antecipar para impedir que rupturas aconteçam, a partir da análise do modo de falha e seus efeitos. Desta forma, pode-se implementar um programa de redução de risco e definição de ações mitigadoras, assim como delegar responsabilidades na gestão e monitoramento.

Segundo PETRONILHO (2010), uma das primeiras descrições do método foi em 1949, na norma *Military Standard Mil-STD-1629 – Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Critically Analysis*. O método foi desenvolvido pelo exército norte-americano e definiu a forma básica para se analisar um sistema e seus modelos de falhas, os impactos potenciais e a gravidade de cada consequência. A norma atual que rege este método é a IEC 60812 (2018).

A partir do ano 2000, essas técnicas foram difundidas e aplicadas com diferentes objetivos. Exemplos de aplicação em barragens de rejeitos podem ser encontrados em FONSECA (2018), VIANA (2015) e PEREIRA (2009).

A ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012) apresenta o método como uma de 31 alternativas para aplicações gerais de análise de risco, e, a partir do estudo dessa norma e outras referências,

as etapas de aplicação do *FMEA* para gestão de riscos em taludes de solo em áreas urbanas monitoradas pela Proteção Civil foram desenvolvidas e estão apresentadas na Figura 3.24.

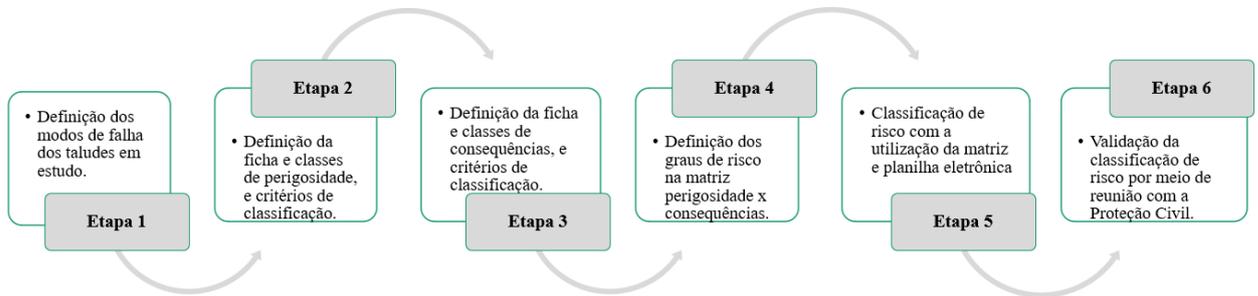


Figura 3.24- Etapas da aplicação do FMEA nos taludes analisados

Na etapa 1, foi realizada a análise do histórico de ocorrências e estudo da Carta Geotécnica do Porto (PORTO, 2003) e do PMRR de Contagem, e demais mapas temáticos a fim de elencar possíveis mecanismos de ruptura, condicionantes, indícios de instabilidade, possíveis agentes deflagradores de ruptura. Os modos de falha elencados foram confirmados pelos trabalhos de campo, e em alguns casos, mais de um cenário de ruptura foi avaliado. Já a etapa 2 contemplou a definição da ficha de perigo, índices e critérios para definição de classes. Foi adotada uma tabela de pontos que considera 11 parâmetros a serem avaliados por talude. Após a soma dos pontos de cada índice, enquadra-se o talude em 5 classes de perigo, definidas conforme BORGES (2017). A etapa 3, para definição da ficha e classes de consequências, contempla os mesmos passos da etapa 2, contudo, a ficha de consequências possui 5 índices a serem pontuados. A etapa 4 consiste na definição das classes de risco (que podem ser de R1 - risco baixo, a R4 - risco extremo) na matriz de perigo e consequências, a qual foi adotada com a ordem 5x5. De posse da somatória dos pontos e classes de perigo e consequências, aplica-se esse resultado de cada talude na matriz de risco e tabela *FMEA*, que consiste da etapa 5. Já na etapa 6, o resultado da classificação dos riscos dos taludes é discutido em reunião técnica, bem como as ações preventivas, mitigatórias e corretivas.

É importante esclarecer a diferença entre os métodos *FMEA* e *FMECA*. No *FMECA* – *Failure Mode and Effect Criticality Analysis*, pode-se quantificar a criticidade. É prevista uma terceira variável na equação de risco $R = \text{Perigo (P)} \times \text{Consequências (C)} \times \text{Detecção (D)}$. A detecção é a capacidade da organização de detectar um modo de falha e agir, antes que a ruptura aconteça. Pode-se adaptar a detecção, que é um termo da área industrial, para o inverso da gestão (g^{-1}), que é um termo utilizado em riscos geotécnicos, e que faz parte da equação proposta por SHOOK (1997) apud NOGUEIRA (2002): $R = P * C * g^{-1}$. Quanto melhor a gestão, menor é o risco e maior a possibilidade de detecção do modo de falha antes da

ocorrência. São atribuídos números às três variáveis da equação, cuja multiplicação desses totaliza o RPN (*Risk Priority Number*). O RPN é um número que hierarquiza os riscos pois, quanto maior o RPN, maior o risco e mais prioritária a ação preventiva, mitigadora ou corretiva para o modo de falha. Além do RPN é possível obter uma matriz tridimensional de riscos: $P \times C \times g^{-1}$. O método *FMECA* foi de forma preliminar aplicado nos estudos de caso, mas, após reunião técnica com o orientador da tese e representante da Proteção Civil do Porto, optou-se por não utilizar nesta pesquisa, a fim de melhor aprofundar no FMEA, o qual já oferece como resultado uma matriz bidimensional com duas variáveis: $P \times C$. Para próximas pesquisas, pode-se reavaliar a utilização do *FMECA*.

3.3.1.1. O método *RHRS*, *CLHS* e similares

Neste item são abordados os métodos que utilizam sistemas de pontuação e/ou classificação de parâmetros de perigo, vulnerabilidade e consequências para se chegar a um grau de risco final, tanto para taludes rochosos como taludes de solo.

Para taludes rochosos, apresentam-se alguns conceitos e referências adotadas nesta pesquisa. BORGES (2017) adapta o método RHRS – Rockfall Hazard Rating System, para análise de perigo e vulnerabilidade de taludes rochosos no Porto, a partir da proposta original de PIERSON et al (1990); e PIERSON & VAN VICKLE (1993) para taludes rochosos rodoviários no Estado de Oregon (EUA). A Figura 3.25 apresenta a tabela de perigo de BORGES (2017), com onze parâmetros: altura do talude, inclinação, capacidade de retenção de blocos entre a valeta e a base do talude, condições das discontinuidades, afastamento, presença de água no talude, atrito nas discontinuidades, continuidade, volume do bloco unitário e histórico de ocorrências. Esses parâmetros são enquadrados em uma das quatro faixas de pontuação. Após a totalização de pontos de perigo, BORGES (2017) também classifica a vulnerabilidade com 5 parâmetros a saber: ocupação do talude, contexto urbanístico, largura da plataforma, probabilidade de a queda do material atingir pessoas ou veículos, distância de visibilidade. Por fim, enquadra perigo e vulnerabilidade em uma matriz de risco de ordem 5x5 adaptada de ANPC (2009), com 4 classes de risco resultantes: nulo a baixo, médio, alto, extremo.

O método RHRS é utilizado pelo Departamento dos Transportes dos Estados Unidos (U.S. Department of Transportation) e foi adotado por outros autores como SILVA (2016), que propôs uma tabela de perigo para taludes rochosos na região de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil; GOMES (2009), que adaptou o método RHRS para taludes rochosos do estado do

Espírito Santo, Brasil; e BUDETTA (2004), o qual adaptou o RHRS para taludes rodoviários no sul da Itália, incorporando o fator SMR descrito em ROMANA (1993).

Esse método possui quatro faixas de pontuação: 3 pontos, 9 pontos, 27 pontos e 81 pontos, a serem escolhidas para cada índice de perigo e consequências. Observa-se que esta sequência é uma progressão geométrica, que se inicia com 3 (termo inicial a_1), e tem razão (q) de 3. Aplicando-se a fórmula geral de progressão geométrica, $a_n = a_1 \times q^{(n-1)}$, e, considerando o termo inicial $a_1=3$, é possível encontrar o valor de $a_2=9$; $a_3=27$ e $a_4=81$.

A adoção da progressão geométrica nas classes de pontuação permite maior distanciamento dessas, admitindo crescimento exponencial. Propicia também o uso de uma equação obtida por regressão (gráfico índice *versus* pontuação) para cálculo de cada parâmetro, caso se vislumbre um tratamento estatístico dos dados e automatização do processo posteriormente.

		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Altura do talude		≤ 6 metros	6 a 12 metros	12 a 18 metros	≥ 18 metros
Inclinação		≤ 45°	45 a 60°	60 a 75°	≥ 75
Capacidade de retenção entre a valeta e a base do talude		Boa	Moderada	Reduzida	Nula
Geologia	Condições estruturais (descontinuidades)	Descontinuidades com orientação favorável	Descontinuidades com orientação aleatória	Descontinuidades com orientação desfavorável	Descontinuidades muito contínuas (<3m) com orientação desfavorável
	Grau de alteração	W_1	W_2	W_3	W_4
	Afastamento	F_5	F_4	F_3	F_2/F_1
	Presença de água no talude	Completamente seco	Ligeiramente húmido	Gotejando	Fluído
	Atrito nas descontinuidade	Rugoso, irregular	Ondulado	Planar	Preenchimento argiloso ou polido
	Continuidade	Muito pouco contínuas (<1m)	Pouco contínuas (1 a 3m)	Medianamente contínuas (3 a 10m)	Contínuas a muito contínuas (>10m)
	Volume do bloco unitário	<0,1m ³	0,1 – 0,5m ³	0,5 - 1m ³	>1m ³
Historial de ocorrências de queda		Sem historial ou desconhecido	1 em 10 anos	1 em cinco anos	>1 em 5 anos

Figura 3.25- Parâmetros de perigo para taludes rochosos de Porto, Portugal (BORGES, 2017)

Em relação às referências metodológicas para análise de perigo e risco de taludes de solo, cita-se CAMPOS (2011) que propõe uma ficha de avaliação de risco quanto à movimentos de massa em áreas de risco de Belo Horizonte, MG, Brasil, a partir da análise de um inventário de vistorias da URBEL – Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte, responsável pela gestão de risco dessas áreas. Na ficha de campo proposta, são considerados agentes potencializadores (vazamentos/lançamentos de água e esgoto, concentração de água pluvial, lixo/entulho/bananeiras sobre o talude, cortes, aterros, surgências); indicativos de processos (trincas na moradia e no terreno, estrutura deformada); relação altura/afastamento do talude à moradia; vulnerabilidade da edificação; fatores atenuantes (em relação à obras de mitigação, condição favorável do material, possibilidade pequena de atingimento da moradia); e fator agravante, que pode estar relacionado à vulnerabilidade social dos moradores/moradia ou outros fatores críticos. Observa-se que esta metodologia reúne perigo e vulnerabilidade das construções para obter uma soma de pontos que se correlaciona com determinado grau de risco descrito de forma qualitativa. As classes de risco definidas são: inexistente, baixo, médio, alto, muito alto.

Já CPRM (2018) apresenta um manual de mapeamento de perigo e riscos como produto de uma parceria entre Brasil e Japão, por meio do Projeto GIDES – Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos e Desastres. Especificamente quanto ao perigo, tem-se uma tabela de classificação para cada tipo de movimento de massa levando em conta somente os indícios de instabilidade, pois esse autor faz uma análise prévia do perigo para definir áreas críticas a serem analisadas a partir de critérios topográficos. Para escorregamento planar de solo, os parâmetros considerados são: trincas; árvores inclinadas; grau de saturação/surgência; degrau de abatimento; cicatriz de escorregamento. Para escorregamento rotacional, considera como indícios de instabilidade: trincas; degrau de abatimento; deformações no sopé da encosta; estreitamento da margem de rios ou sopé; aumento de volume na base no escorregamento; grau de saturação, surgência. Os parâmetros são classificados de forma qualitativa como “Ausente”, “Presente”, “Marcante”. Outros movimentos de massa são analisados, como fluxo de detritos e queda de blocos. Por fim, é apresentada uma matriz de perigo x vulnerabilidade das construções com ordem de 4 x 4, que gera quatro graus de risco descritos de forma qualitativa: risco baixo (R1), moderado (R2), alto (R3), muito alto (R4).

PRATT & SANTI (2014) apresentam uma proposta de sistema de avaliação de perigo e riscos de escorregamentos de taludes rodoviários de solo para as autoestradas do Colorado (CLHRS – *Colorado Landslides Hazard Rating System*), o qual foi desenvolvido em complemento ao sistema de análise de queda de blocos rochosos usados pelo CDOT – *Colorado*

Department of Transportation. O CLHRS considera parâmetros relacionados ao perigo e às consequências. Para fatores de perigo cita-se geologia, cobertura vegetal, aspecto de orientação de vertentes, influência da água de superfície, frequência de descontinuidades e inclinação do talude. Para análise das consequências, os seguintes fatores são considerados: profundidade ao plano deslizante, comprimento da rodovia afetada, tráfego médio diário, opções de desvio, tempo de desvio do pior cenário e custo anual de manutenção. Por meio de uma tabela de pontos com faixas de 3, 9, 27 e 81, e multiplicação dos pontos de perigo e consequências, os autores chegam a uma pontuação dos parâmetros que é enquadrada em 5 classes de risco: muito baixo, baixo, moderado, alto e severo. Para divisão das classes de risco faz uma análise estatística e adota a mediana como o valor de corte entre classe II e III; o quartil inferior para máximo valor da classe I; o quartil superior para divisão entre classe III e IV, e acima dos outliers, classe V. Foram analisados 69 taludes. Observa-se que para uso da mediana como referência de corte de classes, a heterogeneidade da amostra é essencial para um bom resultado. A Figura 3.26 mostra a ficha de avaliação de perigo e consequências segundo PRATT & SANTI (2014).

Hazard Factor		Hazard Category				
		3 points	9 points	27 points	81 points	
Geology (Chaos One)	Cohesive Soil	USCS Classification	GW, SW, GP, GC, SP	GM, SM, SC	CL, ML	CH, MH, OL, OH, PT
	Interbedded Rock (Chaos One)	Strength Difference (D _s)	1:1	1:1 < D _s ≤ 2:1	2:1 < D _s ≤ 3:1	D _s > 3:1
		Permeability Difference (D _p)	D _p < 10 ²	10 ² < D _p ≤ 10 ³	10 ³ < D _p ≤ 10 ⁴	10 ⁴ < D _p
	Weak Rock	Jar Slake Test	No reaction	Slabs	Fractures or Chips	Flakes or Mud
Rock	Discontinuity vs. Slope Orient.	0 < AD ≤ 0.25θ	0.25θ < AD ≤ 0.5θ	0.5θ < AD ≤ 0.75θ	0.75θ < AD < θ	
Climatic Conditions	Beneficial Vegetative Cover (BVC)	BVC > 75%	50% < BVC ≤ 75%	25% < BVC ≤ 50%	BVC < 25%	
	Annual Precipitation (AP)	AP < 15"	15" < AP ≤ 30"	30" < AP ≤ 45"	AP > 45"	
	Slope Aspect	N	NW, NE	E, SE, SW, W	S	
Hydrology	Groundwater Seepage	Dry	Damp/Wet	Dripping	Running Water	
	Influence of Surface Water Bodies	None or Distant	Seasonal Drainages	Small Stream Erosion/Ponded Water	Contact w/ River/Reservoir	
	USDA Soil Capacity	Low/Very Low	Moderate	High	Very High	
Seismic Susceptibility	Peak Ground Acceleration (%g)	%g ≤ 12	12 < %g ≤ 14	14 < %g ≤ 16	%g > 16	
Existing Movement	Pavement Damage	Warping only	No Cracking, 1-2" offset	Some Cracking, 2-6" offset	Extensive Cracking, >6" offset	
	Failure Frequency	No failures in previous 5 yrs	1-2 periods of movement in previous 5 yrs	Movement observed annually	Multiple movement episodes throughout year	
Slope Morphology	Slope Angle (β)	β < 20°	20° < β ≤ 30°	30° < β ≤ 40°	β > 40°	
HAZARD TOTAL:						

Consequence Factor		Consequence Category			
		3 points	9 points	27 points	81 points
Slide Size	Depth to Slide Plane (D _{sp})	D _{sp} < 5ft	5ft ≤ D _{sp} < 10ft	10ft ≤ D _{sp} < 15ft	D _{sp} ≥ 15ft
	Map Area Affected (A _m)	A _m ≤ 1,000 m ²	1,000 m ² < A _m ≤ 10,000 m ²	10,000 m ² < A _m ≤ 100,000 m ²	A _m > 100,000 m ²
	Length of Highway Affected (L _h)	L _h ≤ 100 ft	100 ft < L _h ≤ 500 ft	500 ft < L _h ≤ 1,000 ft	L _h > 1,000 ft
Proximity of Slide to Road (P _r)		P _r ≥ 40 ft	40ft > P _r ≥ 15ft	P _r ≤ 15ft	Intersecting
Socioeconomic Impacts	Average Daily Traffic	<5,000	5,000-10,000	10,000-20,000	> 20,000
	Detour Options	None required	Onsite, lane shift, red. Speed	Offsite, <5 mi	>5 mi or none
	Worst Case Detour Time	<10 min	10-30min	30-60min	>60min
	Annual Maintenance Costs	<\$7K	\$7-14K	\$14-34K	> \$34K
CONSEQUENCE TOTAL:					

Figura 3.26- Parâmetros de perigo para taludes de solo do Colorado, EUA (PRATT & SANTI, 2014).

3.3.2. *Definição de modos de falha*

Conforme ANPC (2009) a definição de cenários críticos destina-se a descrever a progressão hipotética das circunstâncias e eventos visando ilustrar as consequências dos impactos. Para isso, buscou-se conhecer os mecanismos de ruptura típicos para as unidades geotécnicas de Porto e Contagem.

UNDRR (2019) propõe um método multiescalar de avaliação de risco para encostas, a partir da identificação do contexto geo-hidromecânico mais comum da região para definir mecanismos típicos de ruptura. Esse método possibilita a escolha de medidas mitigadoras coerentes com o local, mas sobretudo uma visão das causas dos deslizamentos em nível regional, que inclusive pode fornecer informações importantes para o contexto de planejamento urbano e cuidados com urbanização em áreas de risco.

Para a definição dos modos de falha de cada talude estudado foram primeiro identificados os processos dinâmicos possíveis de ocorrer, conforme classificação de VARNES (1978) apresentada na Tabela 2.2. Posteriormente foi realizada a descrição dos mecanismos de ruptura prováveis para cada talude, e suas possíveis consequências, buscando identificar um mecanismo típico de movimentos de massa conforme sugere UNDRR (2019), de acordo com as características da unidade geotécnica a qual se enquadra, no caso de Porto, ou a partir de trabalhos de campo e laboratório, no caso de Contagem.

3.3.2.1. Modos de falha típicos das unidades geotécnicas do Porto

Taludes em solo são mais facilmente observados nas áreas de rochas metamórficas, na parte oriental e ocidental do Porto, sendo que na parte central do município, predominantemente de granito, há relato de escorregamentos de depósitos superficiais, mas de baixa ocorrência, sendo maior o histórico de quedas e rolamentos de blocos. Boa parte da área de recarga em planalto e planície intermediária encontra-se hoje urbanizada, e com parte de seus canais fluviais sotopostos. Portanto, surgências nas escarpas de granito nas margens do Douro podem ser observadas, provenientes de canais fluviais e percolações subsuperficiais já modificadas pelas fundações das construções, cortes e aterros realizados no processo de urbanização. A percolação pelas discontinuidades conjuntamente com o sistema de fraturas das rochas graníticas e inclinação elevada condicionam os taludes às quedas de blocos e escorregamentos, sendo que em boa parte dos locais, o risco foi mitigado por obras de estabilização.

Processos semelhantes são observados em áreas mais centrais da cidade, em taludes de granito. Próximo à região da Ponte Arrábida e Via Panorâmica observam-se, além da possibilidade de quedas de blocos, depósitos superficiais sobre os granitos, que associados à declividade e ocorrência de caminhos naturais de drenagem pluvial condicionam o local à movimentos de massa do tipo escorregamento planar ou corrida de detritos.

Na parte oriental, no vale do Rio Tinto e Rio Torto, afluentes de maior aporte para o Douro, observam-se vertentes urbanizadas e com inclinações e exposição das faces dos taludes que por vezes podem condicionar os taludes de xisto grauváquico ou de solo à escorregamentos planares, principalmente quando descontinuidades das rochas ou estruturas reliquiare em solo estão com direção e mergulho desfavoráveis. Processos erosivos nos depósitos aluvionares nas margens do Rio Tinto eventualmente são observados, principalmente quando sujeitos a ação antrópica de cortes e aterros.

É comum observar no município taludes com maciço rochoso e solos residuais indiferenciados, tanto para as unidades geotécnicas associadas aos granitos, quanto para xistos ou gnaisses. Nesses casos, movimentos de massa complexos acontecem, os quais podem associar, por exemplo, escorregamentos planares e quedas de fragmentos de rocha. Também são observados escorregamentos poligonais, condicionados por estruturas reliquiare da rocha.

3.3.2.1. Modos de falha típicos do Complexo Belo Horizonte, em Contagem

O município de Contagem possui mapa geológico na escala de 1:100.000 (CPRM, 2012), servindo este mapeamento como base para o plano diretor municipal. Pode-se dizer que na quase totalidade do município ocorrem rochas do Complexo Belo Horizonte, predominantemente gnaisses, que também ocorrem em Belo Horizonte, município que possui divisa com Contagem.

Em relação aos condicionantes e mecanismos de ruptura de taludes típicos de Belo Horizonte, segundo PARIZZI (2004), os solos residuais de gnaisse, predominantes no Complexo Belo Horizonte, tem como mecanismo de ruptura escorregamentos planares nos horizontes A e B condicionados pela retirada da vegetação, cortes e erosões, e desencadeados por chuvas moderadas a intensas. Cortes acentuados que expõe o horizonte C, que é mais arenoso, associado a erosões e chuvas intensas, podem ocasionar rupturas circulares mais profundas. Este modo de falha típico foi observado em campo, principalmente na Regional Vargem das Flores.

Outra condição observada em campo, é o horizonte A decapitado, especialmente na regional Vargem das Flores, por processos erosivos e com a falta de drenagem pluvial principalmente quando da abertura de vias e retirada da cobertura vegetal. Por vezes observa-se o horizonte B também parcialmente retirado, o que expõe o horizonte C mais arenoso a escorregamentos e também acelera a formação de ravinas e voçorocas.

3.3.3. *Definição de perigo*

O perigo, que associa a suscetibilidade de movimentos de massa com a probabilidade de ocorrência de um evento danoso, foi definido nesta pesquisa como um grau de crença ou probabilidade subjetiva, pois trata-se de uma análise qualitativa. Contudo, com atribuição de alguns parâmetros semiquantitativos. Foi desenvolvida uma tabela de pontos com parâmetros calibrados a partir de alguns dados quantitativos históricos, dados identificados no campo, informações de referências bibliográficas e resultados de análises de estabilidade.

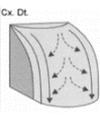
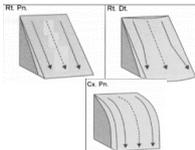
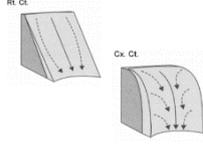
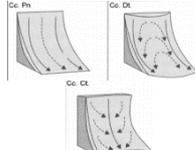
3.3.3.1. **Tabela de perigo**

Para a análise de perigo mantiveram-se as quatro faixas de pontuação conforme PRATT & SANTI (2014) e a quantidade de parâmetros de perigo (onze) conforme adotado por BORGES (2017) para taludes rochosos do Porto. Contudo, os parâmetros foram adequados a fim de considerar três eixos que influenciam no perigo:

- condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e de cobertura vegetal;
- indícios de instabilidade;
- histórico de ocorrências de escorregamentos.

Apresenta-se a Tabela 3.5 com os critérios para pontuação do perigo de escorregamentos planares e circulares em taludes de solo. Para cada parâmetro de perigo foi definida uma sigla para o índice de pontuação, por exemplo, para altura, tem-se I_{AL} – índice de altura. Todos os índices estão indicados na tabela após a descrição do parâmetro. Após a validação da tabela no Porto, a ficha de campo foi testada em Contagem, e o texto que aparece em azul na Tabela 3.5 foi a adequação para atender aos dois municípios: enquanto em Porto a condicionante geológica descontinuidade é relevante, em Contagem, os processos erosivos preponderam para condicionar escorregamentos, devido a textura arenosa do solo residual proveniente do gnaíse, e da homogeneidade deste material, que raramente apresenta estruturas reliquias relevantes.

Tabela 3.5- Critérios para pontuação do perigo de escorregamentos planares e circulares em taludes de solo

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e de cobertura vegetal	Altura do talude (I _{AL})	≤5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I _{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I _{AG})				
	Cobertura vegetal (I _{VG})	Cobertura superficial existente em área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial existente em 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial existente em 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial não existente ou existente e/ou inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I _{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I _{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamentos de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

A ficha de análise de perigo aqui proposta é uma ferramenta de análise de risco e auxílio na decisão de medidas corretivas e mitigadoras a serem realizadas pela Defesa Civil ou entidade competente. Ressalta-se que para projetos geotécnicos em nível executivo, uma investigação e análise aprofundada é recomendável, que inclui investigação de subsuperfície e levantamento topográfico, ensaios para obtenção de parâmetros físicos e de resistência, elaboração de um modelo geotécnico detalhado e análises de estabilidade a fim de determinar o Fator de Segurança (FS) do talude.

Nos itens seguintes estão apresentadas as premissas e critérios adotados para definição de cada parâmetro da tabela de perigo, bem como as instruções de como se obter esses dados, quando da utilização da ficha em campo.

3.3.3.1.1. Altura do talude

Critérios para pontuação da altura

A princípio, as alturas de 5, 10, 15, 20 m e acima foram definidas pela observação dos valores encontrados nos taludes em campo e pelas informações da carta geotécnica existente (PORTO, 2003) além de referências e trabalhos de campo em Contagem.

A validação desses valores foi realizada por meio de análises de estabilidade para a unidade geotécnica G1, do Porto, a qual apresenta menores valores de coesão, ângulo de atrito e peso específico total, inclusive parâmetros próximos dos obtidos em ensaios de resistência realizados em solo residual de gnaiss em Contagem. Variou-se a altura do talude de 5 a 20 m, fixando a inclinação em 25 graus. Trata-se de uma análise de sensibilidade simplificada, para fins de verificação de coerência e ordem de grandeza dos fatores de segurança para as alturas definidas e pontuações correspondentes.

Para verificar se as alturas de 5, 10, 15 e 20 m, e respectivos Fatores de Segurança (FS) obtidos nas análises de estabilidade, estão coerentes com as pontuações de 3, 9, 27 e 81 respectivamente, foram atribuídas faixas de FS para cada pontuação, de acordo com o nível de segurança requerido, conforme apresenta-se na Tabela 3.6.

A definição de faixas admissíveis de FS de acordo com a condição de segurança do talude e respectiva pontuação, foi estipulada a partir da análise dos FS preconizados pela ABNT NBR 11682 (2009), os quais estão apresentados na Tabela 3.7, bem como a partir de práticas já consagradas para determinação de condições de segurança em barragens e elaboração de Plano de Atendimento Emergencial (DNPM, 2017), conforme Tabela 3.6. Os resultados dos

fatores de segurança obtidos nas análises de sensibilidade de um talude hipotético de material de aterro (unidade geotécnica G1) estão apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.6- Critérios para pontuação do parâmetro altura

Faixas admissíveis de FS	Condição em relação à segurança	Pontuação atribuída
$FS \geq 1,5$	Normal	3
$1,3 \leq FS < 1,5$	Atenção	9
$1,1 \leq FS < 1,3$	Alerta	27
$FS < 1,1$	Emergência	81

Tabela 3.7- Fatores de segurança mínimos para deslizamentos (ABNT NBR 11682: 2009)

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Tabela 3.8- Validação das pontuações correspondentes por altura do talude.

Altura (m)	FS obtido	FS atribuído	Validação
5	1,51	$FS \geq 1,5$	$1,52 > 1,5$ ok!
10	1,36	$1,3 \leq FS < 1,5$	$1,36 > 1,3$ ok!
15	1,30	$1,1 \leq FS < 1,3$	$1,29 < 1,30$ ok!
20	1,26	$FS < 1,1$	Não validado, mas mantida a pontuação 81 para alturas entre 16 e 20m e acima, a favor da segurança.

Os parâmetros geotécnicos utilizados nas análises de estabilidade foram adotados conforme a síntese da carta geotécnica apresentada no APÊNDICE A – Contextualização e estudos de caso em Porto, Portugal:

- Peso específico total de 18 kN/m³;

- Coesão efetiva de 2 kPa, valor adotado para evitar o efeito de superfícies de ruptura muito rasas, mas pela carta geotécnica seria zero;
- Ângulo de atrito efetivo de 28°;
- Sem nível freático, pois conforme a carta geotécnica esse nível costuma estar associado com a base do aterro;
- Condição drenada, parâmetros efetivos.

Apresenta-se na Figura 3.27 uma das análises de estabilidade realizadas para verificação dos FS variando com a altura, especificamente a que considera o talude com 5 m de altura e inclinação de 25°. Foi utilizado o programa Slide 6.0 da Rocscience e o método de Bishop Simplificado. O fator de segurança obtido nesse caso foi de 1,51, o que está coerente com a condição normal de segurança ($FS \geq 1,5$ conforme Tabela 3.6), que corresponde a 3 pontos na tabela de perigo.

Somente para a altura de 20 m não se obteve $FS < 1,1$, o qual corresponderia à condição de emergência com pontuação máxima (81 pontos). Contudo, manteve-se a relação de 81 pontos para essa altura a favor da segurança.

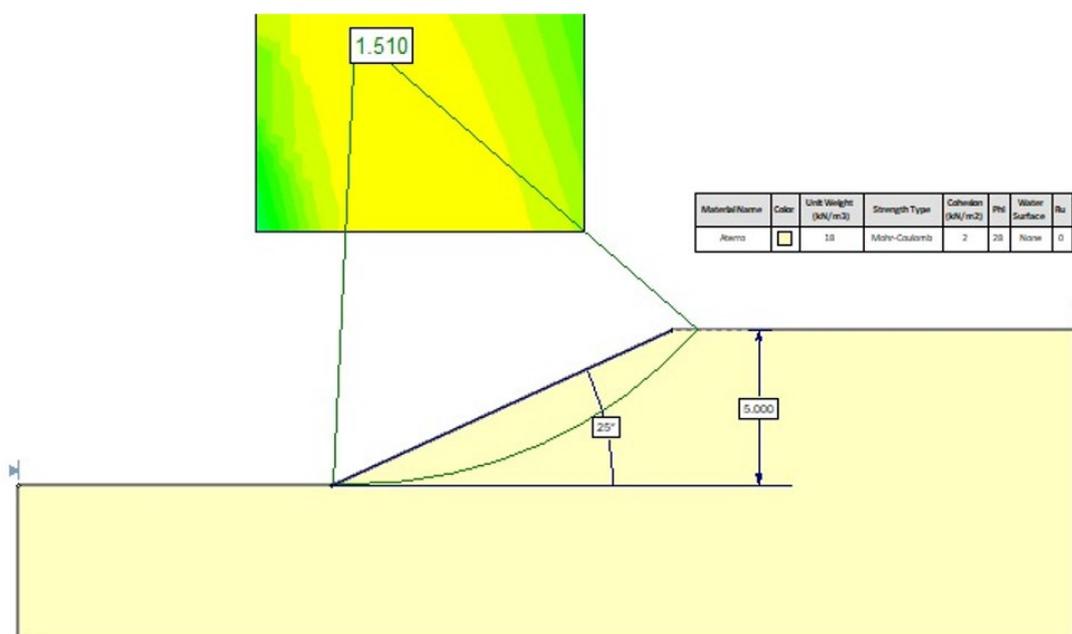


Figura 3.27- Análise de estabilidade de talude hipotético do grupo G1, altura 5m, inclinação 25°, sem nível de água, condições drenadas.

Portanto, após validação preliminar por meio de análises de estabilidade, mantiveram-se as classes de altura e respectivas pontuações conforme Tabela 3.9.

Tabela 3.9- Variação da pontuação (I_{AL}) conforme as classes de altura

Índice I_{AL}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Altura do talude	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m

Obtenção da altura em campo

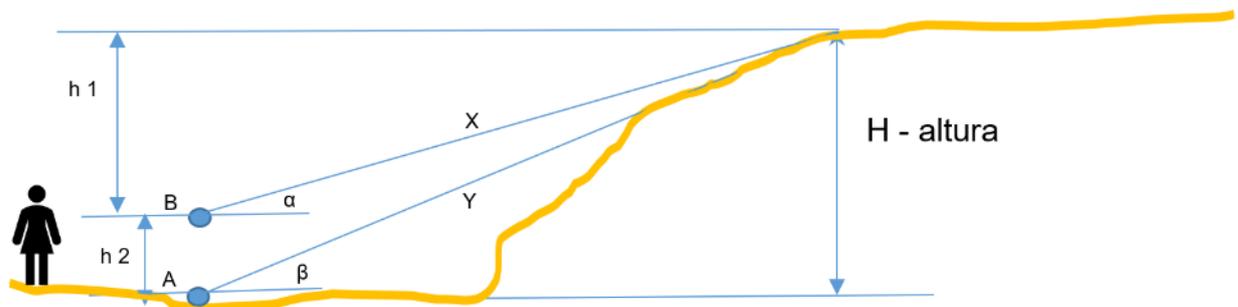
As alturas médias dos taludes foram obtidas em campo por meio de uma trena a laser e clinômetro digital, a qual já utiliza as relações trigonométricas para o cálculo da altura (H). Conforme indicado na Figura 3.28, a trena a laser foi posicionada em A, quando era possível mirar e visualizar o laser no topo do talude; ou em B, quando não era possível visualizar o laser na crista, partindo de A.

Para o cálculo de H, com a trena digital posicionada em A:

- Obter o valor de Y;
- Obter o valor de β ;
- Calcular a altura pela fórmula: $H = Y * \sin \beta$

Para o cálculo de H, com a trena digital posicionada em B:

- Obter o valor de X;
- Obter o valor de α ;
- Calcular a altura pela fórmula: $H = h_2 + X * \sin \alpha$

**Figura 3.28- Esquema para obtenção da altura do talude em campo**

Buscou-se determinar a altura média do talude, realizando mais de uma medida para alturas não uniformes, a fim de se obter um valor mais próximo da realidade.

3.3.3.1.2. Inclinação do taludeCrítérios para pontuação da inclinação do talude

Inicialmente as classes de inclinação dos taludes de solo foram 25°; 30°; 40° e 50°. Valores determinados a partir de observação das inclinações dos taludes em campo, pelas

informações da carta geotécnica existente (PORTO, 2003) sobre inclinações de solo frequentes em Porto e Contagem, além de sugestões de referências bibliográficas.

Segundo CPRM (2018), a análise de dados japoneses e de experiências em municípios brasileiros, indicam que encostas com inclinação superior a 25° e altura maior ou igual a 5 m já se enquadram na condição onde recomenda-se delimitar e verificar o perigo e risco potencial para movimentos de massa do tipo escorregamento planar, dentre outros critérios.

Já a inclinação do talude de 50°, o que seria correspondente ao patamar de maior pontuação quanto à inclinação (81 pontos), está coerente com o mergulho de descontinuidades observadas em PORTO (2003), principalmente nas unidades geotécnicas de formações metamórficas (G4-X e G5), as quais associadas à taludes com face orientadas para leste condicionam movimentos de massa tipo escorregamento planar ou cunha.

A validação preliminar desses valores de inclinação foi realizada por meio de análises de estabilidade no software Slide 6.0, utilizando o método de Bishop Simplificado, para um talude hipotético da unidade geotécnica G1, o qual apresenta menores valores de coesão, ângulo de atrito e peso específico total. Os parâmetros geotécnicos foram os mesmos adotados para verificação das classes de alturas.

Fixando a altura em 5m, e variando a inclinação do talude em 25°, 30°, 40° e 50°, similar ao método de verificação para o parâmetro altura, os fatores de segurança encontrados inicialmente foram 1,51; 1,27; 1,02 e 0,80. Para a inclinação de 40° e 50° os valores ficaram aquém dos intervalos especificados na Tabela 3.8 ($1,1 \leq FS < 1,3$ e $FS < 1,1$ respectivamente). Portanto, optou-se por alterar as classes de inclinações para 25°, 30°, 35° e 40°, para atribuir respectivamente 3, 9, 27 e 81 pontos. Os novos fatores de segurança encontrados e a validação das classes estão apresentados na Tabela 3.10.

Tabela 3.10- Validação das pontuações correspondentes por inclinação do talude.

Inclinação do talude (graus)	FS obtido	FS atribuído	Validação
25	1,51	$FS \geq 1,5$	1,51 > 1,5 ok!
30	1,27	$1,3 \leq FS < 1,5$	1,27 > 1,3 considerado ok!
35	1,15	$1,1 \leq FS < 1,3$	$1,1 \leq 1,15 < 1,30$ ok!
40	1,02	$FS < 1,1$	1,02 < 1,15 ok!

Apresenta-se na Figura 3.29 uma das análises de estabilidade realizadas para verificação do FS variando com a inclinação, especificamente a que considera o talude com 5 m de altura e inclinação de 35°. O fator de segurança obtido nesse caso foi de 1,15, o que está coerente com a condição de alerta ($1,1 \leq FS < 1,3$ conforme Tabela 3.6), que corresponde a 27 pontos na tabela de perigo.

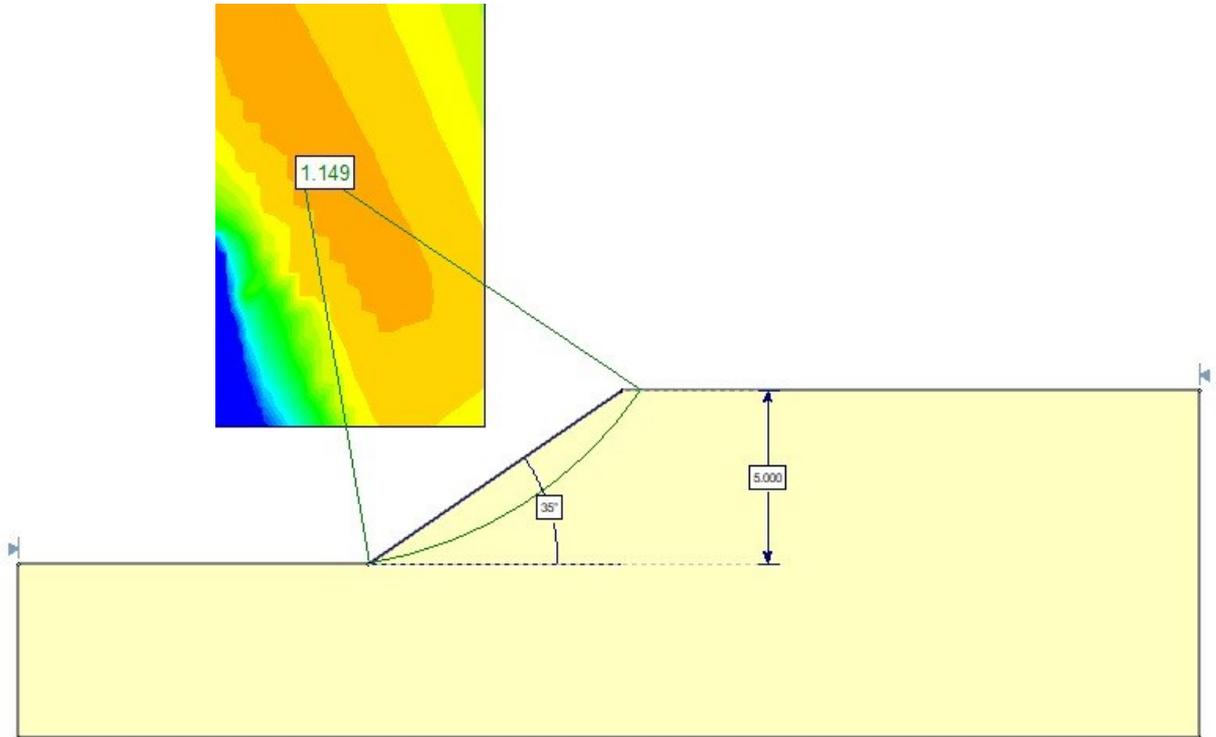


Figura 3.29- Análise de estabilidade de talude hipotético do grupo G1, altura 5m, inclinação 35°, sem nível de água, condições drenadas.

Portanto, após validação preliminar por meio de análises de estabilidade, as classes de inclinação e respectivas pontuações foram adotadas conforme Tabela 3.11.

Tabela 3.11- Variação da pontuação (I_N) conforme as classes de inclinação

Índice I_N	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Inclinação do talude	25°	30°	35°	40°

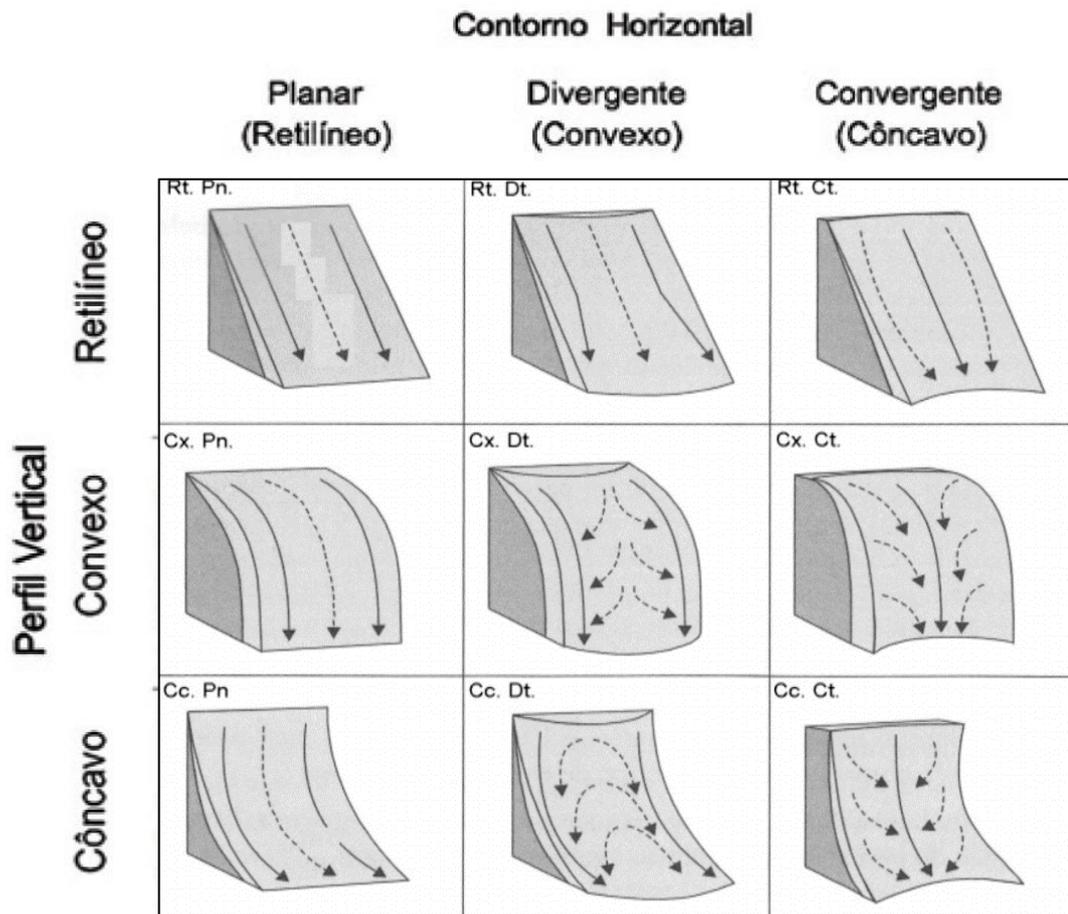
Obtenção da inclinação do talude em campo

A inclinação do talude foi obtida por média de valores obtidos em campo, por meio da trena a laser e clinômetro. O equipamento utilizado já informa o valor da inclinação ao se obter a altura do talude pelo método já descrito. Ressalta-se que a face de todos os taludes avaliados era irregular, portanto, as medidas obtidas estão simplificadas.

3.3.3.1.3. Acúmulo de água superficial no talude

Critérios para pontuação quanto ao acúmulo de água no talude

A forma das encostas e taludes interferem na condição de acumulação ou espraio da água superficial. HUGGET (1975) estabelece nove combinações de forma de vertentes relacionadas às curvaturas vistas em perfil e em planta, conforme Figura 3.30. A curvatura horizontal, ou vista em planta, pode ser planar (alguns autores chamam retilínea); divergente (convexa) ou convergente (côncava). A curvatura do perfil vertical pode ser da mesma forma retilínea, convexa ou côncava.



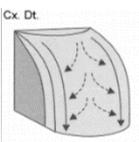
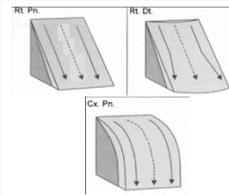
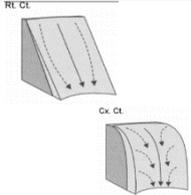
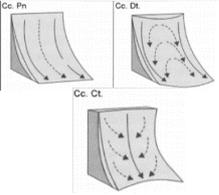
Legenda: Rt– Retilíneo; Pn – Planar; Dt. – Divergente; Ct – Convergente; Cx – Convexo; Cc – Côncavo.

Figura 3.30- Formas das vertentes com indicação do fluxo superficial de água na encosta (adaptado de HUGGET, 1975 apud ROBAINA et al., 2016).

As encostas com curvaturas verticais côncavas tendem a ser mais críticas quanto à acumulação de água superficial, portanto foram relacionadas com a pontuação máxima na tabela de perigo (81 pontos). Já para a encosta convexa tanto no perfil vertical quanto no contorno horizontal foi atribuída a pontuação mínima (3 pontos). Para as encostas com perfil vertical planar ou convexo e contorno horizontal da mesma forma, foi atribuído 9 pontos. E por

fim, para encostas com perfil vertical planar ou convexo e contorno horizontal côncavo, foi atribuído 27 pontos, conforme Tabela 3.12.

Tabela 3.12- Variação da pontuação (I_{AG}) conforme as classes de acúmulo de água

Índice I _{AG}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condições para acúmulo de água superficial ou subterrânea, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano				

Observação da curvatura do talude e condição de acúmulo de água

Para a escolha da forma dos taludes, foi observado em campo o contorno horizontal e perfil vertical e comparado com as formas apresentadas na Tabela 3.12. Como trata-se de uma condicionante hidromorfológica, deve-se buscar em campo, além da observação da forma da encosta, indícios de locais preferenciais de percolação da água em períodos de maior índice pluviométrico, como sulcos e ravinamentos; além de perguntar para os moradores do local como a água se concentra ou espalha no talude. Outro ponto de ressalva, é que a maioria dos taludes avaliados possui curvaturas irregulares, com histórico de ações antrópicas. Nesses casos, foi realizada a escolha da opção que por análise qualitativa melhor se aproxima das condições apresentadas na Tabela 3.12.

3.3.3.1.4. Cobertura vegetal

Critérios para pontuação quanto à cobertura vegetal

Embora a influência da vegetação para a estabilidade de taludes ainda não seja considerada de forma generalizada nas análises, inúmeras pesquisas apresentam resultados em relação ao fator de segurança do talude devido à vegetação (LI et al., 2021; WU et al., 2015; FIORI, 2016; WALDRON & DAKESSIAN, 1981). Considera-se nesta pesquisa que a cobertura vegetal benéfica é aquela que pode aumentar o fator de segurança do talude, ou reduzir os efeitos erosivos que favorecem processos de instabilização. Em contrapartida, cobertura vegetal não benéfica é aquela que acumula água nas raízes aumentando a poropressão e o peso próprio do talude, como bananeiras; ou mesmo árvores com raízes que provocam a desagregação do solo.

LI et al. (2021) construíram um modelo de avaliação da vegetação no fator de segurança com variação no tempo (considerando o crescimento da vegetação), e obtiveram resultados dos

acréscimos na segurança para seis padrões de configurações de vegetação com diferentes combinações, além de uma encosta sem vegetação para comparação. Nesse estudo, os autores apresentam que o fator de segurança das encostas com vegetação aumentou de 12,1% para 49,6% em relação à encosta sem vegetação; sendo que ao considerar a força do vento na copa das árvores o ganho não foi tão elevado, pois o fator de segurança da encosta passou de 3,5% para 43,5%, mesmo assim com benefícios ainda significativos. As misturas de vegetação de árvores e gramíneas resultaram na melhor estabilidade de encostas. Portanto, adotou-se nesta pesquisa para as classes de pontuação quanto à vegetação uma combinação de área coberta por vegetação superficial, como gramíneas ou pequenos arbustos conforme PRATT & SANTI (2014), e árvores robustas devido ao seu benefício caso suas raízes ultrapassem a superfície de ruptura provável. Apresenta-se na Tabela 3.13 as classes adotadas para cobertura vegetal.

Tabela 3.13- Variação da pontuação (I_{VG}) conforme as classes de cobertura vegetal

Índice I _{VG}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Cobertura vegetal (I_{VG})	Cobertura superficial existente em área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial existente em 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial existente em 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial não existente ou existente c/ área < 25% e/ou inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.

Observação da cobertura vegetal em campo

Para a cobertura por gramíneas ou pequenos arbustos, a área coberta foi estimada visualmente entre 25, 50 e 70%. Já para identificar os benefícios das árvores, primeiramente foram estimadas as prováveis superfícies de ruptura a partir do conhecimento dos modos de falha de cada unidade geotécnica. Para solos com descontinuidades desfavoráveis à segurança identificadas em campo, pôde-se verificar se as raízes das árvores ultrapassam esta profundidade, quando visível. Ou para depósitos superficiais com previsão de superfícies de ruptura rasas, onde o benefício das árvores também é maior. Ressalta-se que, na ocorrência de dúvida ou impossibilidade de verificar em campo se a contribuição das raízes das árvores é favorável ou desfavorável à segurança, foi adotado o critério de considerar somente a cobertura vegetal superficial, conforme Tabela 3.13, bem como foram previstas as consequências de movimentos de massa em situações de árvores na crista, e os possíveis danos que a queda das árvores pode ocasionar.

É importante considerar a influência benéfica das árvores somente em situações que for possível a análise, pois as árvores ora são fatores instabilizadores, ora colaboram com a segurança. Foram observados em campo, e por vezes com confirmação por meio de análise de estabilidade, pelo menos três taludes no Porto em que a estabilidade após ruptura parcial estava aparentemente assegurada devido à presença de árvores, conforme ilustrado na Figura 3.31. Contudo, as raízes das árvores podem ter contribuído com o processo de instabilização antes da ruptura.



Figura 3.31- Exemplos de árvores em taludes instáveis no Porto. A) Talude na freguesia de Campanhã; B) Talude na Via panorâmica; C) Talude em Aldoar.

3.3.3.1.5. Condições estruturais, discontinuidades e processos erosivos

Critérios para pontuação quanto às discontinuidades

As descontinuidades são condicionantes importantes para os solos residuais graníticos do Porto (unidades geotécnicas G4-C, G4-G, G8), mas principalmente para solos residuais metamórficos (G4X- e G5). Para as unidades geotécnicas relativas à maciço rochoso (G6 e G8) as descontinuidades são relevantes, contudo, estes taludes são avaliados pela metodologia de BORGES (2017) para rochas. Os taludes das unidades de formações sedimentares (G1, G2 e G3) possivelmente recebem nota 3 em todas as investigações, por não possuírem estruturas reliquias, a não ser que apresentem processos erosivos. Inclusive, foi acrescentado o critério de erosões em sulcos, ravinas e voçorocas para que a ficha possa ser utilizada também em solos residuais de gnaisses ou outras formações mais homogêneas e com comportamento geotécnico menos influenciado pelas estruturas reliquias.

A classificação de 9 pontos foi definida para o talude que apresentar uma ou mais descontinuidades favoráveis à segurança, ou seja, com mergulho para dentro do talude, sentido oposto a face. Já a pontuação de 27 pontos foi adotada para descontinuidades com mergulho em direção à face, independente do ângulo. Este critério foi adotado pois mesmo descontinuidades no sentido da face do talude, porém, sem interceptar a mesma por ter ângulo de mergulho maior que a inclinação de face, favorece a percolação preferencial de água no plano da descontinuidade e pode condicionar por exemplo escorregamentos plano circulares ou poligonais conforme descrito por VALLEJO (2002). A pontuação de 81 pontos será para descontinuidades com mergulho inferior à inclinação da face do talude, interceptando-a, ou mais descontinuidades que condicionem escorregamentos planares e/ou cunha, conforme Tabela 3.14.

Tabela 3.14- Variação da pontuação (I_{DE}) conforme as classes de descontinuidades

Índice I _{DE}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha

Observação das descontinuidades em campo

Conforme indicado no item sobre trabalhos de campo, especificamente no planejamento do roteiro a ser percorrido para a identificação de riscos (item 3.2.2.1), as condicionantes foram avaliadas anteriormente, a partir de referências bibliográficas e conhecimento de ocorrências

pretéritas. A análise das orientações das vertentes a serem investigadas em relação às discontinuidades já conhecidas para cada unidade geotécnica foi realizada na etapa de planejamento, a fim de já ir para campo com possíveis pontos críticos a serem verificados. Contudo, a identificação visual das discontinuidades em campo também foi realizada.

Observação dos processos erosivos em campo

Em relação aos processos erosivos, caso não tenha sido observado em campo, a nota é 3; no caso de observação de sulcos ou erosão laminar (que ocorre por ação do escoamento difuso) a nota atribuída é 9; para ravinas, 27; e voçorocas, foi atribuído 81 pontos.

Adota-se nesta pesquisa sulcos como feições erosivas com profundidades até 50cm (Figura 2.19), e ravinas mais profundas, alongadas, perfil transversal próximo de um “V”, com paredes sujeitas a escorregamentos, quedas, desmoronamentos (Figura 2.20). Já as voçorocas interceptam o nível freático, tendo uma combinação de efeitos da percolação superficial e subsuperficial, movimentos de massa e processos erosivos atuantes, seção transversal próximo de “U”, e maiores dimensões que ravinas (Figura 2.22).

3.3.3.1.6. Trincas no terreno

Critérios para pontuação de trincas

As trincas representam um importante indício de instabilidade de taludes, pois indicam que a movimentação do terreno está a ocorrer, e geralmente a direção do movimento é perpendicular à direção das trincas.

CPRM (2018) apresenta a classificação de perigo em relação ao parâmetro trinca com 3 graus de criticidade: ausente, presente e marcante. Para esta pesquisa foi adotado o critério desse autor, contudo adaptado para os 4 graus de criticidade propostos na tabela de perigo apresentada na Tabela 3.15.

Tabela 3.15- Variação da pontuação (I_{TR}) conforme as trincas

Índice I_{TR}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Trincas no terreno	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm

Observação das trincas em campo

Os taludes avaliados foram vistoriados tanto na crista quanto na base, com raras exceções assinaladas nos estudos de caso, por falta de acesso. As trincas observadas na crista

foram verificadas quanto à profundidade, medida a partir da colocação de um galho no local. O galho foi inserido na trinca, a profundidade de penetração marcada com a própria mão, e após a retirada do galho foi medido com a trena o comprimento da ponta do mesmo até a marca máxima de penetração no solo.

As trincas de até 10 cm e localizadas na crista são classificadas com 27 pontos; e as marcantes com profundidade maior que 10 cm recebem 81 pontos. As trincas presentes, mas superficiais, recebem 9 pontos; e casos de taludes sem trincas aparentes recebem 3 pontos. A Figura 3.32 apresenta uma ilustração de trinca na crista de um talude.



Figura 3.32- Trinca de tração na crista de talude (CPRM, 2018)

Para taludes com bancadas e bermas intermediárias, bem como com possibilidade de escorregamento rotacional, recomenda-se verificar as superfícies das bermas a fim de certificar que não há trincas sinalizando um futuro abatimento do terreno. Para escorregamentos planares condicionados pelas estruturas reliquiárias, as trincas geralmente são na face do talude coincidentes com as descontinuidades.

3.3.3.1.7. Grau de saturação, surgências e/ou vazamentos

Critérios para pontuação das surgências

Conforme FIORI & CARMINGNANI (2009) os escorregamentos podem acontecer por aumento do grau de saturação do solo e consequente perda de coesão aparente; desenvolvimento de poropressões, o que diminui a tensão efetiva; aumento do peso total do

solo pelo acréscimo de saturação; desenvolvimento de pressões hidrostáticas sobre a massa do solo ou rocha pelo acúmulo de água em trincas; aumento da percolação por causa do fluxo subsuperficial, entre outros efeitos.

CPRM (2018) define este índice de instabilidade Grau de Saturação/Surgência como determinado grau de umidade constante da encosta, inclusive em períodos secos (baixa pluviosidade), e o classifica desde ausente, presente e um terceiro grau de criticidade como marcante, com quantidades consideráveis de água minando da encosta. A partir deste conceito foram estabelecidos os critérios de classificação das surgências conforme apresentado na Tabela 3.16.

Tabela 3.16- Variação da pontuação (ISU) conforme o grau de saturação/surgência

Índice ISU	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (ISU)	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude, sem carreamento de finos	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos, com carreamento de finos.

Observação das surgências em campo

Conforme indicado no item sobre trabalhos de campo, especificamente no planejamento do roteiro a ser percorrido para a identificação de riscos (item 3.2.2.1), foram avaliadas previamente as informações bibliográficas hidrogeológicas em relação à ocorrência de nascentes, elevado nível freático, ou antigos cursos de água sotopostos às construções urbanas, a fim de já ir para campo com possíveis pontos críticos a serem verificados.

Caso não tenha sido observado no talude nenhuma surgência ou lançamento ou vazamento de água e o mesmo se encontre relativamente seco, recebe pontuação 3. Caso haja observação de pontos mais úmidos, mas sem surgências, a pontuação é 9. Já as pontuações de 27 e 81 pontos são utilizadas quando se observam surgências e/ou lançamentos ou vazamentos de água ou esgoto, com a diferença que para 27 pontos tem-se pequena magnitude e sem carreamento de finos (água da surgência é límpida), e para 81 pontos tem-se maior magnitude, com carreamento de finos (água da surgência é turva). A Figura 3.33 ilustra uma surgência.



Figura 3.33- Surgência de água na face de um talude (CPRM, 2018)

3.3.3.1.8. Árvores inclinadas, estreitamento de margens de vias/rios ou aumento de volume na base

Critérios para pontuação de indícios de movimentação

CPRM (2018) definiu como indício de instabilidade para escorregamento planar e rastejo, árvores inclinadas em 3 graus de criticidade: ausente, presente marcante; bem como definiu como indício de instabilidade para escorregamento rotacional, deformações no sopé da encosta ou estreitamento de margens de rios e aumento do volume na base da encosta, em 2 graus de criticidade: presente ou marcante. A partir desse conceito, foram definidas 4 classes de perigo para este parâmetro: ausente (3 pontos); presente, mas escasso ou suave (9 pontos); presente (27 pontos); e marcante (81 pontos), conforme apresentado na Tabela 3.17.

Tabela 3.17- Variação da pontuação (IMV) conforme a movimentação de árvores, vias adjacentes ou sopé da encosta

Índice IMV	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (IMV)	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante

Observação de movimentações em campo

A presença ou não de árvores inclinadas foi observada nos estudos de caso em comparação com árvores próximas, mas fora do talude. Conforme ROBAINA et al. (2016), as encostas com perfil vertical convexo têm maior probabilidade de sofrer rastejo. VALLEJO (2002) indica as árvores inclinadas como indício de instabilidade também para escorregamentos planares rasos.

Em casos onde o modo de falha provável é escorregamento rotacional, foi verificado em campo se havia indícios de estreitamento da base do talude, sendo essa base uma via ou rio, conforme Figura 3.34 A); bem como aumento do volume basal por levantamento, conforme Figura 3.34 C); ou mesmo a existência de deformação de estruturas na base, conforme Figura 3.34 B).



Figura 3.34- Movimentação do talude. A) Estreitamento da base; B) Deformação de estruturas na base; C) Levantamento da base (CPRM, 2018).

Ressalta-se que para escorregamentos rotacionais de pequena magnitude é possível a ocorrência de círculos de ruptura que não necessariamente passam pela base do talude, e que por isso, não acarretam o aumento do volume na base da encosta.

3.3.3.1.9. Degrau de abatimento

Critérios para pontuação de degrau de abatimento

CPRM (2018) define degrau de abatimento como uma fenda em estágio avançado, onde houve deslocamento vertical, para baixo, de um nível do terreno em relação ao outro, e classificou este parâmetro como ausente, presente ou marcante para fins de análise da perigo em escorregamentos rotacionais. Esses critérios foram adaptados para esta pesquisa e estão apresentados na Tabela 3.18.

Tabela 3.18- Variação da pontuação (I_{su}) conforme o grau do degrau de abatimento

Índice I _{DG}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Degrau de abatimento	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante

Observação de degrau de abatimento

A observação da existência de degraus de abatimento foi realizada nos estudos de caso desta pesquisa principalmente nas cristas. Os patamares intermediários dos taludes também foram vistoriados, quando existentes. A Figura 3.35 apresenta uma ilustração de degrau de abatimento marcante, com desnível superior a 20 cm e com extensão em quase toda a crista, o qual receberia 81 pontos. Em contrapartida, quando não observado no talude, 3 pontos. Caso o degrau de abatimento seja observado com pequena extensão e diferença de nível (até 5 cm), recebe 9 pontos; e para maiores desníveis e extensão, 27 pontos.

Ressalta-se que na impossibilidade de acessar a crista do talude, ou caso a vegetação não permita a observação de possíveis degraus, o critério de escolha da pontuação foi relatado, além de realizada avaliação qualitativa do resultado após a classificação do risco.



Figura 3.35- Degrau de abatimento (CPRM, 2018)

3.3.3.1.10. Cicatrizes de deslizamento

Critérios para pontuação das cicatrizes de deslizamento

CPRM (2018) define cicatrizes de deslizamentos como movimentos de massa anteriores que deixam marcas (cicatrizes) na encosta, na forma de áreas sem vegetação com solo ou rocha exposta. No sopé da encosta pode haver também acúmulo de solo junto de vegetação soterrada. Esse autor utilizou a cicatriz de deslizamento somente para escorregamentos planares, e dividiu nas classes: ausente, presente e marcante. Esses critérios foram adaptados e se utilizaram as

cicatrizes de deslizamento tanto para escorregamentos planares ou rotacionais, com as classes: ausente (3 pontos); presente, mas com pequenas magnitudes (9 pontos); presente em mais de um ponto na encosta (27 pontos); marcante (81 pontos). A Tabela 3.19 apresenta os critérios adotados.

Tabela 3.19- Variação da pontuação (I_{CD}) conforme cicatrizes de deslizamento

Índice I_{CD}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Cicatriz de deslizamento	Ausente	Presente, em um ponto do talude	Presente, em mais de um ponto do talude	Marcante

Observação de movimentações em campo

Para os casos estudados foram observados indícios de cicatrizes de deslizamentos próximos à crista do talude, ou em patamares intermediários do talude, bem como a existência de material solto na base do talude e presença de tálus na face ou base do talude. Em alguns casos, a vegetação impede a visualização destas cicatrizes, situações que foram relatadas. A Figura 3.36 apresenta um exemplo de cicatriz de ruptura marcante.



Figura 3.36- Cicatrizes de deslizamento (CPRM, 2018)

3.3.3.1.11. Histórico de ocorrências ou previsão de movimentos de massa

Critérios para pontuação das ocorrências de movimentos de massa

Foram adotados os critérios de classificação de PRATT & SANTI (2014) quanto às classes de perigosidade para ocorrências de movimentos de massa, os quais são: para o desconhecimento de ocorrências de movimentos de massa ou sem ocorrências, se atribui 3

pontos; para de 1 a 2 ocorrências nos últimos 5 anos, se atribui 9 pontos; para 1 ocorrência observada anualmente, se atribui 27 pontos; e para múltiplas ocorrências durante o ano, atribui-se 81 pontos. A Tabela 3.20 apresenta os critérios de classificação para pontuação do histórico de ocorrências.

Tabela 3.20- Variação da pontuação (I_{HO}) conforme ocorrências

Índice I _{HO}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Histórico de ocorrências de movimentos de massa	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano

Observação de ocorrências

As informações sobre ocorrências de movimentos de massa em taludes de solo foram buscadas junto à Proteção Civil e também em referências bibliográficas tais como PORTO (2003), PORTO (2018), CONTAGEM (2017) ou mesmo por acompanhamento de ocorrências durante o monitoramento que foi realizado nas duas áreas de estudo, conforme apresentado nos APÊNDICES A e B.

3.3.3.2. Definição das classes de perigo

As seguintes etapas foram seguidas para definir os critérios de pontuação de perigo para taludes de solo, de forma a possibilitar a aplicação do resultado de pontos da tabela de perigo (Tabela 3.5) na matriz de riscos:

- Estudo e consideração dos critérios qualitativos para classificação de perigo apresentados em ANPC (2019) (Tabela 3.21);
- Estudo e consideração de parâmetros de perigo e escala de pontuação conforme considerações de BORGES (2017); PRATT & SANTI (2014); CPRM (2018) e CAMPOS (2011).
- Validação dos critérios de divisão dos intervalos de classes de perigo por meio de simulações de combinações e reunião com profissionais da Proteção Civil, e/ou avaliação de fatores de segurança dos taludes.

Tabela 3.21 – Critérios para divisão de classes de perigo

Classes de Perigo (ANPC, 2009)	Critérios para classificação (ANPC, 2009)	Intervalos de classes (1)	Detalhamento dos critérios adotados nesta pesquisa para a definição dos intervalos de classes (2)
Baixa (1)	<ul style="list-style-type: none"> - Poderá ocorrer apenas em circunstâncias excepcionais. - Pode ocorrer uma vez em cada 500 anos ou mais (< 0,2% chance de ocorrência em um ano qualquer). 	33 a 162	<p>O limite de 162 pontos (6x27) foi definido a partir das seguintes situações limítrofes:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 4 parâmetros de 27 pontos + 5 parâmetros de 9 pontos + 3 parâmetros de 3 pontos (total 162 pontos); ii) 1 parâmetro de 81 pontos + 2 parâmetros de 27 pontos + 8 parâmetros de 3 pontos (total 159 pontos); iii) 5 parâmetros com 27 pontos + 1 parâmetro com 9 pontos + 5 parâmetros com 3 pontos (total 159 pontos); iv) Qualquer outra combinação, com no máximo 1 parâmetro de 81 pontos e 5 parâmetros de 27 pontos.
Média-baixa (2)	<ul style="list-style-type: none"> - Não é provável que ocorra. - Não há registros ou razões que levem a estimar que ocorram. - Pode ocorrer uma vez em cada 100 anos (<=1% de chance de ocorrência em um ano qualquer). 	163 a 243	<p>O limite de 243 pontos (9x27) foi definido a partir das seguintes situações limítrofes:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 2 parâmetros de 81 pontos + 2 parâmetros de 27 pontos + 1 parâmetro de 9 pontos + 6 parâmetros de 3 pontos (total 243 pontos); ii) 8 parâmetros de 27 pontos + 3 parâmetros de 9 pontos (total 243 pontos); iii) Qualquer outra combinação, com no máximo 2 parâmetros de 81 pontos e 8 parâmetros de 27 pontos.
Média (3)	<ul style="list-style-type: none"> - Poderá ocorrer em algum momento. - E ou com uma periodicidade incerta, aleatória, e com fracas razões para ocorrer. - Pode ocorrer uma vez a cada 20 anos. - Pode ocorrer em períodos entre 20 a 50 anos (de 2% a 5% de chance de ocorrência em um ano qualquer). 	244 a 405	<p>O limite de 405 pontos (15x27) foi definido a partir das seguintes situações limítrofes:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 4 parâmetros de 81 pontos + 2 parâmetros de 27 pontos + 2 parâmetros de 9 pontos + 3 parâmetros de 3 pontos (total de 405 pontos); ii) Outras combinações sendo com máximo 4 parâmetros de 81 e 11 parâmetros de 27 pontos.
Média-alta (4)	<ul style="list-style-type: none"> - Irá provavelmente ocorrer em quase todas as circunstâncias. - E ou registros regulares de incidentes e razões fortes para ocorrer. - Pode ocorrer uma vez em cada cinco anos. - Pode ocorrer uma vez em períodos de 5 a 10 anos (de 10% a 20% de chance de ocorrência em um ano qualquer). 	406 a 648	<p>O limite de 645 pontos (arredondado para 648 (24x7) foi definido a partir das seguintes situações limítrofes:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 7 parâmetros com 81 pontos + 2 parâmetros com 27 + 2 parâmetros com 9 pontos + 2 parâmetros com 3 pontos; ii) Outras combinações com máximo 7 parâmetros de 81 e 11 parâmetros de 27 pontos.
Elevada (5)	<ul style="list-style-type: none"> - É expectável que ocorra em quase todas as circunstâncias. - E ou nível elevado de incidentes registrados. - E ou fortes evidências. E ou forte probabilidade de ocorrência do evento. - E ou fortes razões de ocorrer. - Pode ocorrer uma vez por ano ou mais (próximo de 100% de chance de ocorrência em um ano qualquer). 	649 a 891	Qualquer combinação de pontos superior a 649 e até 891 (11x81).

Nota (1): Divisão de classes mantendo o padrão de BORGES (2017), o qual adotou 11 parâmetros de análise de perigo para taludes rochosos. Portanto a pontuação mínima é 33 (11 x 3 pontos), a pontuação máxima é 891 (11 x 81 pontos), e limites de classes sempre múltiplos de 27. Contudo, as pontuações limítrofes dos intervalos foram verificadas, de forma a atender os critérios de classes de perigo de ANPC (2009), bem como adaptar a metodologia para taludes de solo. Nota (2): Para verificar os limites dos intervalos, foram testadas várias combinações na matriz de perigo de ordem 4 x 11.

3.3.4. Definição das consequências

3.3.4.1. Tabela de consequências

Conforme ANPC (2009), a consequência de um evento é calculada pela vulnerabilidade (V) de elementos expostos (que varia de 0 a 1, sendo 0 sem perdas e 1 perda total) *versus* o

valor monetário destes elementos (VE), ou o custo de recuperação deles ($C = V * VE$). Nesse caso, a determinação das consequências é obtida de forma quantitativa e monetária. Nesta pesquisa, as consequências são obtidas de forma qualitativa. Portanto, foi necessária uma adaptação dos conceitos apresentados por ANPC (2009). Optou-se por especificar na tabela de consequências:

- parâmetros relativos a elementos expostos;
- parâmetros relativos à vulnerabilidade;
- parâmetros relativos às perdas estimadas.

A Tabela 3.22 apresenta os parâmetros e critérios adotados para a pontuação das consequências de escorregamentos em taludes de solo.

Tabela 3.22- Critérios para pontuação das consequências de escorregamentos de taludes de solo

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I_{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I_{AH})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H > 1/3$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos etc. (I_{CM})	Visualmente resistentes ao escorregamento e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por escorregamentos	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por escorregamentos	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por escorregamentos
	Largura da plataforma (I_{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I_{CU})	Zonas interdidas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

3.3.4.1.1. Ocupação do talude

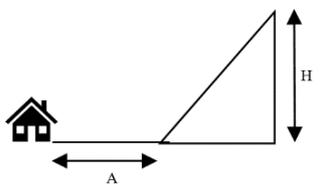
Foram adotados os critérios de classificação BORGES (2017) quanto às pontuações para a ocupação do talude. Este parâmetro relaciona-se com os elementos expostos, sendo atribuído

3 pontos para ocupação nula; 9 pontos para agrícola; 27 pontos para logradouros (praças, vias públicas, áreas de circulação, etc.); 81 pontos para áreas habitacionais ou de equipamentos coletivos. A carta de Qualificação do Solo apresentada no PDM (PORTO, 2020) foi consultada além da observação deste quesito em campo. Já em Contagem, todos os setores analisados receberam pontuação 81, pois se tratavam de áreas de interesse social, em vilas e favelas do município.

3.3.4.1.2. Afastamento da moradia pela altura

Foram adotados os critérios de classificação de CAMPOS (2011), obtidos a partir de experiência em áreas de risco de Belo Horizonte, onde a relação entre o afastamento da moradia (construção, estrutura ou via) em relação à altura do talude oferece indícios da exposição deste elemento ao movimento de massa. Este parâmetro se relaciona à probabilidade do material escorregado atingir pessoas ou estruturas. Segundo CPRM (2018), em 76% de 129 casos estudados de escorregamentos planares, o alcance da massa rompida foi de até o dobro da altura, portanto adota-se esta medida com a pontuação mínima de 3.

A Figura 3.37 apresenta a relação afastamento/altura e respectiva atribuição de pontos na tabela de consequências.

	$A/H \geq 2/1$ O afastamento é o dobro ou mais que a altura do talude	3 pontos
	$2/1 > A/H \geq 1/1$ O afastamento é igual ou maior à altura do talude, e menor que duas vezes a altura	9 pontos
	$1/1 > A/H > 1/3$ O afastamento é maior que um terço da altura do talude, e menor que a altura	27 pontos

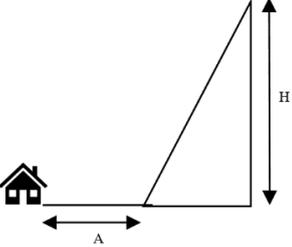
	$A/H \leq 1/3$ O afastamento é igual à terça parte da altura do talude ou menor	81 pontos
---	--	-----------

Figura 3.37- Relação afastamento da moradia e altura do talude

As medidas de afastamento e altura do talude foram obtidas em campo por meio da trena digital a laser. Caso as moradias ou estruturas avaliadas com possibilidade de serem atingidas por um movimento de massa estiverem localizadas na crista do talude, o afastamento “A” deve ser obtido a partir da crista, conforme ilustrado na Figura 3.38.

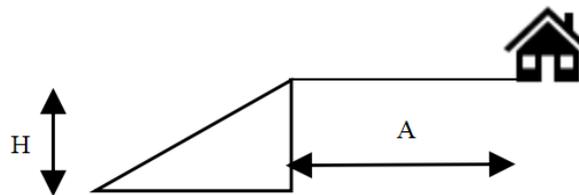


Figura 3.38- Relação afastamento da moradia na crista e altura do talude

3.3.4.1.3. Condições da moradia

CPRM (2018) emprega quatro classes de vulnerabilidade segundo as condições das moradias, desde muito alta, que considera edificações precárias associadas a assentamentos não legalizados espalhados pelas várias regiões brasileiras; até baixa vulnerabilidade, que considera as construções que apresentam laudo técnico que assegure a integridade da edificação para determinado tipo de movimento gravitacional de massa, apesar de estar localizada em áreas de perigo. Inclusive, as condições das moradias são o único parâmetro de vulnerabilidade avaliado por este autor, o qual se justifica pela importância deste parâmetro na análise de risco de áreas de risco no Brasil.

Para esta pesquisa adotou-se como ponto de partida CPRM (2018) e se estabeleceu o parâmetro de condições da moradia em quatro classes de pontuação descritas a seguir, adaptadas para possibilitar a avaliação também em Porto, em que as condições das moradias não são tão relevantes como no Brasil, devido à homogeneidade e boas condições construtivas.

- 3 pontos, são moradias ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos etc., que sejam resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de

proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento;

- 9 pontos, são moradias ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos etc., visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa;
- 27 pontos, são moradias ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos etc., com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com significativa destruição se atingida por movimentos de massa;
- 81 pontos, são moradias ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc, com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa.

3.3.4.1.4. Largura da plataforma

A largura da plataforma é onde as pessoas ou veículos circulam e que condiciona a possibilidade de se desviarem do material escorregado. Foi adotado por BORGES (2017), para taludes rochosos de Porto, adaptado de PIERSON & VAN VICKLE (1993).

Optou-se por manter este fator, pois trata-se de um conceito diferente do afastamento da moradia em relação à altura do talude. No item de afastamento, o objetivo é estimar a probabilidade de atingimento de uma construção fixa, e pondera em relação à altura do talude se a moradia será atingida, levando em consideração pesquisas que relatam os alcances médios de escorregamentos de solo.

Já a largura da plataforma, expressa a condição de possíveis elementos expostos transitando próximo ao talude no momento do escorregamento, como pessoas e veículos, conseguirem se desviar da massa escorregada, bem como da plataforma de deslizamento conter o material rompido antes que atinja as pessoas e moradias. Este parâmetro independe da altura.

Foi atribuído 3 pontos para largura superior a 9 m; 9 pontos para 6 a 9 m; 27 pontos para 3 a 6 m; 81 pontos para largura da plataforma menor que 3 m. Esses patamares foram estipulados por PIERSON & VAN VICKLE (1993), para um extenso número de taludes rodoviários.

3.3.4.1.1. Contexto urbanístico

O parâmetro contexto urbanístico foi adotado por BORGES (2017) para taludes rochosos do Porto, e expressa a possibilidade de taludes estudados estarem inseridos em diferentes contextos quanto às condicionantes da ocupação e uso da área. Foram adotados nesta pesquisa os critérios de BORGES (2017) com quatro classes de pontuações: zona interdita; zona habitacional; zona de atração turística; zona com grande afluência de pessoas; acrescentando a ocorrência de um ou mais condicionantes urbanísticos, como por exemplo, os apresentados na Figura 3.39 para Porto.

Os condicionantes urbanísticos podem estar relacionados a domínio hídrico; espécies florestais protegidas, árvores e arvoredo de interesse público; patrimônio edificado, incluindo áreas de patrimônio arqueológico, arquitetônico, natural; estabelecimentos prisionais; de Defesa Nacional; rede elétrica, gasoduto, oleoduto; rede rodoviária, ferroviária e aeroportos; farol, marcos e áreas de servidão de abastecimento de água.

Portanto, os critérios de pontuação são:

- 3 pontos: zonas interditas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico dentre os apresentados na Figura 3.39, no caso de Porto, ou outras condicionantes como áreas de interesse social descritas no Plano Diretor de Contagem (CONTAGEM, 2018);
- 9 pontos: zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de média densidade e com até mais 1 condicionante urbanístico, onde as pessoas e/ou veículos passam na base do talude quando saem e regressam às suas habitações, o que se reflete num grau de exposição superior ao caso anterior.
- 27 pontos: zonas de atração turística ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e com até mais 2 condicionantes urbanísticos.
- 81 pontos: zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos. Neste grupo inserem-se os taludes próximos de cafês, restaurantes, escolas, hospitais etc., já que se localizam em zonas com grande afluência de pessoas e onde essas mesmas pessoas podem permanecer por um longo período de tempo, aumentando assim a sua vulnerabilidade.



Figura 3.39- Imagem extraída da legenda do mapa de Condicionantes Gerais quanto ao contexto urbanístico (PORTO, 2020 <https://geopdm.cm-porto.pt/pc1_ccg>)

3.3.4.2. Definição das classes de consequências

A gravidade dos efeitos ou consequência, é avaliada em relação a cada uma das três diferentes áreas de preocupação (população, meio ambiente e socioeconomia) com base no dano corporal, bem estar da comunidade, impacto ambiental, impacto operacional etc. A consequência de uma falha é classificada segundo 5 (cinco) categorias, variando de desprezível

a extrema, conforme Tabela 3.23. Os critérios qualitativos de divisão dos intervalos de classes foram adotados conforme ANPC (2009). Contudo, para as classes reduzida e moderada, quanto ao impacto no meio ambiente e socioeconomia, foram adotados os critérios de SAE J1739 (2009); Petronilho (2010); Espósito & Palmier (2013). Isto porque em ANPC (2009) essas classes estavam com os mesmos critérios.

Tabela 3.23- Critérios para divisão de classes de consequências

Classes de Consequências (ANPC, 2009)	Critérios para classificação (ANPC, 2009)	Intervalos de classes ⁽¹⁾	Detalhamento dos critérios adotados nesta pesquisa para a definição dos intervalos de classes ⁽²⁾
Residual (1)	<i>População:</i> Não há feridos nem vítimas mortais. Não há mudança/retirada de pessoas ou apenas de um número restrito, por um período curto (até 12 horas). Pouco ou nenhum pessoal de apoio necessário (não há suporte ao nível monetário nem material). Danos sem significado.	15 a 54	Intervalos apresentados para a proteção Civil, validados por análise da coerência dos resultados, bem como após a utilização desses critérios em Contagem e comparação com o resultado do PMRR (CONTAGEM, 2017).
	<i>Ambiente:</i> Não há impacto no ambiente, ou é não mensurável.		
	<i>Socioeconomia:</i> Não há ou há um nível reduzido de constrangimentos na comunidade. Não há perda financeira.		
Reduzida (2)	<i>População:</i> Pequeno número de feridos, mas sem vítimas mortais. Algumas hospitalizações e retirada de pessoas por um período inferior a 24 horas. Algum pessoal de apoio e reforço necessário. Alguns danos.	55 a 108	Intervalos apresentados para a proteção Civil, validados por análise da coerência dos resultados, bem como após a utilização desses critérios em Contagem e comparação com o resultado do PMRR.
	<i>Ambiente:</i> Pequeno impacto no ambiente sem efeitos duradouros.		
	<i>Socioeconomia:</i> Disrupção (inferior a 24 horas). Alguma perda financeira.		
Moderada (3)	<i>População:</i> Tratamento médico necessário, mas sem vítimas mortais. Algumas hospitalizações. Retirada de pessoas por um período de 24 horas. Algum pessoal técnico necessário. Alguns danos.	109 a 189	Intervalos apresentados para a proteção Civil, validados por análise da coerência dos resultados, bem como após a utilização desses critérios em Contagem e comparação com o resultado do PMRR.
	<i>Ambiente:</i> Impacto Significativo e reversível no habitat		
	<i>Socioeconomia:</i> Alguma disrupção (superior a 24 horas). Alguma perda financeira.		
Acentuada (4)	<i>População:</i> Número elevado de feridos e de hospitalizações. Número elevado de retirada de pessoas por um período superior a 24 horas. Vítimas mortais. Recursos externos exigidos para suporte ao pessoal de apoio. Danos significativos que exigem recursos externos.	190 a 297	Intervalos apresentados para a proteção Civil, validados por análise da coerência dos resultados, bem como após a utilização desses critérios em Contagem e comparação com o resultado do PMRR.
	<i>Ambiente:</i> Impacto significativo no habitat, grande, porém reversível.		
	<i>Socioeconomia:</i> Funcionamento parcial da comunidade com alguns serviços indisponíveis. Perda significativa e assistência financeira necessária.		
Crítica (5)	<i>População:</i> Grande número de feridos e de hospitalizações. Retirada em grande escala de pessoas por uma duração longa. Significativo número de vítimas mortais. Pessoal de apoio e reforço necessário.	298 a 405	Qualquer combinação de pontos superior a 298 e até 405.
	<i>Ambiente:</i> Impacto ambiental significativo e ou danos permanentes.		
	<i>Socioeconomia:</i> A comunidade deixa de conseguir funcionar sem suporte significativo.		

Nota (1): Em ANPC (2009), os critérios de classificação para nível moderado e reduzido de consequências estavam iguais. Foi modificado conforme SAE J1739 (2009); Petronilho (2010); Espósito & Palmier (2013).

3.3.5. Matriz de risco

3.3.5.1. Tabela da matriz de risco

A probabilidade qualitativa de falha e a gravidade das consequências determinam o risco de tal falha, que será apresentado neste trabalho em uma matriz de ordem 5 x 5, perigo x consequências, conforme apresentado na Figura 3.40. A ordem da matriz e divisão de classes de risco estão conforme ANPC (2009) e BORGES (2017).

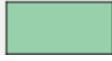
A matriz bidimensional adotada mostra os graus de risco representados por cores, com nível de risco aumentando no sentido do canto inferior esquerdo para o canto superior direito. As cores mais quentes (vermelho e laranja) indicam modos de falha com riscos significativos ou intoleráveis e maior criticidade; já as cores amarelo e verde indicam modos de falha com risco tolerável e criticidade menor.

PERIGOSIDADE	Elevada (5)	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo	Risco extremo
	Média-alta (4)	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo	Risco extremo
	Média (3)	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo	Risco extremo
	média-baixa (2)	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo	Risco extremo
	baixa (1)	Risco baixo	Risco baixo	Risco moderado	Risco moderado	Risco elevado
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 3.40 – Matriz de Risco (adaptada de ANPC, 2009 e BORGES, 2017)

As classes de risco estão apresentadas por cores semafóricas, sendo VERDE para risco baixo (R1); AMARELO para risco moderado (R2); LARANJA para risco elevado (R3); VERMELHO para risco extremo (R4). O critério de cores difere de ANPC (2009) somente em relação à cor verde, pois, essa referência adotou para risco baixo a cor roxa. Para a atualização futura de cartas temáticas de risco, perigo, suscetibilidade, é recomendável manter as cores do espectro semafórico, do verde ao vermelho. Sugere-se o padrão apresentado em CPRM (2018), conforme Tabela 3.24.

Tabela 3.24- Proposta para padrão de cores na matriz de risco (CPRM, 2018)

Risco	Cor	Características
Baixo (R1)	Verde (R=0; G=168; B=132)	 Borda na cor preta, com 0,60 ponto de espessura e 70% de transparência.
Moderado (R2)	Amarela (R=255; G=255; B=0)	 Borda na cor preta, com 0,60 ponto de espessura e 70% de transparência.
Elevado (R3)	Laranja (R=255; G=170; B=0)	 Borda na cor preta, com 0,60 ponto de espessura e 70% de transparência.
Extremo (R4)	Vermelha (R=255; G=0; B=0)	 Borda na cor preta, com 0,60 ponto de espessura e 70% de transparência.

3.3.5.2. Definição das classes de risco

A qualificação e descrição das classes de risco faz parte de um dos objetivos desta pesquisa. Primeiramente partiu-se da qualificação das classes apresentada em CPRM (2018), e, posteriormente aos estudos de caso em Porto e metodologia ANPC (2009), bem como após a validação das fichas de campo em Contagem, foram feitas adaptações para a qualificação de risco de acordo com o apresentado na Tabela 3.25. Estes critérios estão atrelados aos critérios de qualificação de perigo e consequências.

Tabela 3.25- Proposta de qualificação de classes de risco

Classes de Risco	Descrição
Baixo (R1)	Admite variação do perigo de baixo (P1) a elevado (P5), contudo, somente para consequência residual (C1), sem previsão de vítimas fatais e sem danos com significado. Admite consequência reduzida (C2), quando há previsão de feridos, mas não mortos, somente para perigo baixo (C1) ou médio baixo (C2).
Moderado (R2)	Admite variação do perigo de médio (P3) a elevado (P5), contudo, somente até consequências reduzidas (C2), quando há previsão de feridos, mas não mortos. Para perigo de baixo (P1) até médio (P3) admite-se consequências moderadas (C3), quando não há previsão de mortes, mas necessário tratamento médico, e ocorrem alguns danos. Para consequências acentuadas (C4), admite-se somente perigo baixo (P1).
Elevado (R3)	Admite variação da perigo de médio-alto (P4) a elevado (P5), contudo, somente até consequências moderadas (C3), quando não há previsão de mortes, mas necessário tratamento médico, e ocorrem alguns danos. Para consequências acentuadas (C4), com previsão de vítimas mortais e danos significativos, admite-se perigo de médio-baixo (P2) até médio-alto (P4). Para consequências críticas (C5), com previsão de feridos e mortes, admite-se somente perigo baixa (P1).
Extremo (R4)	Para consequências acentuadas (C4), com previsão de vítimas mortais e danos significativos, admite-se perigo elevado (P5). Para consequências críticas (C5), com previsão de feridos e mortes, admite-se somente perigo de médio-baixo (P2) até elevado (P5).

3.3.6. *Ficha de campo para análise de perigo e consequências*

Foi elaborada uma sugestão de modelo de ficha de campo, com tabelas de perigo e consequências, um espaço para desenho de croqui e/ou fotos, outro espaço para informações básicas sobre a moradia, moradores e/ou local, bem como a motivação da vistoria, conforme APÊNDICE D.

3.3.7. *Tabela síntese de análise de risco*

Como apresentado no item 3.3.1.2, o método *FMEA* foi adotado para análise de risco. Para compilar os resultados da determinação do perigo, das consequências e do risco em si, este método preconiza a elaboração de uma tabela síntese.

Essa tabela ilustra a abordagem metodológica utilizada para identificar os modos de falha que conduzem a eventos indesejáveis, bem como a matriz de risco de perigo x consequências com a definição das classes de risco para cada sistema adotado.

São apresentadas três matrizes de risco realizadas para três sistemas com potencial de serem impactados caso um modo de falha se estabeleça em um talude de solo:

- Impactos na saúde e segurança da população;
- Impactos no meio ambiente;
- Impactos na socioeconomia.

A Figura 3.41 ilustra o cabeçalho com os títulos de cada coluna da tabela *FMEA*.

Local	Identificação	Modo de falha	Causa	Efeitos	Unidade Geotécnica	Justificativas/ histórico	Perigosidade	Consequências			Ações Mitigadoras (AM) e/ou Controles Mitigatórios (CM) e/ou Ações corretivas (AC)
								Saúde e Segurança	Meio ambiente	Socioeconomia	

Figura 3.41- Cabeçalho da tabela FMEA

A seguir, breve descrição do significado de cada coluna da tabela *FMEA*.

Local

Esta coluna fornece uma sigla e descrição do nome da área de risco, ponto de referência ou endereço.

Ex.: Taludes do Parque Oriental adjacente à circunvalação N12.

Identificação

Este é um código alfanumérico, que faz referência a um talude de solo, ao bairro ou área que pertence. Para cada talude pode ser avaliado mais de um modo de falha, neste caso, acrescentam-se letras minúsculas em ordem alfabética no final do código.

Ex.1: TS-C1_a

Em que: “TS” é Talude de Solo; “C” é pertencente a freguesia de Campanhã; “1” é o número sequencial para cada talude; “a” é para o primeiro modo de falha considerado, e “b” seria para o segundo.

Ex. 2: A58-S1

Em que: “A58” é área de risco número 58 – Vila Bastilha, mapeada pelo PMRR em Contagem e “S1” é o setor 1 que se encontra inserido na área 58.

Modo de falha

Para buscar a assertividade da análise é necessário buscar possíveis modos de falha. Para definição dos cenários de ruptura, além do conhecimento das características de cada unidade geotécnica (PORTO, 2003), foi realizada a avaliação do talude em campo, bem como das vistorias prévias realizadas pela Proteção Civil. Uma síntese dos modos de falha típicos é apresentada no item 3.3.2.

Ex.: TS-C1_a: escorregamento de pequena magnitude na base do talude.

Pequenas rupturas na base podem desencadear escorregamento de maior magnitude desde a crista, principalmente para este talude com descontinuidade desfavorável à segurança. Portanto, foi avaliado o modo de falha TS-C1_b: escorregamento de maior magnitude, plano-circular, desde a crista.

De acordo com UNDRR (2019) a prevenção deve ser embasada pela simulação e visualização de cenários de risco. Pode-se avaliar pelo método *FMEA* tantos cenários quanto necessários, inclusive, simular gatilhos de rupturas, como eventos de chuvas excepcionais, considerando o parâmetro concentração de água no talude com pontuação máxima, por exemplo.

Causa

Descrever de forma breve as condicionantes geológico-geotécnicas, os fatores predisponentes e os agentes deflagadores do modo de falha. No item 3.2.2 há uma itemização de alguns desses fatores na proposta de roteiro de campo.

Ex.: Talude em aterro/alúvio, material inconsolidado e com baixa resistência. A retirada da cobertura vegetal para construção da ponte e processos erosivos predisuseram o talude a escorregamentos planares superficiais quando no período chuvoso.

Efeitos

Relato breve dos efeitos e consequências do movimento de massa.

Ex.: Assoreamento do trecho do Rio Tinto, adjacente ao talude sujeito a escorregamento.

Unidade Geotécnica

Indicar a unidade geotécnica a qual o talude pertence, conforme opções indicadas em PORTO (2003), ou descrição por identificação visual e tátil em campo, principalmente no caso de Contagem.

Ex.: G2- Solos aluvionares e coluvionares.

Justificativas

Esta coluna apresenta justificativas para se adotar determinada classe de perigo e consequências. Pode-se também apresentar aspectos observados em campo e breve histórico de ocorrências.

Ex.: Este talude está mapeado como instável ou com instabilidade potencial desde 2003. Foram observadas em campo, cicatrizes de rupturas pretéritas e erosões. O perigo está elevado devido principalmente aos indícios de instabilidade, e as consequências são elevadas devido a existência de moradias construídas na crista.

Perigo

O perigo foi determinado a partir da tabela de pontos apresentada na Tabela 3.5. Após o cálculo dos pontos, a classe de perigo foi determinada pela Tabela 3.21.

Ex.: para um talude cuja soma de pontos na Tabela 3.5 é 162, a classe de perigo, conforme a Tabela 3.21, é “Baixo”.

Consequências

As consequências são determinadas a partir da tabela de pontos apresentada na Tabela 3.22. Após o cálculo dos pontos, a classe de consequência é determinada pela Tabela 3.23. As consequências devem ser obtidas para o impacto na saúde e segurança da população; para meio ambiente; e para a socioeconomia. A ficha de campo com pontuação foi desenvolvida para análise de impactos no sistema de saúde e segurança da população. Portanto, para determinar a

classe de consequências para meio ambiente e socioeconomia foi realizada uma análise qualitativa, com critérios da Tabela 3.23. Desta forma, foi avaliada a manutenção (ou não) da classe de consequências estipulada a população para o sistema meio ambiente e socioeconomia.

Ex.: para um talude cuja soma de pontos na Tabela 3.22 é 55, a classe de consequências obtida na Tabela 3.23 é “Reduzida” para impacto na saúde e segurança da população. Após avaliação dos critérios qualitativos das classes apresentados na Tabela 3.23, optou-se por diminuir as consequências para o meio ambiente para “Residual”, pois não há impacto no ambiente, ou é não mensurável; e da mesma forma “Residual” para socioeconomia, pois não há ou há um nível reduzido de constrangimentos na comunidade e não há perda financeira no caso do modo de falha se concretizar.

Ações Mitigadoras e Controles Mitigatórios

Nesta coluna são inseridas para cada um dos riscos, medidas corretivas que estejam em ação ou previstas no projeto, ou podem ser implantadas para redução do risco.

Medidas corretivas visam prevenir, detectar ou mitigar um risco, por meio da redução da probabilidade ou minimizando as consequências caso a falha ocorra. Nesta coluna, as Ações Mitigadoras são indicadas com (AM), e ações com regularidade definida, como visitas periódicas a campo e monitoramento são indicadas como Controle Mitigatório (CM). As ações corretivas, geralmente associadas a projetos e obras, são indicadas como AC.

3.3.8. Validação da análise e avaliação de risco

Foram adotados três níveis de validação da análise e avaliação de risco, principalmente em relação às fichas de campo desenvolvidas e aplicação do *FMEA*.

Nível 1 – Validação por técnicos da Proteção civil e especialistas (autora da pesquisa e orientadores);

Nível 2 – Validação pelo cálculo dos fatores de segurança (FS) dos taludes por análise de estabilidade e comparação com fatores requeridos por normas para diferentes níveis de segurança (nível normal, atenção, alerta e emergência) e atribuição dessa condição a níveis de perigo diferentes nas fichas de campo, para o índice de altura e inclinação do talude;

Nível 3 – Validação por comparação com referências bibliográficas, especialmente aplicando a ficha de campo e análise *FMEA* em Contagem, MG, e comparando com os resultados do PMRR (CONTAGEM, 2017) para as mesmas áreas.

De acordo com a ABNT NBR ISO 31000 (2018) o resultado da avaliação de riscos deve ser registrado, relatado, e comunicado a todos os agentes de interesse, e então validado também nos níveis apropriados da organização. Esta validação mais ampla, dentro das defesas civis, ficará a cargo dessas instituições, caso decidam adotar a metodologia proposta.

3.4. Estratégias para Mitigação e Tratamento dos Riscos

Nesta etapa são indicadas as ações estruturantes (denominadas por alguns autores como estruturais) que são aquelas que requerem alguma interferência física no ambiente para prevenção ou tratamento dos riscos; ou ações não estruturantes, que são aquelas de cunho social como comunicação de riscos, atividades educativas e de conscientização, de geração de renda, ou mesmo a própria gestão de riscos, que contempla o monitoramento e os quatro eixos de ação da Defesa Civil: prevenção e mitigação, preparação para desastres, reparação e recuperação.

Três critérios são verificados para a escolha das soluções para cada situação de risco:

- Avaliar quais os índices de perigo e consequências são mais impactantes para o risco, e adotar a solução que diminua estes índices. Por exemplo, se a concentração de água na face do talude é crítica, recomenda-se drenagem na crista ou a montante, e conformação superficial ou retaludamento;
- Verificar a possibilidade de adoção de soluções de bioengenharia e soluções baseadas na natureza (*NBS- Nature-based Solutions*), as também denominadas soluções Verdes ou da Infraestrutura Verde, como controle de erosão por plantio de espécies adequadas para este fim, canaletas drenantes, valetas drenantes, hortas comunitárias, dentre outras;
- Associar as soluções da engenharia tradicional, como contenção e estabilização de taludes, com proteção superficial, drenagem e ações não estruturantes.

Foi realizada uma pesquisa para se ter referências de soluções habituais e inovadoras para tratamento de riscos em encostas e taludes, e posteriormente, elaborou-se uma tabela síntese com algumas sugestões e aplicabilidade.

UNDRR (2020; 2019) apresentam as *NBS* como uma das estratégias para redução de riscos. O plantio de capim Vetiver em taludes, dentre outras espécies para controle de erosão, é um exemplo de *NBS* e vem sendo investigado conforme mostrado em TRUONG et al. (2008).

No âmbito nacional, pode-se citar a publicação de IPT et al. (2020), onde verificam-se 20 exemplos de soluções baseadas na natureza, seja para tratamento de taludes, como a bioengenharia; ou soluções de drenagem, como bacias de retenção e alagado construído. Esses

autores apresentam soluções de infraestrutura verde em escala regional, como cinturões verdes, mas também em escala local e particular, como coleta de água de chuva. Como a estabilidade dos taludes está relacionada com a percolação superficial e subsuperficial, as soluções de drenagem tem papel fundamental na redução de riscos de escorregamentos.

CARVALHO (1999) e SANTOS (2017) apresentam soluções mistas de engenharia tradicional aliada a soluções ambientais, como o gabião aplicado em fundos de voçorocas com aterro de materiais inertes reciclados da construção civil em seu tardo, com o objetivo de preenchimento da voçoroca e proteção do lençol freático; canaletas drenantes; pavimentos drenantes; muretas de retenção de sedimentos na base de taludes adjacentes a vias; manutenção das águas subterrâneas com tamponamento de surgências em faces de talude ocasionadas por ações antrópicas e redirecionamento dessa percolação para o lençol freático.

CERRI (2001) sugere um fluxograma para escolha de medidas de prevenção de acidentes relacionados a escorregamentos de solo, o qual se apresenta na Figura 3.42. Esse autor divide as medidas de prevenção para duas situações: i) situações atuais, com ações não estruturantes que geralmente diminuem as consequências, e ações estruturantes, como obras de estabilização, drenagem e proteção superficial que diminuem os índices de perigo; ii) e para situações futuras, onde indica as cartas de suscetibilidade para embasar decisões de planejamento urbano e evitar o aparecimento de novas áreas de riscos.

Já NOGUEIRA (2002) apresenta sugestões de obras (ações estruturantes) para tratamento de riscos em taludes e encostas, e divide-as da seguinte forma: i) obras sem estruturas de contenção, como retaludamento, drenagem e proteção superficial; ii) obras com contenção ou estabilização (como muros de gravidade, solo grampeado e cortinas atirantadas); iii) obras de proteção contra massas escorregadas, como barreiras vegetais, muros de espera e trincheiras. O fluxograma com essa proposta está apresentado na Figura 3.43.

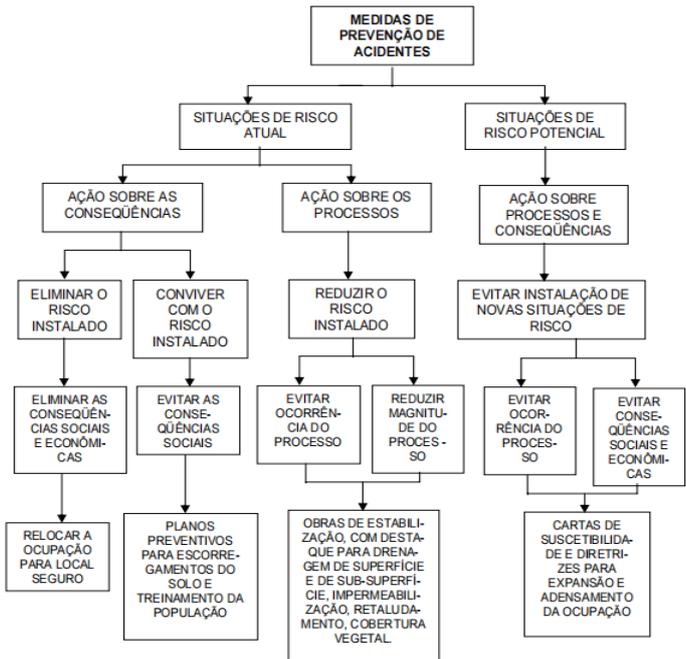


Figura 3.42- Medidas de prevenção de acidentes associados à escorregamentos de solo (CERRI, 2001)

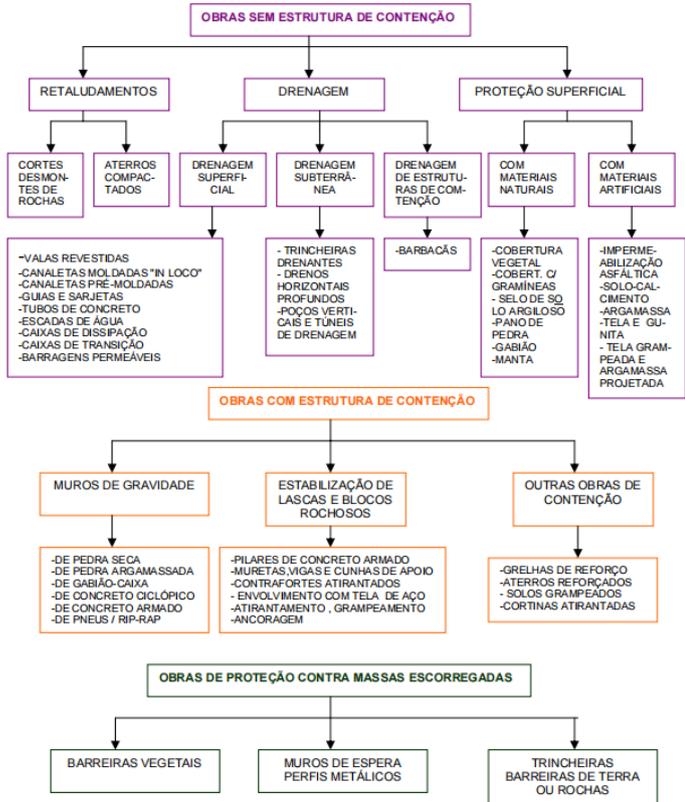


Figura 3.43- Tipos de obras para estabilização de encostas (NOGUEIRA, 2002 modificado de FONSECA, 1969; CUNHA, 1991; E VIEIRA CÉZAR, 1997).

Segundo COUTINHO & SILVA (2006) para escolha de uma obra de estabilização deve-se conhecer os agentes e causas da estabilização, e optar primeiramente pelo mais simples e com melhor custo-benefício, o que requer uma caracterização geológico-geotécnica prévia. A Figura 3.44 apresenta as sugestões de obras desses autores. O conceito exposto está alinhado com o desta pesquisa, que a partir do conhecimento dos índices de perigo e consequências, mesmo que de forma qualitativa, faz-se sugestões de tratamento dos riscos em nível conceitual.

PRINCÍPIOS	OBRAS
Redução da poro-pressão (drenagem)	a) Superficial: <ul style="list-style-type: none"> • Valetas de crista de talude ou de plataforma • Canaletas, canais com ou sem revestimento b) Profunda: <ul style="list-style-type: none"> • Trincheira (galerias/drenantes) • Drenos sub-horizontais • Poços de drenagem vertical c) Revestimento superficial do talude: <ul style="list-style-type: none"> • Vegetação • Asfalto • Cimentado
Redução das forças desestabilizadoras (atuantes)	a) Redução da declividade do talude b) Plataforma horizontal / banquetas
Aumento das forças estabilizadoras	a) Bermas de equilíbrio (no pé do talude)
Suporte de uma área instável (estruturas de contenção)	a) Reforço do solo <ul style="list-style-type: none"> • Solo grampeado • Micro estacas • Colunas de brita / estacas de areia • Estrutura solo reforçado b) Estruturas de contenção <ul style="list-style-type: none"> • Muros de arrimo • Estruturas de terra e concreto, estrutura solo reforçado • Cortina atiranda c) Métodos adicionais <ul style="list-style-type: none"> • Instalação de estacas de cal • Instalação de trincheiras de pedregulhos ou colunas de pedras (brita) • Tratamento químico • Electro - osmose • Tratamento pelo calor

Figura 3.44- Escolha do método de estabilização de acordo com o agente atuante (COUTINHO & SILVA, 2006 em BRASIL, 2008)

Em BRASIL (2017), as ações estruturantes estão divididas como contenção de encostas e taludes, drenagem, proteção superficial e bacias de detenção e retenção. Já no PMRR (CONTAGEM, 2017), dividem-se em: 1- retaludamento; 2- cortes e regularização do terreno; 3- aterros compactados; 4- sistema de drenagem superficial (canaletas de berma, crista, base e laterais, escadas d'água e caixas de dissipação e transição); 5- proteção superficial (com materiais naturais ou não); 6- obras de proteção de massa escorregada/movimentadas (muro de concreto ciclópico, de gravidade convencional, concreto armado, gabião, cortina atirantada e solo grampeado). Em relação às ações não estruturantes, tanto BRASIL (2017) quanto o PMRR

(CONTAGEM, 2017) citam fortalecimento da Defesa Civil municipal, monitoramento dos riscos, ações sócio-educativas, de comunicação de riscos e fomento à participação popular.

A Tabela 3.26 apresenta um compilado de ações estruturantes e não estruturantes, a partir das referências citadas, principalmente a itemização de NOGUEIRA (2002), e também a partir de observações de campo. Sugere-se a aplicabilidade de cada ação (estruturante ou não estruturante) de acordo com os índices de risco. A aplicabilidade pode ser alta (A), moderada (B), baixa (C), e não aplicável (NA), relacionada com os índices de perigo e consequências.

Conforme a Tabela 3.26, as ações estruturantes são mais aplicáveis para diminuição dos índices de perigo. Já as ações não estruturantes são mais aplicáveis para a diminuição de índices relativos às consequências. As obras de anteparo aos movimentos de massa, apesar de serem ações estruturantes, são aplicáveis para redução das consequências, claro, pois não impedem que o perigo se instale, mas evitam que o material rompido atinja os elementos expostos.

Tabela 3.26- Aplicabilidade de ações estruturantes e não estruturantes de acordo com os índices de perigo e consequências

Ações	Índices de perigo											Índices de consequências				
	I _{AL}	I _{IN}	I _{AG}	I _{VG}	I _{DE}	I _{TR}	I _{SU}	I _{MV}	I _{DG}	I _{CD}	I _{HO}	I _{OT}	I _{AH}	I _{CM}	I _{LP}	I _{CU}
1. Estruturantes																
1.1. Obras sem contenção																
1.1.1. Retaludamentos (cortes e aterros, com bermas ou não)	A	A	A	C	B	B	C	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA	NA
1.1.2. Proteção superficial (com materiais não naturais ou naturais, inclusive geossintéticos, telas vegetais e outras técnicas de bioengenharia)	B	B	A	A	A	A	B	B	B	A	A	NA	NA	NA	NA	NA
1.1.3. Drenagem (superficial, subsuperficial e de estruturas de contenção, inclusive considerando <i>NSB</i> como canaletas, trincheiras e pavimentos drenantes, retorno se surgências para o lençol freático, etc.)	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA	NA
1.2. Obras com contenção ou estruturas de estabilização																
1.2.1. Muros de gravidade (inclusive de materiais locais como granito, gnaisse, concreto, pedras, ou gabião com aterro de materiais de construção civil no tardo)	A	A	C	C	A	B	C	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA	NA
1.2.2. Estruturas de contenção de blocos rochosos (telas e grampos)	A	A	C	C	A	B	C	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA	NA
1.2.3. Outras obras (solo grampeado, aterro reforçado, cortina atirantada)	A	A	C	C	B	C	C	A	A	A	A	NA	NA	NA	NA	NA
1.3. Obras de anteparo a movimentos de massa																
1.3.1. Barreiras vegetais	B	B	B	C	B	B	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1.3.2. Muro de espera	B	B	B	C	A	B	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1.3.4. Trincheiras	B	B	B	C	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A
2. Não estruturantes																
2.1. Gestão e fortalecimento da Defesa Civil Municipal	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	A	B	A	A
2.2. Monitoramento pluviométrico	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	C	B	NA	C
2.3. Monitoramento das áreas de risco	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	B	A	C	C
2.4. Educação e conscientização ambiental	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	A	A	B	B
2.5. Comunicação de riscos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	A	A	B	B
2.6. Participação da comunidade e reforço dos núcleos comunitários	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	A	A	A	B
2.7. Hortas comunitárias e/ou outras soluções baseadas na natureza, nas áreas de risco	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	B	C	C	C
2.8. Programas de geração de renda, associados a prevenção e mitigação de riscos.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	C	C	A	C
2.9. Parcerias com outros órgãos municipais (planejamento urbano, geoprocessamento, secretaria de obras) e instituições de pesquisa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	A	B	A	B

Índices de perigosidade: Altura do talude (I_{AL}); Inclinação do talude (I_{IN}); Condições para acúmulo de água superficial (I_{AG}); Cobertura superficial benéfica (I_{VG}); Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I_{DE}); Trincas no terreno (I_{TR}); Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU}); Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar), estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) (I_{MV}); Degrau de abatimento (I_{DG}); Cicatriz de deslizamento (I_{CD}); Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I_{HO}); **Índices de consequências:** Ocupação do Talude (I_{OT}); Afastamento/altura do talude (I_{AH}); Condições das moradias (I_{CM}); Largura da plataforma (I_{LP}); Condicionantes urbanísticas (I_{CU}). **Aplicabilidade:** Alta (A); Moderada (B); Baixa (C); Não se Aplica (NA).

3.5. Monitoramento

Nesta etapa, os resultados dos índices de perigo e consequências são apresentados em gráficos de barras, de modo que seja possível avaliar quais os índices são mais relevantes para o risco, e quais devem ser monitorados.

A análise de risco e a tabela *FMEA* desta pesquisa serão ponto de partida, e requerem atualização, caso seja do interesse e possibilidade das defesas civis darem continuidade ao método aqui proposto. As análises apresentadas e sugestões de ações mitigadoras e controles mitigatórios por meio de monitoramento devem ser reavaliadas a cada período chuvoso, no mínimo, a partir de novas análises de risco e observações de ocorrências em campo. Portanto, estabelece-se a periodicidade anual para avaliação e monitoramento dos riscos levantados.

O monitoramento e observação das áreas de estudo foi realizado em um período seco e um período chuvoso no Porto (2020/2021), e em três períodos secos e chuvosos em Contagem (2017/2018/2019). As condições pluviométricas dos dois municípios foram observadas, bem como as consequentes ocorrências. Não é objetivo da pesquisa a análise da relação direta entre chuva e escorregamentos, contudo, para o entendimento dos mecanismos de ruptura típicos das duas áreas, foi realizada esta observação, bem como para geração de banco de dados.

Em Porto, o reconhecimento de campo já havia sido feito no início de outubro e também em novembro de 2020. Após as chuvas de dezembro/20 foi realizada nova inspeção, a fim de observar o comportamento dos taludes em condições saturadas ou parcialmente saturadas. Foram identificados quatro taludes com ocorrências ou iminência de movimentos de massa ou situação de processos erosivos com o carreamento de solo no sentido de curso d'água: o talude TS-C1 no Parque Oriental, com pelo menos 3 pontos de escorregamentos observados na base; o TS-C4 na Alameda de Cartes com surgências e quedas de pequenos blocos e colúvio; o TS-C2, adjacente ao Rio Tinto, com carreamento de finos em direção ao rio; e um talude de solo em Ramalde, o qual não teve o risco analisado nesta pesquisa, mas foi monitorado e observada fenda de tração na crista, em janeiro de 2021.

Em Contagem, no ano de 2017, foram abertas 1178 ROs (sendo ROs- relatórios de ocorrências). Desse total, 117 na Regional Vargem das Flores, especificamente em 15 diferentes áreas de risco. Muitas ocorrências foram associadas a riscos construtivos, mas o índice de escorregamentos prevaleceu representativo: risco construtivo, 58% de 117 ROs; seguido por escorregamentos, que somam 10% do total de ocorrências da Regional Vargem das Flores. Em 2018, foram vistoriadas ocorrências nos bairros Estrela Dalva, Morro dos Cabritos

e Novo Riacho. Em dezembro de 2019 e janeiro de 2020, as ocorrências de inundações foram majoritárias, e estão georreferenciadas no *Web Map* Georiscos Contagem.

Os locais monitorados estão apresentados no APÊNDICE A – Contextualização e estudos de caso em Porto, Portugal e no APÊNDICE B – Contextualização e estudos de caso em Contagem, MG.

3.6. Revisão e Análise Crítica

Nesta etapa são indicados pontos a serem observados de forma periódica e pontos de melhoria na análise de risco e no contexto geológico-geotécnico das áreas de estudo. As sugestões para ações e pesquisas futuras se enquadram também nesta etapa da gestão de riscos, e estão apresentadas nas planilhas *FMEA*, e CAPÍTULO 6.

3.7. Comunicação de Riscos

A comunicação de riscos não é em si uma etapa da gestão de riscos ou da análise e avaliação dos riscos. Ela é uma ação fundamental que perpassa as outras etapas metodológicas. Nesse contexto, buscou-se apresentar para a comunidade de Contagem os resultados de monitoramento de riscos em reuniões públicas, especificamente para a Regional Vargem das Flores, em 16/10/2018; e para a Regional SEDE, em 05/10/2019.

Ainda, foi realizada uma análise dos meios de comunicação da Defesa Civil de Contagem e proposição de *Web Map* público com informações de ocorrências e áreas de risco, e os resultados estão apresentados no item 4.2.4, em forma de artigo, no APÊNDICE F – Artigo 1: Comunicação em Geociências na gestão de riscos e desastres ambientais.

4. SÍNTESE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas discussões, análises comparativas e síntese dos resultados para as amostras estudadas, ou seja, para os estudos de caso no Porto e em Contagem.

4.1. Em Porto

A contextualização do município de Porto nos aspectos geológico-geotécnicos, hidrogeomorfológicos e urbanísticos, bem como os estudos de caso, estão apresentados em APÊNDICE A – Contextualização e estudos de caso em Porto, Portugal, e neste capítulo apresenta-se a síntese dos resultados.

4.1.1. *Índices de perigo e consequências por talude*

A pontuação de cada índice de perigo e consequências está apresentada em gráficos na Tabela 4.1, para cada talude, bem como a indicação do somatório de pontos, a partir do qual é possível definir qual a classe de perigo (de P1 a P5) e consequências (de C1 a C5) o talude se encontra, de acordo com os critérios de definição das classes apresentados na Tabela 3.21 e Tabela 3.23.

Em termos de somatório de índices de perigo, o talude TS-F2 apresenta o maior valor (435 pontos), sendo enquadrado no perigo médio-alto (4), com 4 índices de pontuação máxima (81 pontos): inclinação, trincas, cicatriz de ruptura e degrau de abatimento, resultado que sugere que as ações corretivas estruturantes são as mais indicadas para estabilizar o talude, principalmente por haver um prédio próximo à crista; seguido do talude TS-C1 (417 pontos) que da mesma forma possui 4 índices com pontuação de 81: inclinação, sinais de movimentação, cicatriz de ruptura e histórico de ocorrências, que também sugere ações estruturantes de estabilização na base, por haver uma via próximo à crista (Circunvalação N12). Observa-se que a inclinação recebe nota máxima (81) para 6 dos 8 taludes analisados, não sendo crítica somente para os taludes TS-C2 e TS-C5, nos quais as ações não necessitam ser de estabilização e contenção, mas sim, ações preventivas associadas à tratamento e controle de processos erosivos. Em relação aos indícios de instabilidade, os taludes TS-C1, TS-C2, TS-F1 e TS-F2 apresentam maiores pontuações, sendo, portanto, recomendadas ações mitigatórias principalmente em períodos chuvosos, como sinalização, colocação de lona, tamponamento de trincas na crista para evitar preenchimento com água e agravamento do perigo.

Tabela 4.1- Gráficos com índices de perigo e consequências de taludes do Porto e enquadramento em classes

Talude	Índices de Perigo (P)	Índices de Consequências (C)	Classes
TS-C1			Somatório P=417; P é médio-alto (4). Somatório C=147; C é moderada (3).
TS-C2			Somatório P=285; P é médio (3). Somatório C=39; C é residual (1).
TS-C3			Somatório P=177; P é médio-baixo (2). Somatório C=279; C é acentuada (4).
TS-C4			Somatório P=333; P é médio (3). Somatório C=129; C é moderada (3).
TS-C5			Somatório P=147; P é baixo (1). Somatório C=75; C é reduzida (2).
TS-A1			Somatório P=165; P é médio-baixo (2). Somatório C=153; C é moderada (3).
TS-F1			Somatório P=405; P é médio (3). Somatório C=261; C é acentuada (4).
TS-F2			Somatório P=435; P é médio-alto (4). Somatório C=261; C é acentuada (4).

Legenda para perigosidade

- Altura
- Inclinação
- Conc. de água
- Surgências
- Descontinuidade e/ou erosões
- Movimentação
- Degrau de abatimento
- Cícatriz de ruptura
- Histórico de ocorrências
- Trincas

Legenda para consequências

- Ocupação do talude
- Afastamento/altura
- Condições da moradia
- Largura da plataforma
- Contexto urbano

O talude TS-C3 não apresentou pontuação crítica para indícios de instabilidade, contudo, não foi possível ter acesso completo à crista do mesmo, e se recomenda o monitoramento deste local. Já o talude TS-C4 apresentou 3 notas máximas: inclinação, processos erosivos e surgências, e requer um estudo hidrogeológico prévio às análises de estabilidade e projetos de estabilização, pois, foi identificada nos mapas temáticos uma nascente próxima ao talude e curso de água o qual encontra-se atualmente sotoposto. O talude TS-A1 está com perigo médio-baixo (2) e se encontra em vias de iniciar obras no local.

Na análise de índices de consequências, o talude com maior pontuação (279 pontos), consequência acentuada (4), é o TS-C3, o qual possui 3 índices com pontuação máxima de 81: ocupação da área, relação afastamento/altura do talude e largura da plataforma de retenção. Recomenda-se monitorar esta área, pois, há moradias na crista e histórico de ruptura. Os taludes TS-F1 e TS-F2 também apresentam pontuações elevadas para consequências (261 pontos), sendo enquadrados na classe acentuada, devido à proximidade dos prédios. Em termos de índices críticos de consequências, a zona habitacional foi a mais impactante em 7 dos 8 taludes estudados, seguida da relação afastamento da construção pela altura do talude.

4.1.2. *Matriz de risco*

A Figura 4.1 apresenta os resultados das análises de perigo e consequências para cada talude, apresentados em uma matriz de risco, sendo que a Figura 4.1a representa o risco para a saúde e segurança da população, a Figura 4.1b para o meio ambiente, a Figura 4.1c para a socioeconomia, e a Figura 4.1d apresenta as classes de risco de R1 a R4 as quais se enquadram os taludes. Observa-se que a matriz de saúde e segurança da população é mais crítica, com maior concentração de taludes nas classes de risco mais altas (R2, amarelo, e R3, laranja), seguida da matriz para impactos na socioeconomia, e por último a matriz de meio ambiente, a qual concentra a maior parte dos taludes na classe de risco R1, verde. Nenhum dos taludes analisados no Porto obteve classificação de risco máxima, R4 (cor vermelha, risco extremo), o que exigiria ações imediatas.



Figura 4.1- Matriz de risco dos taludes em Porto

Em relação à saúde e segurança da população, os taludes mais críticos com risco R3-elevado são o TS-F2, TS-F1, TS-C3, TS-C1 em ordem de criticidade, considerando o critério de desempate para a maior classe de consequências. Em seguida, tem-se os taludes TS-A1 e TS-C4 para risco R2- moderado. Com risco R1-baixo, encontram-se os taludes TS-C2 e TS-C5. Para o TS-C1 foram analisados dois modos de falha, sendo “a” para escorregamentos na base de pequena magnitude, e “b” para escorregamentos de média magnitude.

Para o impacto dos riscos ao meio ambiente, somente o talude TS-C4 obteve classificação R3- elevado, por estar em região próxima a curso de água atualmente sotoposto, na Alameda de Cartes. Em seguida, tem-se o TS-C2 com risco R2- moderado, devido aos processos erosivos avançados e transporte de sedimentos para o Rio Tinto. Os demais taludes estão classificados com risco R1- baixo.

A matriz de risco para socioeconomia, associada aos custos de reparação e impactos econômicos caso os modos de falha se efetivem, apresenta com risco R3- elevado o TS-C1b,

devido à possibilidade de um escorregamento de média magnitude impactar o muro adjacente à via N12 que se encontra próximo à crista desse talude; e o TS-F2, devido à possibilidade de um escorregamento expor a fundação do edifício que se encontra na crista, ou causar algum dano a mesma, com o desconfinamento, por exemplo. Com risco R2- moderado, tem-se TS-C2, TS-C4, TS-A1 e TS-F1; e risco R1-baixo, encontram-se os taludes TS-C3, TS-C5 e TS-C1a, por haver um nível reduzido de impactos na comunidade, sem perdas financeiras em caso de escorregamentos, ou no máximo alguma perda financeira, com interrupção de algum serviço por até 24 horas.

4.1.3. *Tabela FMEA*

As informações e resultados obtidos nos trabalhos de campo, no preenchimento das fichas de perigo e consequências, bem como na análise dos históricos dos taludes, quando existentes, obtidos junto à Proteção Civil do Porto, estão consolidadas na Tabela *FMEA* apresentada na Tabela 4.2.

A análise das causas e efeitos de cada modo de falha hipotético dos taludes em estudo e entendimento das ocorrências facilita as sugestões de ações estruturantes ou não estruturantes, preventivas, mitigadoras e/ou corretivas para diminuir os índices de risco ou erradicá-los. Para o TS-C1, deve-se evitar cortes na base e avaliar solução de retaludamento, drenagem superficial e construção de muro de pequena altura na base. Devido à oferta de granito na região do Porto, a solução de muros de pedras e blocos é bastante utilizada, e é aplicável nesse caso. Para o TS-C2, recomenda-se o tratamento das ravinas e cobertura superficial. Já o TS-C3 requer avaliação de remoção das moradias na crista, contudo nova vistoria deve ser realizada para reavaliar os índices de risco, pois a autora não conseguiu acessar toda a área próxima à crista.

Além do impacto para a segurança da população, soluções devem ser avaliadas no talude TS-C4 para mitigar impactos ambientais em nascente e curso de água, além da possível interrupção da via na Alameda de Cartes, com impacto socioeconômico. Investigações geofísicas podem embasar o projeto à medida que podem identificar o sentido das percolações subsuperficiais, como por exemplo, com a utilização do método geofísico de potencial espontâneo. Para o TS-C5 recomenda-se somente monitoramento. Haverá obras no TS-A1, conforme informa a Proteção Civil; e no TS-F1 e TS-F2 os índices de risco tendem a evoluir rapidamente caso a solução de contenção não seja implantada, e a notificação do condomínio é recomendável.

Tabela 4.2- Tabela síntese FMEA – Taludes no Porto

Local	ID	Modo de falha	Causa	Efeitos	Unidade Geotécnica	Justificativas/histórico	Perigo	Consequências				Ações Mitigadoras (AM) e/ou Controles Mitigatórios (CM) e/ou Ações corretivas (AC)
								Saúde e Segurança	Meio ambiente	Socioeconomia		
Área 14 (A14) - Taludes do Parque Oriental adjacente à circunvalação N12	TS-C1_a	Escorregamento planar de pequena magnitude	Inclinação maior de 50º e corte na base	Evolução do nível de risco e possível preparação das condições para escorregamento	G4X e G5	Foi observada ruptura planar rasa em nov/dez/2020, condicionada pela estrutura reliquiar do xisto, com foliação desfavorável, com mergulho próximo de 50º. Além de corte na base (entre 70 a 100cm de altura).	Média-alta - 4	Moderada - 3	Residual - 1	Residual - 1	CM- Evitar cortes na base, monitoramento antes e após período chuvoso. AM - acerto da declividade da crista e direcionamento de água pluvial.	
	TS-C1_b	Escorregamento plano-circular de média magnitude	Superfície pretérita de ruptura, inclinação maior que 50º e foliação desfavorável	Instabilização de muro da N12 por desconfinamento da base	G4X e G5	Várias superfícies de rupturas planares de pequena magnitude observadas na base, que podem condicionar rupturas de maior porte e profundidade, instabilizando o muro.	Média-alta - 4	Moderada - 3	Residual - 1	Moderada - 3	AC - Retaludamento com inclinação menor que 45º, construção de muro de pequena altura na base, acerto da declividade da berm superior para possibilitar drenagem e/ou implantar sistema de drenagem.	
Área 15 (A15) - Talude sob a Ponte IC29/A43 e adjacente ao Rio Tinto, Parque Oriental.	TS-C2	Escorregamento planar de colúvio/alúvio/aterro, associado à processos erosivos	Talude em aterro/alúvio, inconsolidado e com baixa resistência. A retirada da cobertura vegetal para construção da ponte e processos erosivos predisuseram o talude a escorregamentos planares superficiais quando no período chuvoso.	Assoreamento do trecho do Rio Tinto, adjacente ao talude	G2	Talude que apresenta processos erosivos acentuados, e carreamento de solo para o Rio Tinto, conforme observado em campo. O que deve se agravar em período chuvoso.	Média - 3	Residual - 1	Moderada - 3	Reduzida - 2	CM - Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento do volume de material de assoreamento e do processo de ravinamento e escorregamentos; AM - avaliar colocação de sacarias na base do talude para evitar que um volume maior de material escoe para o rio; AC (Ação corretiva): projeto retaludamento do talude e implantação de cobertura vegetal eficaz no controle da erosão.	
Área 11 (A11) - Rua do Babelo com Rua do Freixo.	TS-C3	Escorregamento planar de solo ou saprolito, associado à processos erosivos	Corte verticalizado, processos erosivos, sobrecarga na crista	Danos ou desmoronamento das moradias construídas na crista	G4-X e G5	talude mapeado como instável ou com instabilidade potencial desde 2003. Foi observado em campo, cicatriz de ruptura pretérita e erosões. As consequências quanto à segurança é acentuada devido a moradias construídas na crista.	Média-baixa - 2	Acentuada - 4	Residual - 1	Reduzida - 2	CM - Abertura de ocorrência e monitoramento; AM - Informar aos moradores dos possíveis riscos, e avaliar a situação dos mesmos; acessar o talude e refazer a avaliação; AC - Verificar junto à câmara se há projeto para o local, já que parte da área que está na base do talude encontra-se em área verde lúdico-produtiva conforme a planta de qualificação do solo.	
Área 16 (A16) - Alameda De Cartes, próximo a R. São Roque da Lameira.	TS-C4	Movimentos de massa complexos, envolvendo escorregamentos planares de pequena magnitude, corrida de detritos e solo, e queda de blocos	Percolação de água pelo talude, corte com retirada de proteção vegetal, e material rochoso alterado, com descontinuidades preenchidas por solo e água, por vezes. Intercalações com aterro/colúvio.	Danos à veículos e pessoas que transitam pela via. Impactos em área de importância hídrica	Intercalações de G2 e G8	Uma ocorrência aberta para a Proteção Civil neste ponto, pois a surgência observada na face do talude estava a causar percolação de água no sentido da via. No período de frio, formou-se uma camada de gelo que gerou deslizamento de carros. Movimentos de massa de pequena magnitude foram observados, com detritos no passeio, os quais foram rapidamente retirados.	Média - 3	Moderada - 3	Acentuada - 4	Reduzida - 2	CM - Visitas de campo para monitoramento; AM - implantação de drenagem superficial; AC - Desenvolvimento de projeto, embasado por investigações geotécnicas, pois os escorregamentos neste talude são classificados como complexos, devido à heterogeneidade do mesmo, onde observa-se quedas de fragmentos de rocha e solo, carreamento de finos pelas surgências com escorregamentos de pequena magnitude. A sobrecarga do aterro na crista deve ser considerada. Sugere-se também investigações geofísicas, que podem associar o método de GPR ou eletrorresistividade, bem como potencial espontâneo para identificar a nascente e sentido de fluxo.	
Área 17 (A17) - Talude R. Virginia Moura	TS-C5	Corrida de detritos e escorregamentos de pequena magnitude.	Falta de sistema formal de drenagem, com formação de caminhos preferenciais de água potencializando a corrida de material inconsolidado (aterro)	Impedimento e/ou transtornos no trânsito local.	G1, G4-G e G8	Em visita ao local foi observado trechos com detritos no passeio, pequena magnitude, sem sistema de drenagem.	Baixa - 1	Reduzida - 2	Reduzida - 2	Reduzida - 2	CM- Monitoramento periódico.	
Área 18 (A18) - Praça Pedra Verde.	TS-A1	Movimentos de massa complexos, envolvendo escorregamentos de pequena magnitude, corrida de detritos e solo, e queda de blocos	Corte acentuado no talude, quando da construção do estacionamento. As raízes da árvore existente na crista acelerou o processo de degradação do solo/rocha, acumulando água e tensões nas descontinuidades.	Queda da árvore, além de detritos, que podem danificar veículos e pessoas	G4-G e G8	Ocorrência já registrada pela Proteção Civil. Foram instalados guardrails. Probabilidade média pois local de pouca circulação.	Média-baixa - 2	Moderada - 3	Residual - 1	Moderada - 3	CM - Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos; AM - Instruir os moradores para não estacionarem próximo do local, tampouco circular na crista e base; AC - elaborar projeto de estabilização.	
Área 19 (A19)- R. Henrique Lopes de Mendonça (com R. Amadeu Souza Cardoso).	TS-F1	Escorregamentos planares ou cunha em saprolito ou solo, de pequena ou média magnitude, desde a crista.	Corte no talude, o qual desconfinou as foliações desfavoráveis à segurança do talude	Queda de árvore, atingimento de pessoas e veículos.	G4-X e G5, G6	Cenário hipotético, mas provável, a partir dos escorregamentos na base que condicionam maiores magnitudes de deslizamentos.	Média - 3	Acentuada - 4	Residual - 1	Moderada - 3	CM - Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos; AC - elaborar projeto de estabilização. Gabião pode ser viável, contudo sugere-se prever e acompanhar os riscos no processo construtivo, pois cortes na base para assentamento do gabião pode desencadear escorregamento.	
	TS-F2	Escorregamentos planares ou cunha em saprolito ou solo, de média magnitude, englobando a crista.	Corte no talude, o qual desconfinou as foliações desfavoráveis à segurança do talude	Comprometimento da fundação do prédio à montante, atingimento de pessoas ou veículos	G4-X e G5	Verificado abatimento e trinca de tração na crista	Média-alta - 4	Acentuada - 4	Residual - 1	Moderada - 3	CM - Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos. AC - elaborar projeto de estabilização. Gabião pode ser viável, contudo, sugere-se prever e acompanhar os riscos no processo construtivo, pois cortes na base para assentamento do gabião pode desencadear escorregamento.	

4.2. Em Contagem

A contextualização do município de Contagem nos aspectos geológico-geotécnicos, fisiográficos e urbanísticos, bem como os estudos de caso, estão apresentados em APÊNDICE B – Contextualização e estudos de caso em Contagem, MG, sendo apresentada neste item, somente a síntese de resultados.

4.2.1. Índices de perigo e consequências por talude

A pontuação de cada índice de perigo e consequências está apresentada em gráficos na Tabela 4.3, para cada talude, bem como a indicação do somatório de pontos, a partir do qual é possível definir qual a classe de perigo (de P1 a P5) e consequências (de C1 a C5) dos setores de risco, de acordo com os critérios de definição das classes apresentados na Tabela 3.21 e Tabela 3.23.

Tabela 4.3- Gráficos com índices de perigo e consequências de setores de Contagem e enquadramento em classes

Área	Índices de Perigo (P)	Índices de Consequências (C)	Classes
A58-S1			Somatório P= 255; P é médio (3). Somatório C= 273; C é acentuada (4).
A58-S2			Somatório P= 153; P é baixo (1). Somatório C= 273; C é acentuada (4).
A58-S3			Somatório P= 243; P é médio-baixo (2). Somatório C=273; C é acentuada (4).
A58-S4			Somatório P= 327; P é médio (3). Somatório C= 219; C é acentuada (4).



Legenda para perigosidade

- Altura
- Inclinação
- Conc. de água
- Vegetação
- Descontinuidade e/ou erosões
- Trincas
- Surgências
- Movimentação
- Degrau de abatimento
- Cíatriz de ruptura
- Histórico de ocorrências

Legenda para consequências

- Ocupação do talude
- Afastamento/altura
- Condições da moradia
- Largura da plataforma
- Contexto urbano

Em relação aos indícios de instabilidade, destacam-se as cicatrizes de rupturas, que apresentam nota máxima (81 pontos) para os setores A63-S1, A57-S1, e A61-S1 na Vila Estaleiro; e nota de 27 pontos para os setores A58-S1, A58-S4, A61-S2, e A125-S1 no Beco Divino Cardoso. As trincas recebem 27 pontos em 4 dos 12 setores, e o histórico de ocorrências em 3 dos 12 setores avaliados.

Na análise de índices de consequências, observam-se em geral pontuações mais elevadas, sendo que somente 2 setores encontram-se com consequências moderadas – C3 (A61-S1 e A125-S1). 9 setores encontram-se com consequências acentuadas – C4, e 1 setor com grau crítico – C5 (A61-S2) o qual requer ação imediata. Observa-se que para esse setor crítico na Vila Estaleiro, 4 dos 5 índices receberam pontuação máxima, com exceção do índice referente ao contexto urbano. A vulnerabilidade da moradia (madeira, papelão, pouca alvenaria) encostada em um talude verticalizado colaborou para a elevação dos índices. Em termos gerais, destaca-se para todas as áreas o enquadramento na zona habitacional e o pequeno afastamento das moradias em relação à altura do talude, bem como a extensão de pequena magnitude da plataforma que poderia conter o escorregamento ou possibilitar o desvio, caso o modo de falha previsto se concretize.

4.2.2. *Matriz de risco*

A Figura 4.2 apresenta os resultados das análises de perigo e consequências para cada setor analisado em Contagem, apresentados em uma matriz de risco, sendo que a Figura 4.2A representa o risco para a saúde e segurança da população, a Figura 4.2B para o meio ambiente, Figura 4.2C para a socioeconomia, e a Figura 4.2D apresenta as classes de risco de R1 a R4, as quais se enquadram os setores.

Em relação à saúde e segurança da população, observa-se uma concentração de setores com risco R3- elevado: são o A58-S1 e A58-S4 na Vila Bastilha; A63-S1 e A57-S1 nas Vilas Feliz e Barroquinha no entorno da voçoroca; A58-S3 na Vila Bastilha; A61-S3 na Vila Estaleiro; A69-S1 na Vila Soledade; A125-S2 no Beco Maria José Chiodi; e A58-S0 na Vila Bastilha, em ordem de maior criticidade para menor, com critério de desempate para maiores consequências. Em seguida, com maior criticidade e risco R4 (muito alto), tem-se o setor A61-S2 na Vila Estaleiro, devido à vulnerabilidade da moradia. Com risco R2 – moderado tem-se os setores A58-S2, A61-S1 e A125-S1.

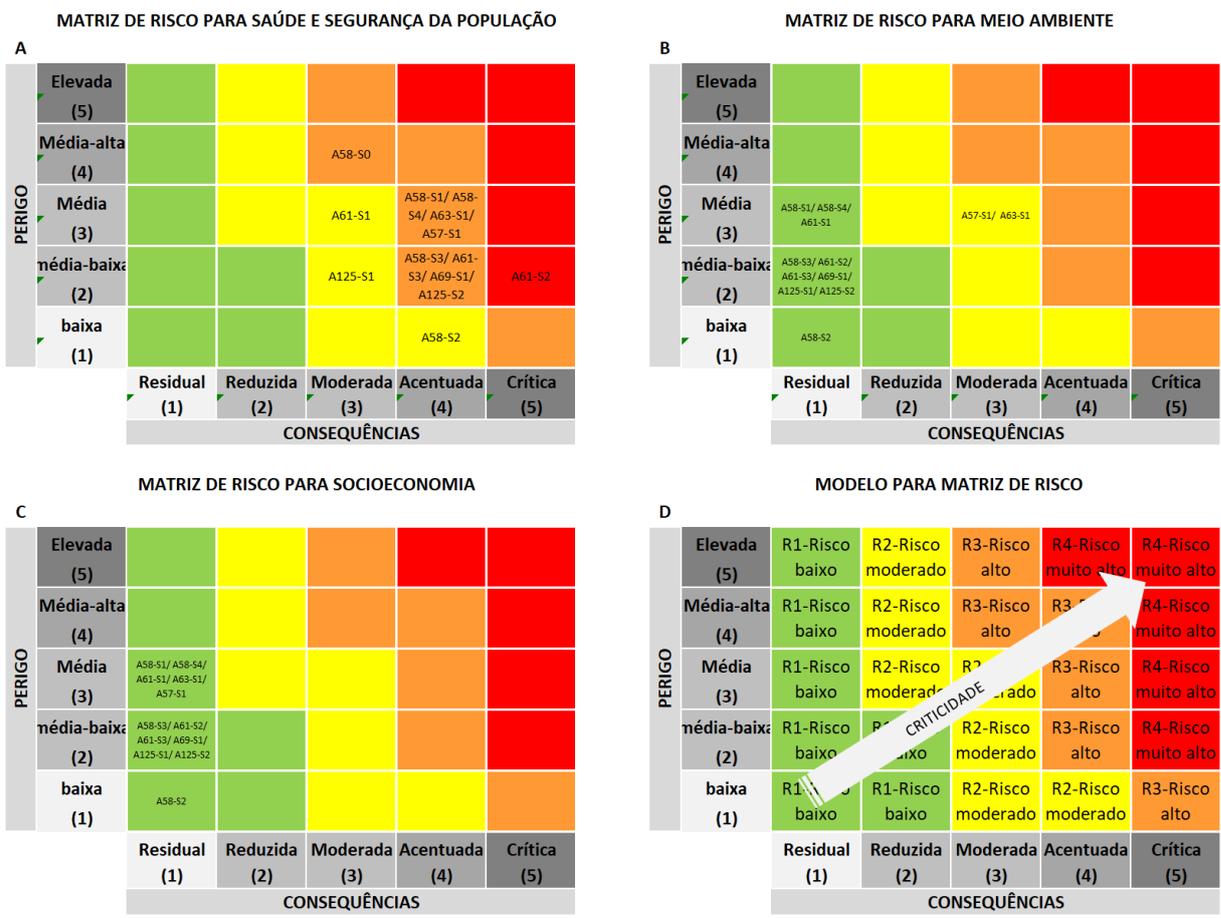


Figura 4.2- Matriz de Risco de setores em Contagem

Para o impacto ao meio ambiente, somente os setores A63-S1 e A57-S1 nas Vilas Feliz e Barroquinha no entorno da voçoroca apresentam risco R2- moderado, por estarem em região de nascente e devido à possibilidade de contaminação do lençol freático que aflora no fundo da voçoroca por lançamentos de efluentes domésticos sem tratamento. Além do aumento potencial da perda de solo devido às ações antrópicas de corte e aterro com consequente assoreamento dos cursos de água. Há uma linha de água intermitente que se estende do fundo da voçoroca em direção ao reservatório de Vargem das Flores. Os demais setores estão com risco baixo R1.

A matriz de risco para socioeconomia, associada aos custos de reparação e impactos econômicos caso os modos de falha dos setores se efetivem, apresenta-se com todos os setores com risco R1-baixo, por haver um nível reduzido de impactos na comunidade, sem perdas financeiras em caso de escorregamentos, ou no máximo alguma perda financeira, com interrupção de algum serviço por até 24 horas.

4.2.3. *Tabela FMEA*

As informações e resultados obtidos nos trabalhos de campo, no preenchimento das fichas de perigo e consequências, bem como na análise dos históricos dos taludes, quando existentes, obtidos junto à Defesa Civil de Contagem, estão consolidadas na Tabela FMEA apresentada na Tabela 4.4.

A análise das causas e efeitos de cada modo de falha hipotético dos setores em estudo e entendimento das ocorrências facilita as sugestões de ações estruturantes ou não estruturantes, preventivas, mitigadoras e/ou corretivas para diminuir os índices de risco ou erradicá-los, conforme detalhado na tabela *FMEA*.

Em azul, na Tabela 4.4, estão realçadas as sugestões desta pesquisa, a partir da matriz de aplicabilidade de soluções estruturantes e não estruturantes desenvolvida e apresentada no item 3.4. De um modo geral, para ações estruturantes, foi sugerido além das estruturas de contenção ou retaludamento e implantação de sistema drenagem superficial, ações de proteção superficial com avaliação das soluções de bioengenharia como o uso de vegetação benéfica para controle de erosões.

As ações estruturantes tem potencial para diminuir os índices de perigo, enquanto ações não estruturantes, de um modo geral, diminuem os índices das consequências, como ações de comunicação e educação ambiental, projetos comunitários, participação popular, desenvolvimento de pesquisas e ações de geração de renda associadas às práticas sustentáveis. O capim Vetiver é uma espécie que vem sendo utilizada para proteção contra erosão e pode ser uma fonte de renda para cooperativas de gestão popular, pois, é matéria prima para fabricação de fixadores de perfumes, por exemplo. Contudo, são necessárias pesquisas que investiguem a eficácia desta espécie, bem como outras similares, para cada aplicação local.

Também está sugerida a criação de um Centro de Pesquisas junto às universidades e CEMIG, proprietária de parte da área da voçoroca da Vila Feliz. Neste espaço seria possível realizar ações de comunicação e educação ambiental para as escolas, NUPDECs, comunidade em geral, com demonstrações em campo, além de desenvolver pesquisas sobre o potencial erosivo do solo local e respectivas soluções mitigadoras.

Tabela 4.4- Tabela síntese FMEA – Áreas de risco em Contagem.

Local	ID	Modo de falha	Causa	Efeitos	Unidade Geotécnica	Justificativas/histórico	Consequências				Risco p/ população	Ações preventivas, mitigatórias e corretivas	
							Perigo	Saúde e Segurança	Meio ambiente	Socioeconomia		Estruturantes	Não Estruturantes
Área 58 - Vila Bastilha, Nova Contagem, Regional Vargem das Flores.	A58-S0	Escorregament o circular de pequena a média magnitude	Processos erosivos, corte na base, construção na crista associada à falta de sistema de drenagem superficial e acúmulo de água.	Descalçamento das fundações das casas na crista e atingimento de construções na base	CB H	Foram observados vários pontos com nítidos processos erosivos, alta declividade e moradias construídas na crista. Contudo, moradias com padrão executivo mais elevado que outros setores, ou moradias em regiões mais planas da Vila Bastilha.	Média - alta 4	Moderada 3	Residual 1	Residual 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> •Plantio de vegetação adequada nas feições erosivas e face do talude sem cobertura vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> •Aumentar a mancha de risco para incluir as moradias que se encontram na crista, bem como trecho até S2 R2 DES; •Avaliar com a comunidade se é interesse implantar hortas comunitárias no local; •Monitorar local;
	A58-S1	Escorregament o circular de pequena a média magnitude	Processos erosivos, corte na base e moradia precária, construção na crista associado com a falta de sistema de drenagem superficial	Descalçamento das fundações das casas na crista e atingimento de construções na base	CB H	A análise do setor foi a partir do talude que apresenta uma construção precária na base. Não foi possível verificar se há moradores permanentes no local, mas a favor da segurança considerou-se que sim. Sugere-se à Defesa Civil averiguar a situação e avaliar remoção, para diminuir o risco, bem como expandir a mancha S1 para este local	Média 3	Acentuada -4	Residual 1	Residual 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> •Inserção de calhas na crista e descidas de água pluvial e canalização adequada de esgoto e água servida; •Manter a proteção superficial, exceto bananeiras e contenção em gabião (2x) 15x 2,5m; •Plantio de vegetação adequada nas feições erosivas e face do talude sem cobertura vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> •Orientar para não lançar água/esgoto na crista; •Orientar para não cortar a base do talude desconfinando-o; •Aumentar a mancha de risco para incluir as moradias que se encontram na crista, bem como trecho até o setor S2; •Avaliar com a comunidade se é interesse implantar hortas comunitárias no local; •Monitorar local;
	A58-S2	Escorregament o circular de pequena a média magnitude	Processos erosivos, corte na base e moradia precária, construção na crista associado com a falta de sistema de drenagem superficial	Descalçamento das fundações das casas na crista e atingimento de construções na base	CB H	A perigosidade foi influenciada principalmente pela inclinação elevada da encosta, mas a forma é menos concentradora de água superficial que o setor 1. Para a pontuação das consequências, o fator afastamento da moradia em relação à altura do talude e pequena plataforma de visibilidade de um possível movimento de massa foi preponderante.	Baixa -1	Acentuada -4	Residual 1	Residual 1	R2	<ul style="list-style-type: none"> •Limpeza e remoção de bananeira (30m2); •Contenção (2x) gabião 11 x 3 m. •Retaludamento com criação de bermas para horta comunitária; •Cobertura vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> •Conscientizar para não lançar água/esgoto na crista; •Monitorar local. •Pesquisa de campo para avaliar demanda e possível engajamento no projeto de hortas comunitárias.
	A58-S3	Escorregament o circular de pequena a média magnitude	Processos erosivos, corte na base e moradia muito próxima do talude de corte.	Queda de muro, atingimento e dano da moradia na base do talude	CB H	A perigosidade foi influenciada principalmente pela inclinação elevada da encosta e processos erosivos acelerados devido à falta de vegetação superficial e concentração escoamento de água. Para a pontuação das consequências, o fator afastamento da moradia em relação à altura do talude e pequena plataforma de visibilidade de um possível movimento de massa foi preponderante.	Média - baixa -2	Acentuada -4	Residual 1	Residual 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> •Contenção em muro de arrimo (blocos) 12 x 2,5 m; •Proteção superficial vegetal; •Implantar sistema de drenagem superficial. 	<ul style="list-style-type: none"> •Orientar para não cortar a base do talude desconfinando-o; •Monitorar local.
	A58-S4	Escorregament o circular de pequena a média magnitude	Processos erosivos acentuados (ravinas e voçoroca), construção na crista do talude e garagens na base.	Atingimento da garagem e danos às moradias na crista	CB H	A perigosidade foi influenciada principalmente pela inclinação elevada da encosta e processos erosivos acelerados, além da forma da encosta. Para a pontuação das consequências, o fator afastamento da moradia em relação à altura do talude foi preponderante.	Média 3	Acentuada -4	Residual 1	Residual 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> •Remoção de moradia; •Limpeza e remoção de bananeiras (25 m3); •Recomposição de cobertura vegetal arbustiva (800 m2); 	<ul style="list-style-type: none"> •Orientar para não executar corte na base, desconfinando talude; •Monitorar local; •Não foi identificado a remoção indicada. Reavaliar necessidade de remoção das moradias na crista do talude.
Área 61 - Vila Estaleiro I, Regional Vargem das Flores	A61-S1	Escorregament o circular de pequena a média magnitude	Cortes verticalizados, inclinação e altura acentuada, desconfinamento da base. Cicatrizes de ruptura.	Estreitamento da via na crista e atingimento de construções na base	CB H	Atingimento de moradia na base do talude, e interrupção de via na crista.	Média 3	Moderada 3	Residual 1	Residual 1	R2	<ul style="list-style-type: none"> •Estrutura de contenção; •Executar escadaria entre o setor e rua de acesso (40 x 1,5m). •Caso não haja alternativa para a via na crista, avaliar cortina atirantada; 	<ul style="list-style-type: none"> •Conscientizar para não plantar bananeiras no talude; •Projeto urbanístico e viário. Avaliar alternativa para rua na crista
	A61-S2	Escorregament o circular de pequena a média magnitude	Cortes verticalizados, desconfinamento na base, cicatrizes de ruptura, processos erosivos.	Atingimento de moradia, de baixa resistência e alta vulnerabilidade	CB H	Apesar da perigosidade média-baixa, as consequências são críticas pois a moradia possui baixo padrão construtivo (lonas, madeira, papelão, telhas, alguma alvenaria)	Média - baixa -2	Crítica -5	Residual 1	Residual 1	R4	<ul style="list-style-type: none"> •Estruturas de contenção. •Adequação da infraestrutura. 	<ul style="list-style-type: none"> •Elaboração de projeto de urbanização para definição do potencial de adensamento da ocupação e monitoramento sistemático da área; •Avaliar projeto de calçada permeável e valetas drenantes. •Implementar projeto de assessoria técnica para construção segura.
	A61-S3	Escorregament o circular de pequena a média magnitude	Cortes verticalizados, construções próximas aos taludes sem estruturas de contenção. Feições erosivas.	Atingimento de moradia, de baixa resistência	CB H	Especificamente neste setor não foi identificado registro de escorregamentos até a data da vistoria, e perigosidade classificada como P2. Contudo há moradias com parede de alvenaria encostadas em talude vertical, por isso consequências C4.	Média - baixa 2	Acentuada -4	Residual 1	Residual 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> •Contenção: 12,0 x 2,7m •Contenção: 10,0 x 2,7mm •Retaludamento: 15,0 m3 •Proteção superficial vegetal: 60,0m2 	<ul style="list-style-type: none"> •Orientação aos moradores para que não ocorra o plantio de bananeiras a meia encosta •Não consolidação do local, com inserção de luz, água e esgoto sem estudo prévio de viabilidade da área; e avaliar calçada permeável e valetas drenantes; •Implementar projeto de assessoria técnica para construção segura.

Local	ID	Modo de falha	Causa	Efeitos	Unidade Geotécnica	Justificativas/histórico	Consequências				Risco p/ população	Ações preventivas, mitigatórias e corretivas	
							Perigo	Saúde e Segurança	Meio ambiente	Socioeconomia		Estruturantes	Não Estruturantes
Área 63 - Vila Feliz, Regional Vargem das Flores, carta 58 e 59	A63-S1	Escorregamento o circular de pequena a média magnitude	Processo natural de evolução da voçoroca, de grandes dimensões, potencializado por cortes, aterros e construções nas cristas e base dos digitos da voçoroca. Lançamento de água servida na face dos taludes acelera o processo erosivo.	Atingimento de moradia, de baixa resistência, contaminação do lençol freático devido aos lançamentos de água e esgoto irregulares	CB H	A perigosidade P3 foi influenciada pelas cicatrizes de deslizamentos e feições erosivas, além da elevada inclinação dos taludes. O histórico de ocorrências também é significativo. As moradias tem vulnerabilidade média a alta e encontram-se muito próximas da base ou crista dos taludes	Média - 3	Acentuada - 4	Moderad a - 3	Residual - 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> •Prolongar lançamento e evitar erosão na crista; •Rede água e esgoto; 	<ul style="list-style-type: none"> •Projeto de estabilização da voçoroca: diques de retenção de sedimentos e reabilitação ou outra solução que possibilite o uso público do local, como um parque, por exemplo; •Impedir o lançamento de lixo e água servida para evitar contaminação do lençol freático; por meio de comunicação e conscientização •Impedir o adensamento da ocupação; por meio de cercamento, e verificar possibilidade de parceria com a CEMIG e universidades para criar Centro de Pesquisas no local, com atividades de educação e conscientização, plantio e pesquisa de vegetação adequada para controle de erosão e testes com outras soluções baseadas na natureza •Remoção dos domicílios no interior da voçoroca. •Avaliar se o local é ou não área de proteção ambiental em decorrência da existência de nascentes.
Área 57 - Vila Barroquinha, Regional Vargem das Flores, carta, 58 e 59	A57-S1	Escorregamento o circular de pequena a média magnitude	Processo natural de evolução da voçoroca, potencializado por cortes, aterros e construções nas cristas e base dos digitos da voçoroca. Lançamento de água servida na face dos taludes acelera o processo erosivo.	Atingimento de moradia, contaminação do lençol freático devido aos lançamentos de água e esgoto irregulares	CB H	A perigosidade P3 foi influenciada pelas cicatrizes de deslizamentos e feições erosivas, além da elevada inclinação dos taludes. O histórico de ocorrências também é significativo. As moradias tem vulnerabilidade média a alta e encontram-se muito próximas da base ou crista dos taludes. O escoamento superficial está direcionado para moradia no final do beco, na parte baixa da voçoroca	Média - 3	Acentuada - 4	Moderad a - 3	Residual - 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> •Rede de água e esgoto e drenagem superficiali, caso não seja área de preservação ambiental; 	<ul style="list-style-type: none"> •Limpeza do talvegue com a remoção do lixo e bananeiras. •Desenvolver projeto de pesquisa com soluções de bioengenharia para controle de erosões, para todo o município. Estabelecer áreas de estudo com ensaios de campo e laboratório.
Área 69 - Vila Soledade, Regional Vargem das Flores	A69-S1	Escorregamento o circular de pequena a média magnitude	Cortes verticalizados, com desconfinamento da base. Indicativos: Cicatrizes de deslizamento, Feições Erosivas.	Atingimento e danos às moradias na crista e ao longo do talude	CB H	Histórico de ocorrências e de remoções desde o PMRR de 2007. P2, por conta destas ações, mas devido à ocupação do talude e demais condições, as consequências são acentuadas C4.	Média-baixa - 2	Acentuada - 4	Residual - 1	Residual - 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> •Estruturas de contenção 	<ul style="list-style-type: none"> Continuar monitoramento da área; •Avaliar projeto de calçada permeável e valetas drenantes. •Implementar projeto de assessoria técnica para construção segura.
	A125-S1	Escorregamento o circular de pequena a média magnitude	Cortes Verticalizados com alturas superiores a 5,0m. Baixo padrão construtivo. Indicativos: Cicatriz de deslizamento, Frosão.	Atingimento e danos às moradias na crista e ao longo do talude	CB H	As remoções efetuadas diminuiram principalmente o índice de afastamento/altura do talude, o que baixou a perigosidade para P2. Contudo, deve-se monitorar, para evitar a elevação dos índices de risco, por exemplo, com novas construções. Além de haver áreas próximas com moradias nos taludes	Média-baixa - 2	Moderada - 3	Residual - 1	Residual - 1	R2	<ul style="list-style-type: none"> •Tratamento de toda a encosta: serviço de limpeza / contenção / retaludamento / revegetação e drenagem. 	<ul style="list-style-type: none"> •Orientar para não cortar a base do talude desconfinando-o; •Monitorar local. •Avaliar acrescentar manchas de risco nas áreas adjacentes, incluindo o final da R. Maria José Chiodi com VI-2
Área 125 - beco Divino Cardoso	A125-S2	Escorregamento o circular de pequena a média magnitude, queda de blocos e detritos	Cortes verticalizados, lançamento de água servida na face do talude, construções sem afastamento do talude, cicatrizes de deslizamento	Atingimento e danos às moradias e transeuntes. Interrupção de acesso às moradias no final do beco	CB H	A evolução dos movimentos de massa no local, potencializados por lançamento de água servida, e atingimento da via na base do talude por blocos, detritos e solo, sugere o aumento do grau de risco no local.	Média-alta - 4	Acentuada - 4	Residual - 1	Residual - 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> •Tratamento de toda a encosta: serviço de limpeza / contenção / retaludamento / revegetação e drenagem de água e esgoto. •Avaliar a remoção de moradia no final do beco. 	<ul style="list-style-type: none"> •Orientar para não cortar a base do talude desconfinando-o; •Monitorar local. •Notificar moradora do final do beco, sobre os riscos por estar com a moradia encostada à base do talude. •Avaliar a remoção de moradia no final do beco. •Aumentar mancha de risco R3 neste setor, o qual está R1 pelo PMRR, 2017.

Nota: Para as colunas de ações estruturantes e não estruturantes, o texto em azul representa as propostas desta pesquisa, e em preto, do PMRR (CONTAGEM, 2017).

4.2.4. *Validação do método por comparação com o PMRR*

A validação das fichas de campo e *FMEA* no Porto foi por meio de referências bibliográficas, análises de estabilidade e reunião com a Proteção Civil, além da análise crítica dos resultados de risco após a aplicação da ficha. Para verificar a possibilidade de aplicação do método em outro município e validá-lo para Contagem, foi realizada a análise de risco utilizando a ficha de campo e tabela *FMEA* em 12 áreas de risco para escorregamentos de solo na Regional Vargem das Flores, já mapeadas pelo PMRR (CONTAGEM, 2017) e revisitadas pela autora. Os resultados da pesquisa são comparados com os resultados do PMRR, sendo considerados equivalentes, próximos, ou não próximos.

A comparação dos resultados é possível, pois, os autores do PMRR (CONTAGEM, 2017) utilizaram para a análise de perigo os seguintes fatores: condicionantes geológico-geotécnicos e agentes potencializadores, indícios de instabilidade e histórico de ocorrências, os quais são coincidentes com o primeiro nível de organização da ficha de campo desta pesquisa.

Para consequências, o PMRR indicou o número de domicílios de cada setor avaliado, e também descreveu as condições das moradias. O método do PMRR foi qualitativo descritivo, e o método desta pesquisa é semiquantitativo com a utilização de pontos para ponderar os parâmetros de perigo e consequências, contudo, sem perder a descrição qualitativa das áreas visitadas e resultado final qualitativo para o risco. Algumas dificuldades foram observadas para comparar as consequências, mais que o perigo, contudo, sem inviabilizar a comparação. As semelhanças e diferenças estão descritas a seguir.

A regional Vargem das Flores possui 21 setores de risco R2, R3 e R4 mapeados pelo PMRR de 2017. Destes setores, 12 representam riscos para escorregamento de solo, sendo os demais, em sua maioria, risco de solapamento de margem de córrego. Em menor número, encontram-se áreas com possibilidade de erosão e recalques, além de setores que no momento da vistoria do PMRR não foram visualizados processos instabilizadores que poderiam estar associados a riscos geológico-geotécnicos. Em alguns setores, a prefeitura já havia realizado obras estruturantes quando da visita da equipe do PMRR.

A seguir, na Tabela 4.5, apresenta-se a comparação dos resultados das análises de risco do PMRR em relação às análises de risco desta pesquisa, para a amostra de 12 setores distribuídos em 7 áreas de risco da Regional Vargem das Flores. Foram selecionados somente os setores que apresentam riscos para movimentos de massa do tipo escorregamentos de solo.

Tabela 4.5- Comparação da classificação de risco do PMRR (CONTAGEM, 2017) versus presente pesquisa

PMRR				Presente pesquisa			Equivalência do grau de risco obtido na pesquisa em relação ao PMRR
Área	Setor	Nº de domicílios	Grau de risco	Risco	Perigo-sidade	Conse-quências	
58 – Vila Bastilha, carta 58 c	S1	7	R3	R3	P3	C4	EQUIVALENTE
	S2	5	R2	R2	P1	C4	EQUIVALENTE
	S3	4	R2	R3	P2	C4	PRÓXIMO ⁽¹⁾
	S4	2	R3	R3	P3	C4	EQUIVALENTE
61 – Vila Estaleiro I, carta 58, 59, 61	S1	5	R2	R2	P3	C3	EQUIVALENTE
	S2	1	R3	R4	P2	C5	PRÓXIMO ⁽²⁾
	S3	2	R2	R3	P2	C4	PRÓXIMO ⁽¹⁾
63 – Vila Feliz, carta 58 e 59	S1	6	R3	R3	P3	C4	EQUIVALENTE
57 – Vila Barroquinha, carta 58 e 59	S1	6	R3	R3	P3	C4	EQUIVALENTE
69 – Vila Soledade, cartas 58 e 59	S1	4	R3	R3	P2	C4	EQUIVALENTE
125 – Beco Divino Cardoso	S1	11	R3	R2	P2	C3	PRÓXIMO ⁽³⁾
125 – Beco Maria José Chiodi	S2	5	R1	R3	P2	C4	NÃO PRÓXIMO ⁽⁴⁾

Nota (1) Observa-se que a metodologia proposta é mais conservadora que o PMRR em relação às consequências, contudo, o nível de risco ficou próximo, somente um grau acima, devido à pontuação das consequências que foi medida como C4-acentuada.

Nota (2): Da mesma forma, as consequências foram obtidas de forma mais conservadora, e neste caso a vulnerabilidade de uma moradia construída com madeira, papelão e pouca ou nenhuma estrutura fez as consequências serem medidas como C5-crítica nesta pesquisa. Contudo, o resultado da pesquisa está próximo ao PMRR.

Nota (3): Neste caso, o grau de risco da pesquisa ficou próximo e um grau inferior em relação ao PMRR, devido às remoções realizadas no local que diminuíram os índices de risco, particularmente das consequências.

Nota (4): Este setor não foi descrito por PMRR, sendo, contudo, apresentado nos mapas com risco R1. A abertura de ocorrência pela Defesa Civil, a evolução dos movimentos de massa no local, e existência de moradias próximas à base do talude, fez com que o risco fosse avaliado nesta pesquisa como R3, dois graus acima do PMRR.

Dos 12 setores de risco de escorregamentos de solo avaliados nesta pesquisa, 11 tiveram a classificação equivalente ou próxima das análises de risco do PMRR, o que torna o método da pesquisa validado para a amostra escolhida.

Sete setores tiveram classificação de risco equivalente ao PMRR, e em quatro, os resultados ficaram próximos e justificados devido à consideração mais conservadora das consequências, principalmente em relação à vulnerabilidade das construções.

O único caso em que o resultado da pesquisa não foi próximo ao PMRR (R3 pela pesquisa e R1 pelo PMRR, no setor A125-S2), acredita-se se tratar de área que apresentou um agravamento da situação de risco após a vistoria da equipe do PMRR.

4.2.5. *A comunicação de riscos e desastres e a visão interdisciplinar da temática*

A geotecnia é uma disciplina que engloba conhecimentos de geologia de engenharia, mecânica das rochas e mecânica dos solos, com interface entre as geociências e engenharias. Na área de gestão de riscos e desastres ambientais o papel da geotecnia se amplia além das aplicações técnicas, para metodologias de caráter interdisciplinar, multidisciplinar, e transdisciplinar, com atores sociais diversos e interesses diferenciados. Para lidar com a complexidade do tema podem atuar em conjunto profissionais geólogos, engenheiros, psicólogos, geógrafos, filósofos dentre outros, conjuntamente com a comunidade e órgãos governamentais. Nesse contexto, a geoética, ou seja, a ética relacionada às consequências sociais, econômicas, ambientais e culturais da pesquisa e da prática geológica, fornece um ponto de interseção entre geociências, sociologia e filosofia (MOORES, 1997; BOSI et al., 2008; PEPPOLONI e DI CAPUA, 2012; PEPPOLONI, 2012 segundo RUCHKYS et al., 2019). A comunicação de riscos e desastres é um importante pilar para que a geoética seja aplicada com responsabilidade dentro do campo de ação dos profissionais da área geológico-geotécnica e das instituições de Proteção e Defesa Civil.

Segundo VEYRET (2018), os riscos, os acidentes, as catástrofes não constituem em si um novo campo científico e especificamente geográfico, tampouco uma nova disciplina, mas sim uma abordagem global que integra os aportes provenientes das ciências ditas "duras" (geologia, meteorologia, química, física) e da sociologia, do direito e da economia. PIRES (1998) relata que os termos multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade possuem referenciais teórico-filosóficos diferentes, e a multidisciplinaridade se apresenta quando representantes de disciplinas diferentes trabalham um tema comum, mas sob a ótica de cada um; enquanto a interdisciplinaridade visa diminuir a lacuna entre teoria e prática, por meio

da coordenação dos conhecimentos, evitando a fragmentação da metodologia, além da troca e integração de informações sobre objetivos, referências, conteúdos para se chegar à solução de um problema. A transdisciplinaridade vai além da integração entre disciplinas, mas busca um novo paradigma com referenciais teóricos baseados na complexidade, na ideia de rede, ou de comunicação entre os diferentes campos disciplinares (SILVA et al., 2005). A reunião de saberes em torno de problemas essenciais é um exemplo de como se pode mobilizar conhecimentos de forma transversal (SANTOS, 2008).

Buscou-se investigar o tema riscos e desastres na perspectiva interdisciplinar, com vistas à transdisciplinaridade, levando em consideração o viés metodológico, técnico e social de forma articulada. Para tal, foi proposta a análise de como é feita a comunicação de riscos e desastres pela Defesa Civil de Contagem e proposição de técnicas e métodos que possam fomentar a participação popular e o reconhecimento dos riscos no ambiente das comunidades. Foi desenvolvido um *web map* com informações de ocorrências e áreas de riscos de Contagem mapeadas pelo PMRR, além de proposições para fomentar a comunicação, migrando de unilateral, onde somente a Defesa Civil informa, para bilateral, onde há consulta, envolvimento, colaboração e fortalecimento das comunidades em relação aos riscos.

Destaca-se dentre os resultados, a proposição do *Web Map* Georiscos Contagem, com informações de áreas de risco e ocorrências, conforme ilustrado na Figura 4.3.

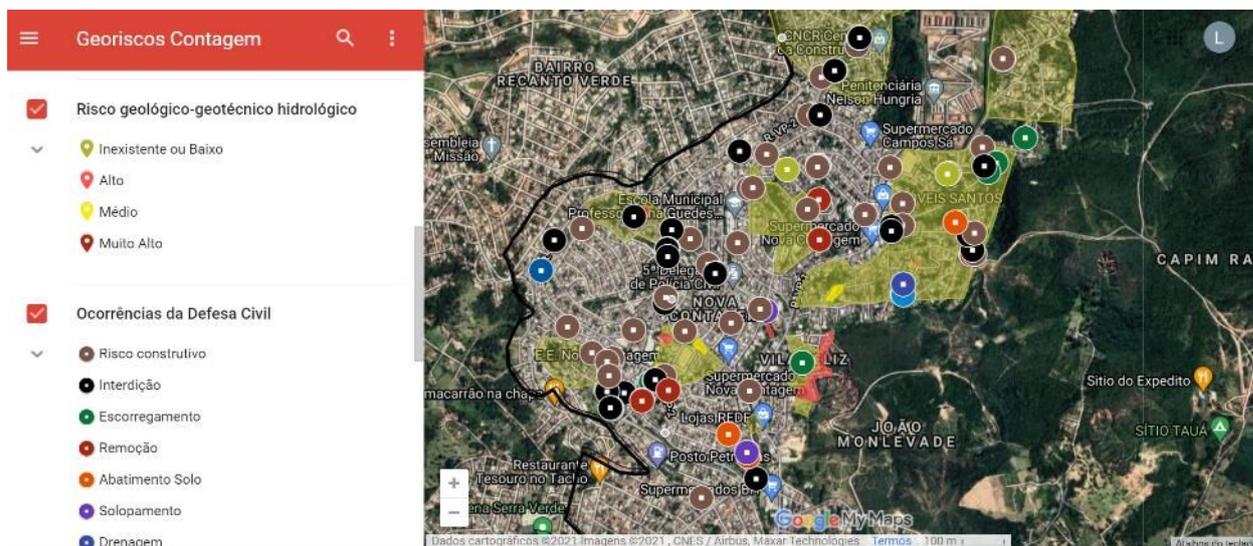


Figura 4.3- Tela do Georiscos Contagem, com indicação de áreas de risco e ocorrências em áreas da Regional Vargem das Flores

Para além de informar as comunidades, o Georiscos Contagem também se mostrou útil para a própria equipe de monitoramento das áreas de risco e para esta pesquisa, pois, facilitou o planejamento dos trabalhos de campo e visualização de áreas de risco. Para saber se uma determinada rua encontra-se em área de risco mapeada pelo PMRR, basta fazer uma procura, nos moldes de utilização do *Google Maps*, e pode-se visualizar as manchas de risco e ocorrências próximas. No período chuvoso de 2020/2021 o protótipo deste *web map* foi testado e divulgado para a comunidade e grupos de NUPDECs, principalmente para alerta a locais de inundação. Contudo, como todas as ferramentas de informação pública, requer atualização das informações e normativas próprias das instituições. Foi possível pela pesquisa, somente o protótipo com informações de ocorrências atualizadas segundo tabela de ROs de 2017 e pontos de inundação de 2020, além das áreas de risco segundo o PMRR (CONTAGEM, 2017). Portanto, o link não está mais disponível ao público, mas todas as informações de acesso foram passadas para a Defesa Civil de Contagem, para quando for da possibilidade desta instituição, retornar à atualização de dados e disponibilização pública, se pertinente.

Os resultados foram publicados em um artigo, apresentado no APÊNDICE F – Artigo 1: Comunicação em Geociências na gestão de riscos e desastres ambientais.

4.3. Análise comparativa dos resultados em Porto e Contagem

4.3.1. Pontuação comparativa de perigo

A determinação dos índices de perigo para os taludes do Porto e setores de risco em Contagem permite apresentar os gráficos com a pontuação máxima de perigo para cada área, demonstrando a contribuição de cada índice para a nota final, bem como permite a comparação de índices nos dois municípios, e análise de semelhanças e diferenças apresentadas em fatores que agravam o risco pela contribuição do perigo.

A Figura 4.4 apresenta a pontuação total de perigo para os taludes analisados em Porto e em Contagem, sendo as áreas de Contagem com nomes que iniciam com “A” e os taludes do Porto com iniciais “T”. A pontuação de cada índice está indicada nos gráficos de barras por uma legenda de cores, o que facilita a rápida visualização de índices críticos por setor e comparação de resultados. Também se indica por barras horizontais tracejadas a divisão de classes de perigo (P1, P2, P3, P4 e P5).

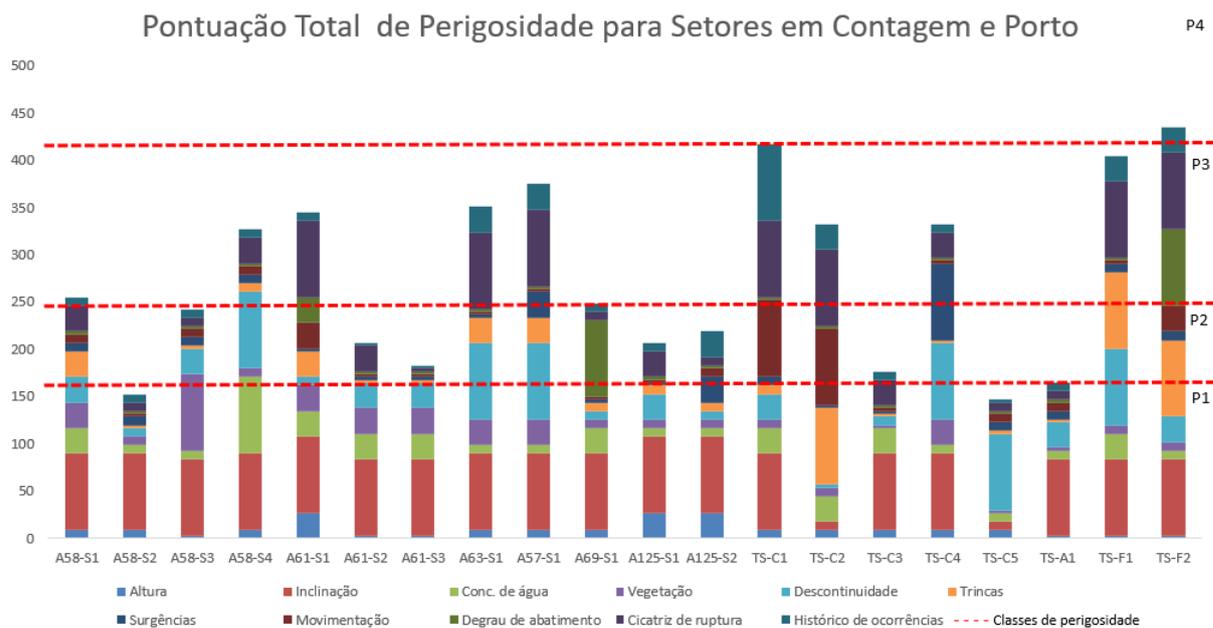


Figura 4.4- Gráfico com pontuação de perigo para taludes do Porto e setores em Contagem

Dentre os 12 setores avaliados em Contagem, 1 está na classe de perigo baixa, P1 (A58-S2); 6 na classe média-baixa, P2 (A58-S3, A61-S2, A61-S3, A69-S1, A125-S1, A125-S2); e 5 na classe de perigo média, P3 (A58-S1, A58-S4, A61-S1, A62-S1, A57-S1). Não há setores avaliados em Contagem com perigo P4 (médio-alto) ou P5 (elevado).

Já em Porto, dos 8 taludes analisados, 1 tem perigo P1 (TS-C5); 2 tem perigo P2 (TS-C3, TS-A1); 3 com perigo P3 (TS-C2, TS-C4, TS-F1); e 2 com perigo P4 (TS-C1, TS-F2). Não há taludes com perigo P5. Observa-se que o grau de perigo dos taludes do Porto é maior que de Contagem, sendo 25% dos taludes em P4 contra 0% em Contagem, além do Porto possuir mais taludes com perigo médio P3, que médio-baixo P2; situação que se inverte em Contagem.

Em relação aos índices de perigo, observa-se que a inclinação tem peso significativo na avaliação de perigo, tanto em Contagem quanto em Porto, tendo recebido pontuação máxima em todos os setores de Contagem; e em Porto, só não receberam nota máxima (81 pontos) o talude TS-C2, que se trata de colúvio-alúvio às margens do Rio Tinto com processos erosivos relevantes, e o TS-C5 que se trata de área de aterro e entulheiras ao norte de Campanhã. Já o índice altura, não teve papel significativo tanto em Contagem quanto em Porto, demonstrando a intensa urbanização dos municípios, com execução de cortes e aterros, vias e construções que diminuem a altura das encostas naturais com criação de bermas intermediárias e construções, reforçando a ideia que para a análise de risco no âmbito das defesas civis as escalas recomendáveis são locais, pois, taludes de pequena altura, nem sempre visualizados nas escalas

regionais e mapas de suscetibilidade, podem ter perigo elevado a ponto de causar danos a população, meio ambiente e socioeconomia.

O índice de concentração de água na encosta apresenta influência pequena a média (9 a 27 pontos, e por vezes 81 como na área A58-S4), tanto no Porto quanto Contagem, demonstrando a importância deste índice para as análises nos dois municípios. A cobertura vegetal apresenta maior relevância em Contagem que em Porto, devido aos processos erosivos expressivos nesse município (preponderância de notas 27, e uma 81). Mas não deixa de ser importante em Porto (preponderância de notas 9, uma nota 27, e quatro notas de 3 pontos).

O índice de descontinuidades e processos erosivos tem relevância tanto em Contagem quanto Porto. Já as trincas apresentam notas maiores em Porto (três notas 81), do que em Contagem (quatro notas 27). As surgências obtiveram notas baixas nos dois municípios, com destaque ao talude TS-C4 que recebeu 81 pontos neste índice, por estar em local onde há um córrego sotoposto. A movimentação nos taludes foi mais relevante no Porto, com duas notas máximas (81 pontos).

As cicatrizes de rupturas foram mais preponderantes no Porto (4 notas máximas), que em Contagem (3 notas máximas), mas significantes para os dois municípios, assim como o histórico de ocorrências.

4.3.2. *Pontuação comparativa de consequências*

A determinação dos índices de consequências para os taludes do Porto e setores de risco em Contagem permite apresentar os gráficos com a pontuação máxima de consequências para cada área, demonstrando a contribuição de cada índice para a nota final, bem como permite a comparação de índices nos dois municípios, e análise das semelhanças e diferenças apresentadas nos fatores que agravam o risco pela contribuição das consequências.

A Figura 4.5 apresenta a pontuação total de consequências para os taludes analisados em Porto e Contagem. A pontuação de cada índice está indicada nos gráficos de barras por uma legenda de cores, o que facilita a rápida visualização de índices críticos por setor e comparação de resultados. Também se indica por barras horizontais tracejadas a divisão das classes de consequências (C1, C2, C3, C4, C5)

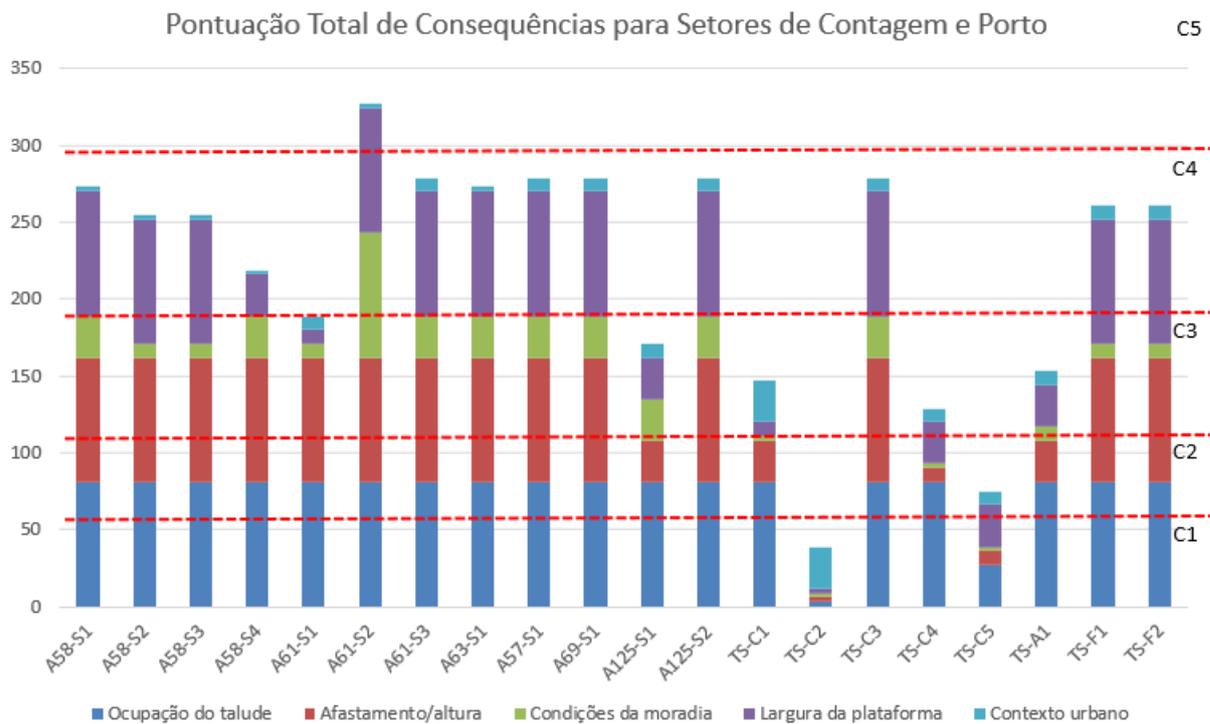


Figura 4.5- Gráfico com pontuação de consequências para taludes do Porto e setores em Contagem

Dentre os 12 setores avaliados em Contagem, para esta pesquisa, 2 estão com classe de consequências moderada, C3 (A61-S1, A125-S1); 9 na classe acentuada, C4 (A58-S1, A58-S2, A58-S3, A58-S4, A61-S3, A63-S1, A57-S1, A69-S1, A125-S2); e 1 na classe de consequências crítica, C5 (A61-S2). Não há setores avaliados em Contagem com consequências residuais, C1, ou reduzidas C2, o que expressa o elevado grau de danos para a saúde e segurança da população, dentro da amostra avaliada, caso os modos de falhas previstos se concretizem.

Já no Porto, dos 8 taludes analisados, 1 tem classe de consequências residual, C1 (TS-C2); 1 tem consequências C2 (TS-C5); 3 têm classe C3 (TS-C1, TS-C4 e TS-A1); 3 têm classe C4 (TS-C3, TS-F1 e TS-F2). Não há taludes com classe de consequências crítica, C5. Observa-se que o grau de consequências dos setores de risco de Contagem é mais elevado que em Porto, sendo que em Contagem, 75% dos setores encontram-se com grau de consequências acentuada (C4) caso o modo de falha se concretize, e há pelo menos 1 talude em nível C5. E no Porto, apenas 37,5% dos taludes encontram-se em C4, e sem ocorrência de taludes na classe de consequências C5.

Em relação aos índices de consequências, observa-se que a ocupação do talude obteve nota máxima (81 pontos) para 100% dos casos em Contagem e 75% dos casos no Porto, tendo relevância nos dois municípios, por se tratar majoritariamente de áreas habitacionais. O índice relativo ao afastamento da moradia em relação à altura do talude e largura da plataforma de

retenção do material rompido antes de atingir a moradia são os dois índices mais impactantes após a ocupação, sendo que em Contagem, 75% dos setores obtiveram nota máxima (81 pontos) nesses índices; e no Porto, 37,5% dos taludes analisados.

As condições das moradias obtiveram notas maiores em Contagem que no Porto, devido à vulnerabilidade estrutural das construções. Já o índice relativo ao contexto urbano obteve maiores notas no Porto, pois há condicionantes arqueológicos, naturais, e de patrimônio arquitetônico em maior quantidade que os observados em Contagem, pois nesse município as áreas monitoradas são de interesse social (vilas e favelas).

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Aplicabilidade do método

A metodologia *FMEA*, conforme apresentada na ABNT NBR ISO/IEC 31010 (2012), não requer de modo específico o desenvolvimento das fichas semiquantitativas para perigo e consequência, pois aceita a determinação qualitativa dessas variáveis para consolidação na tabela e matriz de risco. Contudo, as fichas que consideram pontuações dos índices de acordo com sua relevância, possibilitam a análise dos riscos dos taludes de forma mais objetiva, a realização dos trabalhos de campo com menores discrepâncias entre avaliadores, bem como torna o método reproduzível com maior facilidade.

A realização de análises de estabilidade para embasar a definição dos índices de altura e inclinação dos taludes na ficha de perigo mostrou-se uma ferramenta importante para calibração do método para a escala local, o que está em alinhamento com diretrizes internacionais como UNDRR (2019), que preconiza a importância de identificar mecanismos de ruptura típicos para o local, parâmetros geotécnicos respectivos, e utilizar ferramenta computacional de análise de estabilidade por equilíbrio limite para se obter Fatores de Segurança (FS) e sua relação com o risco de escorregamentos.

A visualização dos índices de perigo e consequências em forma de gráficos auxilia na identificação de qual índice é crítico para cada talude, e colabora na definição de ações preventivas, mitigatórias e corretivas mais adequadas para diminuição desses índices, bem como favorece a visualização de cenários futuros críticos e simulação de gatilhos para a ruptura, o que possibilita planejar ações preventivas no âmbito da Proteção Civil, de forma a evitar danos à segurança da população, meio ambiente e socioeconomia. É o caso do talude TS-C1, onde escorregamentos de menor magnitude que já ocorrem na base, podem desencadear escorregamentos de média magnitude, os quais hipoteticamente podem impactar na via pública, localizada na crista. Os índices de riscos desta condição futura hipotética podem ser diminuídos com ações preventivas. Assim como a compreensão dos processos erosivos nos setores de risco em Contagem, e demais índices de riscos, os quais contribuem e potencializam os escorregamentos de solo futuros, permite prever ações para se evitar ou reduzir a formação de novas áreas de riscos, por meio da consideração de aspectos geotécnicos na urbanização de áreas, que hoje encontram-se desocupadas.

A aplicação da metodologia *FMEA* para a gestão de riscos de escorregamentos de solo no âmbito da Proteção Civil do Porto e da Defesa Civil de Contagem se mostrou viável, pois, a

consolidação dos dados em forma de tabela, bem como a apresentação dos taludes em matriz de risco, facilita a visualização da criticidade e possibilita o debate dos riscos em equipe de forma prática e com discussão dos aspectos de perigo e consequências.

Ainda no viés metodológico da pesquisa, foi observado, principalmente em Contagem, o desafio de aplicação de metodologias nacionais e internacionais no âmbito municipal por falta de definição de critérios objetivos adaptados para a escala local. Então, foram desenvolvidos procedimentos operacionais padrão (POPs), os quais são aplicáveis às equipes que estão na linha de frente da prevenção, mitigação e erradicação dos riscos.

Portanto, os resultados, principalmente no que se refere à aplicabilidade da ficha de campo e da metodologia matricial de análise de risco e utilização do *FMEA*, confirmam a hipótese central da tese, de que é possível aplicar as metodologias internacionais e nacionais no âmbito das defesas civis municipais, contudo, realizando detalhamentos, procedimentos operacionais e adaptações para a escala local. Inclusive, a metodologia foi testada em municípios de países diferentes e se mostrou aplicável.

5.2. Estratégia local para objetivos globais

Para seguir o objetivo global e nacional de se ter defesas civis cada vez mais atuantes na prevenção é fundamental o estabelecimento de estratégias locais, como a estruturação de equipes com profissionais de carreira no serviço público e especialistas. Observou-se que a rotatividade dos profissionais, especificamente em Contagem, MG, dificultou o andamento da pesquisa e as próprias ações da instituição entre trocas de comandos, pois, necessitam um tempo para o enquadramento e atualização dos processos. Outro ponto de alerta é a perda de experiência acumulada e conhecimento das áreas, com as trocas de equipes. Sobretudo, a rotatividade é um desafio a mais para os próprios profissionais de Defesa Civil, que apesar da imensa dedicação ao trabalho e cumprimento dos deveres, precisam se desdobrar quando ocorrem essas mudanças na equipe.

A comunicação de riscos e participação popular nas decisões relativas à Proteção e Defesa Civil é uma importante estratégia para se diminuir os riscos, pois atuam na redução dos índices de consequências, mesmo quando não é possível reduzir o perigo a curto prazo. A utilização do *web map* Georiscos Contagem no período chuvoso de 2020/2021 mostrou-se adequada e com bons resultados. Desta forma, trata-se de uma estratégia a ser considerada prioritária.

Riscos não é um tema que se trata de forma individual, nem com a ideia que é possível controlar todas as variáveis, mas sim, buscando abordagens tanto objetivas quanto possível, trabalho em equipe multidisciplinar com respeito aos saberes de cada área, das comunidades, e demais envolvidos. Também são importantes para a gestão de riscos, as discussões compartilhadas para as tomadas de decisão, comunicação adequada, escuta e melhoria contínua, para que haja cada vez menos riscos nas vilas, favelas, e cidades em geral.

6. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Para pesquisas futuras, as análises de risco podem ser realizadas com informações quantitativas dos fatores de segurança dos taludes. Em um primeiro momento, a partir de análises de sensibilidade de fatores de segurança para taludes típicos, com seções geológicas e parâmetros geotécnicos estimados ou obtidos em ensaios, como realizado nesta pesquisa em nível conceitual. Em um segundo momento de investimentos, pode-se aperfeiçoar esta técnica e obter as superfícies do terreno a partir de mapeamento com drone, e com essa base, realizar análises de estabilidade 3D.

Ensaio de caracterização, resistência ao cisalhamento e permeabilidade são aconselháveis para a criação de banco de dados que possibilite gerar cartas geotécnicas embasadas em parâmetros quantitativos dos materiais geotécnicos. A necessidade de ensaios já está atendida para Porto, conforme demonstra a Carta Geotécnica realizada a partir de vasto banco de dados, mas permanece uma demanda importante para o município de Contagem.

Tanto quanto possível, buscar a coerência metodológica em relação às análises de perigo e risco em escala local, com a metodologia para geração de mapas a partir de geoprocessamento, em escala regional. As cartas de aptidão à urbanização representam uma importante ferramenta de planejamento urbano para evitar a exposição ao perigo, tornando a população vulnerável. Um dos desafios para a sua elaboração, conforme exposto por UNDRR (2019), é que não se pode sempre usar o passado para prever o futuro pois as mudanças são imprevisíveis e cada vez mais comuns. Esse é o desafio de migrar de avaliação de perigos convencionais para interações dinâmicas e riscos sistêmicos. O monitoramento das áreas de risco, a verificação do aumento de ocorrências ou aparecimento de novos processos, e a interação da geotecnia com os planos diretores municipais são tópicos importantes para a previsão de cenários futuros e geração de cartas de aptidão à urbanização mais assertivas na prevenção de riscos.

Faz-se um alerta em relação a urbanização da Regional Vargem das Flores em Contagem, pois, avaliando os processos erosivos já instalados e a influência da antropização do meio na aceleração desta dinâmica superficial, o cenário futuro de urbanização mostra-se comprometido por aumento significativo dos riscos de escorregamentos, acelerados por processos erosivos.

A caracterização geotécnica da voçoroca Vila Feliz, análise de imagens de satélite e geração de mapas temáticos dessa voçoroca e toda regional Vargem das Flores, podem vir a confirmar um material com elevada suscetibilidade a erosão, sendo capaz de dar origem a ravinas de grande magnitude e voçorocas em intervalo de poucos anos, quando da abertura de

vias sem instalação imediata de sistemas de drenagem pluvial e outras soluções de bioengenharia e infraestrutura Verde. Foram observados locais com o horizonte A e parte do B decapitados por percolação superficial de água, o que expõe o horizonte C mais arenoso a processos erosivos e escorregamentos. Portanto, além dos cortes que podem expor o horizonte C, a percolação superficial e decapitação dos horizontes superficiais podem acelerar esta exposição, com consequente aumento de escorregamentos. Sugere-se pesquisas para verificar essa hipótese e a submissão de projetos de lei municipais, similares aos propostos por SANTOS (2017) para casos gerais, com restrições à urbanização da regional Vargem das Flores, como por exemplo a implantação imediata de instalação de drenagem pluvial quando da abertura de vias, incentivo à utilização de canaletas drenantes, valetas drenantes, calçadas permeáveis e demais soluções baseadas na natureza, propostas por exemplo por IPT et al. (2020). Tem-se no presente, a possibilidade de mudar o cenário futuro da região em relação aos riscos geotécnicos.

Soluções sustentáveis de mitigação e prevenção envolvendo a comunidade, e que possam também trazer benefícios econômicos, são recomendáveis, como aliar projetos científicos e de extensão universitária. Uma sugestão para pesquisa em Contagem é avaliar espécies vegetais para plantio que possam colaborar no controle de erosões em voçorocas e avaliar sua eficácia ao longo do tempo. Ações não estruturantes e sociais podem ser atreladas a esta pesquisa, como criação de hortas comunitárias em taludes e áreas degradadas e recuperadas, por meio de cooperativas de moradores.

Em Porto, foram observados indivíduos arbóreos de médio e grande porte que hipoteticamente estariam a colaborar com a estabilidade local dos taludes. Em contrapartida, também se verificou a ação de raízes causando danos ao talude, ou mesmo árvores localizadas em cristas com risco de queda em elementos expostos. Enfim, um tema a ser investigado por meio de métodos científicos, a fim de mensurar qual a contribuição das árvores para a segurança do talude, positiva ou negativa, e qual método pode ser aplicado em análises de estabilidade que considerem a vegetação arbórea. Já existe um inventário de árvores apresentado no PDM (PORTO, 2020) que oferece indicações das espécies a serem analisadas inicialmente. Sugere-se como pesquisa futura multidisciplinar, com pesquisadores da área da biologia ou afins, uma caracterização das raízes de árvores típicas do Porto. Estudos semelhantes são apresentados em YEN (1987) e CROW (2005) para outras áreas de estudo. Já estudos e técnicas com o enfoque geotécnico para os taludes com árvores podem ser encontrados em FIORI (2016), MENDANHA (2019) e LI et al. (2021).

Em relação às fichas de campo propostas para análise de perigo e consequências, após catalogar uma maior quantidade de taludes e ocorrências de risco com esta metodologia, pode-se realizar análises estatísticas dos resultados e propor ajustes nas fichas de campo, buscando o aprimoramento das mesmas. Bem como é possível propor equações para cálculo dos índices de risco, pois, como foi adotada a progressão geométrica para as opções das pontuações, e buscou-se adotar intervalos iguais (ou próximos) entre opções de valores dos índices, pode-se realizar a regressão exponencial por parâmetro e obter uma equação para cálculo da pontuação de forma contínua, por exemplo, como ilustrado na Figura 6.1.

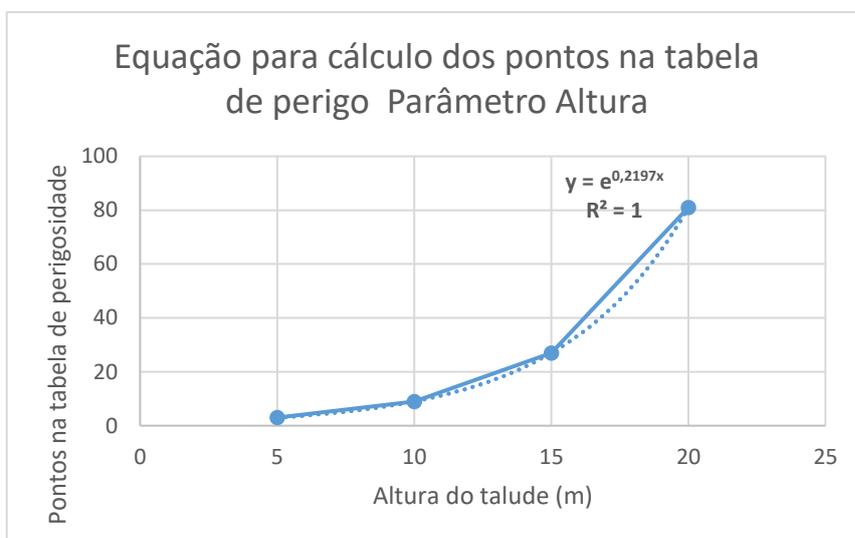


Figura 6.1- Equação para cálculo dos pontos na tabela de perigo – Parâmetro Altura

Como exemplo, se a altura medida de um talude fosse 6 m, não seria necessário optar na ficha de campo pela pontuação de 9 pontos, correspondente a 10 m, a favor da segurança. Mas, utilizando-se a equação, o valor encontrado seria 3,7 pontos. Contudo, recomenda-se as soluções numéricas somente após um vasto banco de dados de taludes analisados com a metodologia, e sem perder a análise qualitativa dos resultados.

Outra proposta viável para pesquisas futuras é adotar, em conjunto com o método *FMEA*, a metodologia *FMECA*, que avalia o risco considerando a terceira variável que é a detecção, que pode ser adaptada como o inverso da gestão de riscos ($R=P \times C \times g^{-1}$). Desta forma, seria possível apresentar os resultados em uma matriz tridimensional e visualizar, além do perigo e consequências, a eficácia da gestão e os taludes que já foram contemplados com ações estruturantes e não estruturantes. Também se pode atribuir valores numéricos para o grau de perigo, consequências e gestão, multiplica-los, e obter como resultado o *RPN – Risk Priority Number*, para a hierarquização numérica dos riscos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABGE. Macedo, Eduardo Soares de & Bressani, Luiz Antônio. **Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento e uso do solo.** Tradução de *Guidelines for landslide Susceptibility hazard and risk zoning land use planning*. JTC-1 (ISSMGE, IAEG e ISRM). 1ª Edição. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2013.

ABGE. Oliveira, Antonio Manoel dos Santos & De Brito, Sergio Nertan Alves (editores). **Geologia de Engenharia.** *Perfis pré e pós corrida de massa de Contagem (MG) - DAM Projetos de Engenharia, 1992.* 1ª Edição. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1998.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 31000:2018. **Gestão de Riscos - Diretrizes.** 2ª. ed. Rio de Janeiro, 2018. 17 p. ISBN 978-85-07-07470-0.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012. **Gestão de risco - Técnicas para o processo de avaliação risco.** 1ª. ed. Rio de Janeiro, 2012. 96 p. ISBN 978-85-07-03360-8.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT ISO GUIA 73:2009. **Gestão de riscos – Vocabulário.** 1. ed. Rio de Janeiro, 2009. 12 p. ISBN 978-85-07-01840-7.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11682:2009. **Estabilidade de encostas.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2009. 33 p. ISBN 978-85-07-01702-8

IAEG. **Com. On Eng. Geol. Mapp. Rock and Soil Description and Classification for Engineering Geological Mapping.** Bull. IAEG nº 24, pp 235-274, 1981.

ALMEIDA FILHO, G. Uso das terminologias de processos erosivos lineares dos tipos ravina e voçoroca. **Revista Geonorte**, 5(23), 693 – 699 .2014. Recuperado de <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1790>.

ANEPC. **Avaliação Nacional do Risco.** 2019. Disponível em: <http://www.prociv.pt/bk/RISCOSPREV/AVALIACAONACIONALRISCO/PublishingImages/Paginas/default/ANR2019-vers%C3%A3ofinal.pdf>. Acesso em nov/2021:

ANPC - AUTORIDADE NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL. **Guia para a Caracterização de Risco no Âmbito da Elaboração de Planos de Emergência de Proteção Civil.** Cadernos Técnicos PROCIV 9, Lisboa, 2009.

ANPC - AUTORIDADE NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL. Juliao, Rui & Nery, Fernanda & Ribeiro, J.L. & Branco, M. & Zêzere, José. **Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal,** Lisboa, 2009b. ISBN 978-989-96121-4-3.

ASTM D 2487. **Classification of soil for engineering purpose.** Norma D2487-66, 1966.

ASTM D 2487. **Classification of soil for engineering purpose.** Norma D2487-98, 1998.

ASTM D 3282. **Classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes.** Norma D3282-93, 1993.

ATZMANSTORFER, K. & BLASCHKE, T. 2013. The Geospatial Web: A Tool to Support the Empowerment of Citizens through E-Participation? In: NUNEZ, C. (ed). **Citizen E-Participation in Urban Governance: Crowdsourcing and Collaborative Creativity.** Hershey, PA: IGI Global, 2013, p. 144-171. DOI: [10.4018 / 978-1-4666-4169-3.ch009](https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4169-3.ch009).

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1a COBRAE, Rio de Janeiro. **Anais**, II: 721 – 733, 1992.

BARBOSA, G. V.; RODRIGUES, D. M. S. **Quadrilátero Ferrífero.** Belo Horizonte: UFMG, IGC, 1967, 130 p.

BATISTA DA SILVA, Í. & DE OLIVEIRA TAVARES, O. A. **Uma pedagogia multidisciplinar, interdisciplinar ou transdisciplinar para o ensino/aprendizagem da física.** HOLOS [en linea]. 2005, 4-12[fecha de Consulta 10 de Agosto de 2020]. ISSN: 1518-1634. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481549263001>. Acesso em agosto/2020.

BIDU. **Boletim de informações e dados urbanos – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de Contagem, Minas Gerais.** Disponível em: http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/downloads/bidu_6.1.pdf. Acesso em: 25 out. 2021.

BOBROWSKY, P.; CRONIN, V.S.; DI CAPUA, G.; KIEFFER, S.W. & PEPOLONI, S. **The Emerging Field of Geoethics.** In: GUNDERSEN, L.C. (ed.). Scientific Integrity and Ethics

with Applications to the Geosciences, Special Publication American Geophysical Union, John Wiley and Sons, 2017. Inc. DOI: 10.1002/9781119067825.ch11.

BORGES, A. R. C. **Cartografia de Risco de Taludes no âmbito dos Planos de Emergência e Proteção Civil do Município do Porto**. 2017. 144 p. Dissertação (Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) — FCUP, Porto, 2017.

BOSI, C., PEPPOLONI, S., PIACENTE, S. **Philosophical and epistemological debate in Italy within an ethical perspective of Earth Sciences**. Proceedings of the International Geological Congress, 33, Oslo, 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Gestão e mapeamento de riscos socioambientais. Curso de capacitação**. Brasília: Ministério das Cidades; Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

BRASIL. **Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 10 abr. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Prevenção e Preparação. **Módulo de formação: noções básicas em proteção e defesa civil e em gestão de riscos: livro base** / Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Minimização de Desastres. - Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017.

BUDETTA, P. **Assessment of rockfall risk along roads**. Natural Hazard and Earth System Sciences 4: 71-81, 2004.

BUREAU OF RECLAMATION. **Earth Manual Part I. Earth Sciences and Research Laboratory: Geotechnical Research**. Technical Service Center, Denver, Colorado, 1998. 329 p.

CAMPOS, L. C. **Proposta de reanálise do risco geológico - geotécnico de escorregamentos em Belo Horizonte - Minas Gerais**. 2011. 139p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e

Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CARVALHO, E. T. DE. **Geologia urbana para todos: uma visão de Belo Horizonte**. 176 p. Geotechnical Research. Technical Service Center, Denver, Colorado, 1999. 329 p.

CERRI, L. E. da S. **Subsídios para a seleção de alternativas de medidas de prevenção de acidentes geológicos**. 2001. 79 p. Tese (Geologia Ambiental, do Departamento de Geologia Aplicada, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, do Câmpus de Rio Claro - SP) - UNESP.

CONTAGEM. **Atlas de Contagem**. 2009. Disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/comunicacao/atlascontagem.pdf>. Acesso em: julho/2020.

CONTAGEM. **Câmara Municipal de Contagem - Lei nº 4623, de 15 de outubro de 2013**. Disponível em: http://www.contagem.mg.gov.br/exibicao/legislacao_leitura_livre.php?legislacao=289828. Acesso em: agosto/2021.

CONTAGEM. **Plano Diretor de Contagem - Lei Complementar Nº 248**, 2018. Disponível em: <http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/legislacao/lec002482017-20180112090505.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2021.

CONTAGEM. **Plano Diretor de Contagem - Anexos: Mapa de Macrozoneamento e outros**, 2018b. Disponível em: http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/legislacao/lec002482017_anexos-20180112090505.pdf. Acesso em: 2 nov. 2021.

CONTAGEM. **Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR, CONTAGEM, MG - 2a Etapa: Elaboração do Mapeamento das áreas de risco geológico**. Fundação Israel Pinheiro – FIP, Governo do Estado de Minas Gerais, Ministério das Cidades, 2017. 598 p. Disponível em: <https://www.israelpinheiro.org.br/documentos>. Acesso em 18 dez. 2021.

CORROCHANO, A.; REIS, R. P. & ARMENTEROS, I. **Um paleocarso no Cretácico do Sítio da Nazaré (Bacia Lusitânica, Portugal central)**. Características, controlos e evolução. V Congresso Nacional de Geologia, Lisboa. Comunicações do IGM. Tomo 84 (2) 1998, p. 33-38.

COUTINHO, R. Q. & SILVA, M.M. **Conferência: Classificação e mecanismos de movimentos de massa**. IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Escola Politécnica da UFBA, Salvador – BA. Vol. Pós-congresso (no prelo), 2006.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e inundação**. 2012. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos-4138.html>. Acesso em Abril de 2017.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa**. Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais - PROJETO GIDES. Acordo de Cooperação Internacional Brasil - Japão. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.jica.go.jp/brazil/portuguese/office/publications/c8h0vm000001w9k8-att/volume1.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2020.

CROW, P. **The Influence of Soils and Species on Tree Root Depth**. 231 Corstorphine Road, Edinburgh, EH12 7AT. Forestry Commission Archive, 2005.

DEERE, D.U., DEERE, D.W., 1988. The RQD index practice. Proc. Symp. Rock Classif. Eng. Purp., ASTM, Special Technical Publication 984, 1988. pp. 91-101.

DEERE, D.U. Technical description of rock cores for engineering purposes. **Rock mechanics and Engineering Geology**, Vol. 1, Nº.1, 17-22, 1964.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (Atual ANM). **Portaria nº 70.389**, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/documentos/portaria-dnpm-n-70389-de-17-de-maio-de-2017-seguranca-de-barragens/view>. Acesso em 25nov2021.

DRUGUET, E.; PASSCHIER, C.W.; PENNACCHIONI, G. & CARRERAS, J. **Geoethical education: A critical issue for geoconservation**. Episodes, 36(1): 11-18, 2013. DOI: 10.18814/epiiugs/2013/v36i1/003.

ESPÓSITO, T. & PALMIER. L. 2013. Application of Risks Analysis Methods on Tailings Dams. **Soils & Rocks** 36: 97-117, 2013.

- FIORI, A. P. & CARMIGNANI, L. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2009.
- FIORI, A. P. **Estabilidade de taludes - exercícios práticos**. São Paulo, Oficina de Textos, 2016.
- FONSECA, M. N. E. **Avaliação de um acidente de uma barragem de rejeitos utilizando FMEA, evento de mineração no Brasil**. 2018. 79p. Dissertação (Mestrado - Engenharia Industrial) Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2018.
- GAO, H.; WANG, X., BARBIER, G., LIU, H. **Promoting Coordination for Disaster Relief: From Crowdsourcing to Coordination**. In: Social Computing, Behavioral-Cultural Modeling and Prediction - 4th International Conference, SBP 2011, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science. College Park, MD, USA, 2011, p. 197-204. DOI: 10.1007/978-3-642-19656-0_29.
- GOMES, G. J. C. **Avaliação do perigo relacionado à queda de blocos em rodovias**. 2009. 138 p. Dissertação (Mestrado) Pós-graduação em Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Russel, 1994. 458 p.
- GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. (1999). **Processos erosivos no Domínio do Cerrado**. In: Erosão e conservação dos solos. Editora Bertrand Brasil. 1º edição. Rio de Janeiro, 1999.
- HAKLAY, M. **Citizen Science and Volunteered Geographic Information – overview and typology of participation**. In: SUI, D.Z; ELWOOD, S. & GOODCHILD, M.F. (eds.). Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice. Berlin: Springer, 2013, p. 105-122. DOI: 10.1007/978-94-007-4587-2_7.
- HARRISON, S. & JOHNSON, P. 2016. **Crowdsourcing the Disaster Management Cycle**. International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management (IJISCRAM), 8(4), 17-40, 2016. DOI: 10.4018/IJISCRAM.2016100102.
- HUGGET, R. J. **Soil Landscape Systems: A model of soil genesis**. Geoderma, v.13, 1975. p. 1-22.
- HENNIG, S. & VOGLER, R. 2011. **Participatory Tool Development for Participatory Spatial Planning: The GEOKOM-PEP environment**. In: Jekel, T.; Koller, A. & Vogler, R.

(eds.). Learning with GI 2011: Implementing digital earth in education. Berlin, Offenbach: Wichmann, 2011, p. 79-88.

HOWE, J. **The Rise of Crowdsourcing**. *Wired Magazine*, 14-06, 2006. Disponível em: <<http://www.wired.com/wired/archive/14.06/crowds.html>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

IAP2 - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PUBLIC PARTICIPATION. **Spectrum of Public Participation**. 2007. Disponível em: <https://cdn.ymaws.com/www.iap2.org/resource/resmgr/pillars/Spectrum_8.5x11_Print.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=311860>. Acesso em: 24 abr. 2017.

IEC - INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60812:2018. **Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)**. European Standard, British Standard. CENELEC – Brussels, 2018. 77 p. ISBN 978-0-580-87537-3.

IMESON A.C.; KWAAD F.J.P.M. 1980. **Gully types and gully prediction**. Rome (Italy). [Corporate Author] Amsterdam Univ. (Netherlands). Fysisch Geografisch en Bodemkundig Lab. 1980.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 05 jul 2020.

IPT et al. **Carta de Susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: Município de Contagem - MG**. 2015. Disponível em: <HTTP://RIGEO:CPRM:GOV:BR/XMLUI/HANDLE/DOC/14926>. Acesso em: agosto/2020.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNÓLOGICAS. **Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde**. São Paulo, 2020.

KINGSTON, R. The Role of E-government and Public Participation in the Planning Process. In: **XVI AESOP CONGRESS**. July 10th - 14th, 2002. Volos, Greece.

KIRSCHENBAUM, A.; RAPAPORT, C. & CANETTI, D. **The impact of information sources on earthquake preparedness**, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21: 99–109, 2017. DOI: 10.1016/j.ijdr.2016.10.018.

LAFAYETTE, Kalinny Patrícia Vaz. **Estudo geológico-geotécnico do processo erosivo em encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti – Cabo de Santo Agostinho/PE**. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Dpto de Engenharia Civil, 2006. 358f.

LAI CG, BOZZONI F, MEISINA C, CONCA D, FAMA A, OZCEBE AG, ZUCCOLO E, BONI R, POGGI V, COSENTINI RM, VIANA DA FONSECA A., FERREIRA C, COELHO C, COELHO J, QUINTERO J, RIOS S, MILLEN M, CORDEIRO D, OZTOPRAK S, BOZBEY I, OSER C, SARGIN S, AYSAL N, OZCEP F, KELESOGLU MK, MACEK M, OBLAK A, PETROVIC D, KOSIC M, SMOLAR J, KUDER S, LOGAR J. **Methodology for assessment of earthquake-induced risk of soil liquefaction at the four European testing sites (microzonation)**. 2019. Deliverable D2.7. V 1.0. Project Liquefact, H2020-DRA-2015, GA no. 700748. Disponível em: http://www.liquefact.eu/wp-content/uploads/2020/03/D2.7_ter.pdf. Acesso em: 26 nov.2021.

LI, YP., HU, C., JIAN, L. **Evaluation of the stability of vegetated slopes according to layout and temporal changes**. J. Mt. Sci. 18, 275–290, 2021.

LIVERMAN, D.G.E. Environmental geoscience; communication challenges. In: Liverman, D.; Pereira, C.P. & Marker, B. (eds.). **Communicating environmental geoscience**. Geological Society, London, Special Publications, 305(1): 197–209, 2008. DOI: 10.1144/SP305.17.

MATOS, D.S.B.M. 2011. **Gestão de Riscos em Crowdsourcing**. 2011. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Sistemas de Informação). Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Sistemas de Informação, Universidade do Minho, Braga, 2011.

MENDANHA, F. O. **Avaliação geotécnica da influência da vegetação arbórea na estabilidade de taludes de pilhas de estéril**. Tese (Doutorado). Programa de Geotecnia. Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

MIL-STD-1629A. **Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Critically Analysis**. Military Standard Procedures, 24 November, 1980. Substitui a versão MIL-STD-1629 (SHIPS), November, 1974 e MIL-STD-2070 (AS), June, 1977.

MILOVANOVIC, D. **Interactive Planning - Use of the ICT as a Support for Public Participation in Planning Urban Development: Serbia and Montenegro Cases**. In: 39th ISoCaPR CONGRESS, 2003.

- MOORES, E.M. **Geology and culture: a call for action**. GSA Today, 7(1): 7-11, 1997.
- MOURA, A.C.M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano** / Ana Clara Mourão Moura. – 3ª ed. – Rio de Janeiro: Interciência, 312p., 2014.
- NOAA. **Risk communication and behavior: Best practices and research findings**. Silver Spring, MD: NOAA Social Science Committee, 2016.
- NOGUEIRA, F. R. **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal**. 2002. 260p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.
- NOVICK, L.F.; MORROW, C.B. & MAYS, G.P. **Public Health Administration: Principles for Population-Based Management**. Burlington, MA, Jones & Bartlett Learning, 2013, 714p.
- OLIVEIRA, M. A. T. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas**. In: Antônio José Teixeira Guerra; Antônio Soares da Silva; Rosangela Garrido Machado Botelho. (Org.). Erosão e Conservação dos Solos - Conceitos, Temas e Aplicações. 1 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 56-99.
- ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015 - 2030**. Genebra: UNISDR. Disponível em: <https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2018.
- PARIZZI, M. G. **Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da região metropolitana de Belo Horizonte, MG**. Contribuições às Ciências da Terra. 2004. 211p. Tese (Doutorado em Geociências, concentração em Geodinâmica Ambiental e Conservação de Recursos Naturais) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.
- PARIZZI, M. G.; MOURA, A. C. M.; MEMÓRIA, E. & MAGALHÃES, D. M. **Mapa de unidades geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte**. 2010. RMBH. 21 p. In: Programa Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH: Relatório de Geoprocessamento.
- PECK, R.B.; HANSON, W.E.; THORNBURN, R.H. **Foundation Engineering**. 2 Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1974.
- PEPPOLONI, S. **Social aspects of the Earth sciences**. Interview with Prof. Franco Ferrarotti. In: Annals of Geophysics, 55: 347-348, 2012. DOI: [10.4401/ag-5632](https://doi.org/10.4401/ag-5632).

PEPPOLONI, S. & DI CAPUA, G. 2012. **Geoethics and geological culture: awareness, responsibility and challenges**. *Annals of Geophysics*, 55(3): 335-341. DOI: 10.4401/ag-6099.

PEPPOLONI, S.; BILHAM, N. & DI CAPUA, G. 2019. **Contemporary Geoethics Within the Geosciences**. In: BOHLE, M. (Eds.). *Exploring Geoethics*: Palgrave Pivot, p. 25-70. DOI: 10.1007/978-3-030-12010-8_2.

PETRONILHO, M. R. **Avaliação do comportamento geotécnico de pilhas de estéril por meio de análise de risco**. 2010. 137p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

PEPPOLONI, S. & DI CAPUA, G. **Geoethics and geological culture: awareness, responsibility and challenges**. *Annals of Geophysics*, 55(3): 335-341, 2012. DOI: 10.4401/ag-6099.

PIERSON, L., Davis, S., Van Vickle, R. **Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual**. Federal Highway Administration (FHWA) Report FHWA-OR— EG-90-01. FHWA, U.S. Department of Transportation, 1990.

PIERSON, L., Van Vickle, R. **Rockfall Hazard Rating System-participants' manual**. Federal Highway Administration Publication No. FHWA-SA-93-057, Washington, DC, 1993.

PIRES, M.F.C. **Multidisciplinaridade, Interdisciplinaridade e Transdisciplinaridade no Ensino. Interface – Comunic, Saúde, Educ 2**. 1998. Disponível em: <https://www.scielo.org/pdf/icse/1998.v2n2/173-182/pt>. Acesso em: julho/2020.

PORTO, 2003. Câmara Municipal do Porto. **Carta Geotécnica do Porto. Notícia Explicativa**.

PORTO, 2018. Câmara Municipal do Porto. **Plano Diretor Municipal da Cidade de Porto. Caracterização Biofísica. Relatório de Caracterização e Diagnóstico da 2ª revisão do Plano Municipal Diretor do Porto, Portugal**. SANTOS, M. & BATEIRA, C. CMP, DMU, DMPU, DMPOT, CEGOT - Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. 2018. Disponível em: <https://www.cm-porto.pt/como-participar/como-participar>. Acesso em 11 ago. 2020.

PORTO, 2018b. Câmara Municipal do Porto. **Plano Diretor Municipal da Cidade de Porto. Pessoas e Atividades**. 2018. Disponível em: <https://pdm.cm-porto.pt/documentacao/>. Acesso em 12 abr. 2021.

PORTO, 2020. Câmara Municipal do Porto. **Plano Diretor Municipal da Cidade de Porto. Mapa Interativo**. 2020. Disponível em: <https://geopdm.cm-porto.pt/>. Acesso em 11 dez. 2020.

PORTO, 2020b. Câmara Municipal do Porto. **Plano Diretor Municipal da Cidade de Porto. Avaliação Ambiental Estratégica da Revisão do Plano Diretor Municipal do Porto. Relatório Ambiental**. Consulta pública. 2020. Disponível em: <https://pdm.cm-porto.pt/documentacao/>. Acesso em 12 abr. 2021.

PORTUGAL, 2006. **Lei de Base da Proteção Civil. Lei n.º 27/2006, de 3 de julho** (Alterada pela Lei Orgânica n.º 1/2011, de 30 de novembro e pela Lei n.º 80/2015, de 3 de agosto, que republica o diploma). Disponível em: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/537862/details/maximized>. Acesso em: 13 dez. 2020.

PRATT, D.; SANTI, P. **A Landslide Hazard Rating System for Colorado Highways**. Proceedings of the 2014 Rocky Mountain Geo-Conference, November 7, 2014, Lakewood, Colorado.

RAMALHO, M.; MACHADO, S.; ALVES, P.; FERREIRA, N.; MATOS, J.; PATINHA, P. Geoportal Energia e Geologia. **Afloramento da arriba norte do sítio de Nazaré**. Disponível em: <https://geoportal.lneg.pt/pt/bds/geossitios/#!/69>. Acesso em fevereiro/2021.

REIS JÚNIOR, W. dos. **Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais**. 2016. 163 p. Dissertação (mestrado em geociências) Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

RICCARDI, M.T. **The power of crowdsourcing in disaster response operations**. International Journal of Disaster Risk Reduction, 20: 123-128, 2016. DOI: 10.1016/j.ijdr.2016.11.001.

ROBAINA, L. & TRENTIN, R. & LAURENT, F. ROBAINA. **Zoneamento em unidades morfológicas da bacia do Rio Oudon, noroeste da França, a partir de MDT em ambiente SIG**. Geografia 0100-7912. 41, 2016.

ROMANA, M. **A geomechanical classification for slopes: slope mass rating**. Rock testing and Site Characterization, 3,1993. 45p.

RUCHKYS, U.A.; CASTRO, P.T.A. & MIRANDA, M.P.S. **Mineração em Geossistemas Ferruginosos e Questões de Geoética: o Caso do Rompimento da Barragem de Córrego do Feijão, Minas Gerais - Brasil**, Confins, 40, 2019. Disponível em:

<http://journals.openedition.org/confins/19973>. Acesso em: dezembro/2020. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.19973>.

SAE J1739. **Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes.** Norma vigente (Process FMEA), 2009. Substituiu a versão SAE J1739, 1994.

SALDANHA, A. S.; VIANA DA FONSECA, A.; Ferreira, C. **Microzonamento de suscetibilidade à liquefação: caso de estudo no Vale Inferior do Tejo.** Geotecnia nº 142, março 2018 – pp. 07-34, <http://dx.doi.org/10.24849/j.geot.2018.142.01>

SALOMÃO F. X. de. T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural.** 1994. 200 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, FFLCH, USP, São Paulo, 1994.

SANQUINI, A.M.; THAPALIYA, S.M. & WOOD, M.M. **A communications intervention to motivate disaster risk reduction.** Disaster Prevention and Management, 25(3): 345-359, 2016. DOI: 10.1108/DPM-11-2015-0256.

SANTOS, A. **Complexidade e transdisciplinaridade em educação: cinco princípios para resgatar o elo perdido.** Revista Brasileira de Educação v. 13 n. 37 jan./abr. 2008.

SANTOS, A. R. D. **Cidades & Geologia: discussão técnica e proposição de projetos de lei de grande interesse para as populações urbanas.** São Paulo: Editora Rudder, 2017. 136 p., 2017.

SENA et al. Crowdsourcing and geoprocessing as a support to the elaboration of geotouristic routes. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 69, p. 1536-1548, out./2017.

SHOOK, G. **An assessment of disaster risk and its management in Thailand.** Disasters, v.21, n.1,1997. p.77-88.

SILVA, L. C. da. **Aplicação do sistema de avaliação de perigo Rockfall Hazard Rating System (RHRS) aos taludes da BR-356/ Rodovia dos Inconfidentes, MG.** 2016. 160 p. Dissertação (Mestrado - Núcleo de Geotecnia. Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas, Ouro Preto, 2016.

SILVA, B.; TAVARES, Í. O.; AUGUSTO, O. **Uma pedagogia multidisciplinar, interdisciplinar ou transdisciplinar para o ensino/aprendizagem da física.** HOLOS, vol. 1, 2005, pp. 4-12 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Natal, Brasil.

SILVA, A. S., CARVALHO, E. T, FANTINEL, L. M., ROMANO, A. W., VIANA, C. S. **Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no Município de Belo Horizonte**. Convênio: PMBH, SMP, FUNDEP/ UFMG. 490p. (Relatório Final), 1995.

SIMR. **Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks**. Committee on Laboratory Tests. Doc N° 5. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanic Abstracts. Vol. 5, N°3, 1978. pp 89-97.

SIMR. **Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested methods for the qualitative description of discontinuities in rock masses**. Committee on Field Tests. Doc N° 4, 1977. pp 320-368.

SOUZA, D.M.G & LOBATO, E. **Latosolos**. Disponível em https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acesso em 19 mai. 2017.

STEWART, I.S. & LEWIS, D. 2017. **Communicating Contested Geoscience to the Public: Moving from ‘Matters of Fact’ to ‘Matters of Concern’**. Earth-Science Reviews, 174: 22–133. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.09.003.

TERZAGHI, K.; PECK, R.B. **Soil Mechanics in Engineering Practise**. 1º Edition, John Wiley & Sons, New York, 1948.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: SUPREN – IBGE. 1977. 109 p.

TRUONG, P.; TAN VAN, T.; PINNERS, E. **Sistema de aplicação Vetiver. Manual de referência técnica**. Comprovadas Soluções Verde para o Meio-Ambiente. Segunda Edição (a cores). Traduzido por Paulo R. Rogerio. 2008.

UNDRR. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)**, 2019.

UNDRR. **Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction: Implementing Nature-based Solutions for Resilience, United Nations Office for Disaster Risk Reduction – Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand**, 2020.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Fact Sheet 2004–3072**, 2004. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>. Acesso em: maio/2021.

VARNES, D.J. **Slope movement types and processes. Landslides analysis and control.** WASHINGTON, D. C., **National Academy of Sciences**, pp.11-33, 1978.

VALLEJO, L. I. G. DE; FERRER, M.; ORTUÑO, L.; OTEO, C. **Ingeniería Geológica.** **Pearson Educación**, Madri. 744 p, 2002.

VEYRET, Y. **Os Riscos: O Homem como Agressor e Vítima do Meio Ambiente.** [tradutor: Dilson Ferreira da Cruz.] - 2ª ed., 1ª reimpressão. - São Paulo: Contexto, 2018. Título original: Les risques.

VIANA DA FONSECA, A., MILLEN, M., ROMÃO, X., QUINTERO, J., RIOS, S., FERREIRA, C., PANICO, F., AZEREDO, C., PEREIRA, N., LOGAR, J., OBLAK, M., DOLSEK, M., KOSIC, M., KUDER, S., LOGAR, M., OZTOPRAK, S., KELESOGLU, M., SARGIN, S., OSER, C., BOZBEY, I., FLORA, A., BILLOTA, E., PROTA, A., LUDOVICO, M. CHIARADONNA, A., MODONI, G., PAOLELLA, L., SPACAGNA, R., LAI, C., SHINDE, S., BOZZONI, F. (2018a). **Methodology for the liquefaction fragility analysis of critical structures and infrastructures: description and case studies.** Deliverable D 3.2 - LIQUEFACT project, Horizon 2020 European Union funding for Research & Innovation, GA n°. 700748, 439 págs. (http://www.liquefact.eu/wp-content/uploads/2020/03/D3.2_ter.pdf). Acesso em: novembro/2021.

VIANA DA FONSECA, A., MILLEN, M., ROMÃO, X., QUINTERO, J., RIOS, S., MESLEM, A. (2018b). **Design guidelines for the application of soil characterisation and liquefaction risk assessment protocols.** Deliverable D 3.3 - LIQUEFACT project, Horizon 2020 European Union funding for Research & Innovation, GA n°. 700748, 34 págs. (http://www.liquefact.eu/wp-content/uploads/2020/03/D3.3_bis.pdf). Acesso em: 26 nov. 2021.

WACHINGER, G.; RENN, O.; BEGG, C. & KUHLCHE, C. 2013. **The Risk Perception Paradox: Implications for Governance and Communication of Natural Hazards.** *Risk Analysis*, 33(6): 1049–1065. DOI: 10.1111/J.1539-6924.2012.01

WALDRON L. J, DAKESSIAN S. 1981. **Soil reinforcement by roots: calculation of increased soil shear resistance from root properties.** *SOIL SCIENCE* 132: 427-435.

WU, W.; SWITALA, B.; ACHARYA, M.; TAMAGNINI, R.; AUER, M.; GRAF, F.; DR. TE KAMP, L.; XIANG, W. **Effect of Vegetation on Stability of Soil Slopes: Numerical Aspect**, 2015. 10.1007/978-3-319-11053-0_15.

YEN, C.P. Tree root patterns and erosion control. In: **Proceedings of the International Workshop on Soil Erosion and its Countermeasures** (ed S. Jantawat). Soil and Water Conservation Society of Thailand, Bangkok, 1987. P. 92-111.

APÊNDICE A – Contextualização e estudos de caso em Porto, Portugal

RESUMO

Neste APÊNDICE A – CONTEXTUALIZAÇÃO E ESTUDOS DE CASO EM PORTO, PORTUGAL apresenta-se a síntese fisiográfica, geológica e geotécnica das áreas utilizadas nos estudos de caso de taludes de solo instáveis ou potencialmente instáveis, em Porto, Portugal, bem como do município como um todo. Outras informações relevantes são apresentadas, como as provenientes da Carta geotécnica do Porto (PORTO, 2003), do Plano Diretor Municipal (PORTO, 2021) e da Proteção Civil municipal. As análises de risco de taludes do Porto, especificamente o preenchimento das fichas de perigo, consequências e matriz de risco estão neste apêndice, assim como breve enquadramento dos taludes e gráficos com os resultados dos índices de risco. Contudo, a síntese dos resultados, conclusões e referências bibliográficas não estão apresentadas neste apêndice, mas sim, no volume principal da tese.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Tela Inicial dos mapas interativos do PDM do Porto (PORTO, 2020 https://geopdm.cm-porto.pt/).....	200
Figura 2.2- Carta de Riscos Naturais e limites de freguesias (PORTO, 2020; PORTO, 2003)..	202
Figura 2.3- Visualização da maquete digital do Porto e do painel de controle. A) Vista do MDE e carta de riscos; B) Vista do MDE, carta de riscos, e urbanização de Porto.	204
Figura 2.4- Freguesias de Porto e sua localização no concelho (Fotos das freguesias do arquivo pessoal da autora, a partir da maquete de Porto; e mapa de Porto com divisões administrativas de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Porto_freguesias_2013.svg).....	206
Figura 2.5- Vista da Av. D. Carlos I no sentido da Foz do Rio Douro.	207
Figura 2.6- Vista da área com risco de inundação em frente a R. Nova Alfândega (à esquerda) e na Praça da Ribeira do Porto (à direita). (Imagens do Google).	208
Figura 2.7- Vista da Área 1, mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020;2003).	209
Figura 2.8- Vista da Área 2, mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020;2003).	209
Figura 2.9- Vista da Área 3, mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020;2003).	210
Figura 2.10- Vista da Área 4, mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020; 2003) e BORGES (2017).	210
Figura 2.11- Vista da Área 5, mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020; 2003).	211
Figura 2.12- Vista da Área 6, mapeada na carta de riscos em PORTO (2020; 2003).	211
Figura 2.13- Vista de áreas inundáveis na União de Freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos, conforme PORTO (2020, 2003). Em A) Trecho da R. Pedro de Meneses; B) Trecho da R. Pedro V (imagem do google); C) Trecho da Calçada do Ouro.	212
Figura 2.14- Vista da Área 8. A) Área mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020;2003); B) e C) Talude próximo à área 8, com árvores inclinadas.	214
Figura 2.15- Talude em rocha na R. D. Pedro V.....	214
Figura 2.16- Margens do Rio Tinto, no Parque Oriental de Campanhã.....	216
Figura 2.17- Vista da Área 11, talude instável com moradias construídas na crista.....	216
Figura 2.18- Vista da Área 12, talude rochoso em obras.	217
Figura 2.19- Talude rochoso da Quinta do Covelo, Parranhos.	218
Figura 2.20- Carta geológica do Porto (PORTO, 2018; PORTO, 2003).....	221
Figura 2.21- Carta geomorfológica do Porto (PORTO, 2018; PORTO, 2003).....	224
Figura 3.1- Documentos que compõem a carta geotécnica do Porto (Desenhado a partir de Porto, 2003).....	225
Figura 3.2- Carta Geotécnica do Porto (PORTO, 2018; PORTO, 2003).....	226

- Figura 3.3- Vista de áreas de aterro no Parque da Cidade na freguesia de Nevogilde à esquerda (<https://www.google.pt/maps/@41.1676246,-8.672981,2a,75y,265.14h,81.77t/data=!3m6!1e1!3m4!1sC2ZLvISQbGfmcuaTQFJhkQ!2e0!7i13312!8i6656>) e na Rua Virginia Moura na freguesia de Campanhã à direita (https://www.google.pt/maps/@41.1740528,-8.5739216,3a,75y,353.38h,91.27t/data=!3m6!1e1!3m4!1ssWp_lJUej3SvQWecNC7Jmw!2e0!7i16384!8i8192). 233
- Figura 3.4- Depósitos aluvionares nas margens do Rio Tinto próximo à foz, com cobertura vegetal (<https://www.google.pt/maps/@41.1502875,-8.5748356,3a,75y,16.6h,82.47t/data=!3m6!1e1!3m4!1sAF1QipMmGvXF5fusO6zVYK0GA8NGMArbB34IEKaPbQwJ!2e10!7i6080!8i3040..>) 234
- Figura 3.5- Vista de áreas de depósitos e terraços de praia (<https://www.google.pt/maps/@41.1719346,-8.6327841,3a,75y,120.42h,72.7t/data=!3m6!1e1!3m4!1sTvbiaqfOOKLMVBMDUSVN2g!2e0!7i16384!8i8192>). 236
- Figura 3.6- Vista da praça próxima à Rua Ferreira Borges em São Nicolau (https://www.google.pt/maps/@41.1408814,-8.6149831,3a,45y,355.02h,90.07t/data=!3m7!1e1!3m5!1sG4Q_uJpgpmcuq2ZydfQvyA!2e0!6shtps:%2F%2Fstreetviewpixels-pa.googleapis.com%2Fv1%2Fthumbnail%3Fpanoid%3DG4Q_uJpgpmcuq2ZydfQvyA%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D159.2059%26pitch%3D0%26thumbfov%3D100!7i16384!8i8192). 237
- Figura 3.7- Vista de área do grupo G4-C, com indicação de talude de solo residual sotoposto por camada de aterro (Google Earth). 239
- Figura 4.1- Relação precipitação ocorrida em 2020/2021 em Porto, Portugal versus precipitações médias (<https://pt.climate-data.org/europa/portugal/porto/porto-161/>). 244
- Figura 4.2- Comunicação da Proteção Civil quanto a elevada precipitação e demais condições atmosféricas e marítimas 244
- Figura 4.3- Foto montagem de aspectos observados no monitoramento do talude TS-C1 246
- Figura 4.4- Fotomontagem do talude TS-C4 247
- Figura 4.5- Erosões no talude TS-C2. A) Vista da ravina em 21/12/20; B) Vista de material depositado nas margens do Rio Tinto em outubro/20. 248
- Figura 4.6- Identificação de riscos no Roteiro 1, à norte do Parque oriental. A) Vista geral do caminhamento e áreas identificadas com risco potencial; B) Vista de talude identificado para análise e nomeado como TS-C1; C) Vista de talude identificado e nomeado como TS-C2; D) Área construída em margem de rio; E) Início do caminhamento na Rua do Pego Negro. 252
- Figura 4.7- Identificação de riscos no Roteiro 1, à centro sul do parque. A) Contenção em muro de pedra; B) Contenção de margem em concreto armado e pedra; C) Largos requalificados; D) Vista geral do caminhamento; E) Entrada sul do parque; F) Moradias próximas ao rio; G) Retaludamento e contenção em pedra. 253
- Figura 4.8- Identificação de riscos no Roteiro 1, Rua do Freixo. A) Talude nomeado como TS-C3; B) Vista da Rua Bacelo para área verde com moradias na crista. 254
- Figura 4.9- Identificação de riscos no Roteiro 1, Alameda de Cartes. 255

Figura 4.10- Vista geral do talude TS-C4	255
Figura 4.11- Identificação de riscos no Roteiro 1, Rua Virgínia Moura.....	256
Figura 4.12- Vista geral do talude TS-C5	257
Figura 4.13- Identificação de riscos no Roteiro 2, Praça Pedra Verde.	259
Figura 4.14- Vista geral do talude TS-A1	260
Figura 4.15- Identificação de riscos no Roteiro 3, Rua Henrique Lopes de Mendonça e Rua Pintor Amadeu Souza Cardoso (Fonte Google Earth).	262
Figura 4.16- Vista Geral do talude TS-F1, na Rua Henrique Lopes de Mendonça	263
Figura 4.17- Vista geral do talude TS-F2, na Rua Pintor Amadeu de Souza.....	263
Figura 4.18- Localização do Talude TS-C1 em Porto sobre a Carta de Riscos Naturais (Adaptada de Porto, 2003; Porto, 2020)	267
Figura 4.19- Localização do Talude TS-C1 em Campanhã. A) Talude ao norte do Vale do Rio Tinto. B) Talude adjacente à estrada da Circunvalação, à oeste; e com o Rio Tinto à leste (Adaptada de Porto, 2003; Porto, 2020)	267
Figura 4.20- Vista da localização do talude TS-C1 (Imagem editada, extraída do Google Earth).	268
Figura 4.21- Localização do talude TS-C1 em cartas temáticas. A) Talude TS-C1 na carta de risco; B) Talude TS-C1 na carta; C) Talude TS-C1 na carta de Qualificação do Solo; D) Talude TS-S1 na carta de Patrimônio Arqueológico.....	269
Figura 4.22- Vista geral do talude TS-C1	270
Figura 4.23- Vista da árvore do topo da ruptura do talude TS-C1	270
Figura 4.24- Vista em corte da superfície de ruptura com solo residual superficial e saprolito sotoposto - Talude TS-C1	271
Figura 4.25- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-C1	274
Figura 4.26- Seção geométrica e com informações geotécnicas do talude TS-C1	275
Figura 4.27- Talude TS-C1 - Seção AA – Retroanálise de parâmetros para FS=1, condição drenada, com linha freática.	277
Figura 4.28- Talude TS-C1 - Seção AA – Análise de estabilidade para talude sem linha freática, condição drenada.....	278
Figura 4.29- Talude TS-C1 - Seção AA – Análise de estabilidade para talude com linha freática, condição drenada.....	279
Figura 4.30- Talude TS-C1 - Seção BB – Análise de estabilidade para talude sem linha freática, condição drenada.....	280
Figura 4.31- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-C1	281
Figura 4.32 Gráfico de índices de consequências para o talude TS-C1	281
Figura 4.33- Vista da localização do talude TS-C2 (Imagem editada, extraída do Google Earth).	282

Figura 4.34- Localização do talude TS-C2 na Carta de Condicionantes Gerais do PDM (PORTO, 2003).....	283
Figura 4.35- Vista geral do talude TS-C2	284
Figura 4.36- Vista do material proveniente da erosão do TS-C2 depositado nas margens do Rio Tinto	284
Figura 4.37- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-C2	287
Figura 4.38- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-C2	288
Figura 4.39 Gráfico de índices de consequências para o talude TS-C2.....	289
Figura 4.40- Vista da localização do talude TS-C3 (Imagem editada, extraída do Google Earth).	290
Figura 4.41- Localização do talude TS-C3 na Carta de Riscos Naturais (PORTO, 2003; PORTO, 2020).....	291
Figura 4.42- Recorte da Carta Geotécnica (PORTO, 2003) com indicação do TS-C3.....	292
Figura 4.43- Vista geral do talude TS-C3, com sinalização de movimento de massa pretérito. 293	
Figura 4.44- Vista de processos erosivos e escorregamento pretérito no talude TS-C3	293
Figura 4.45- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-C3	296
Figura 4.46- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-C3	297
Figura 4.47 Gráfico de índices de consequências para o talude TS-C3.....	298
Figura 4.48- Vista da localização do talude TS-C4 (Imagem editada, extraída do Google Maps).	299
Figura 4.49- Localização do talude TS-C4 na Carta de Condicionantes Gerais do PDM (PORTO, 2003).....	300
Figura 4.50- Vista geral do talude TS-C4, próximo à R. São Roque da Lameira.....	301
Figura 4.51- Vista da surgência na face do TS-C4	301
Figura 4.52- Vista superior do talude TS-C4	301
Figura 4.53- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-C4	304
Figura 4.54- Recorte da carta temáticas com indicação do TS-C4. A) Carta Geotécnica (PORTO, 2003); B) Mapa de Bacias Hidrográficas (PORTO, 2018); C) Carta Hidrogeológica (PORTO, 2003).....	305
Figura 4.55- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-C4	306
Figura 4.56 Gráfico de índices de consequências para o talude TS-C4.....	307
Figura 4.57- Vista da localização do talude TS-C5 (Imagem editada, extraída do Google Maps).	308
Figura 4.58- Recortes de mapas temáticos do PDM e localização do talude TS-C5. A) Carta de Condicionantes Gerais; B) Qualificação do Solo; C) Riscos Naturais; D) Carta de Condicionantes Gerais (PORTO, 2020).....	309
Figura 4.59- Vista geral do talude TS-C5.	309

Figura 4.60- Vista de saprolito e maciço rochoso na base do talude TS-C5.....	310
Figura 4.61- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-C5	313
Figura 4.62- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-C5	314
Figura 4.63 Gráfico de índices de consequências quanto à saúde e segurança do talude TS-C5	314
Figura 4.64- Vista do talude rochoso da R. Dr. Corino de Andrade, no lado direito de quem desce em direção à R. Nau Vitória, e um detalhe do grau de fraturamento.....	315
Figura 4.65 - Vista de talude rochoso ao fundo de moradias da R. Dr. Corino de Andrade, no lado esquerdo de quem desce em direção à R. Nau Vitória.....	316
Figura 4.66- Vista da localização do talude TS-A1 na Praça Pedra Verde em Aldoar (Imagem extraída do Google Maps).....	317
Figura 4.67- Vista geral do talude TS-A1, sendo à direita uma foto da crista, com indicação da árvore no local de ruptura.....	318
Figura 4.68- Vista da superfície de ruptura com fragmentos de rocha e solo indiferenciados, bem como detalhe das raízes da árvore e vegetação rasteira embricadas no solo e descontinuidades do TS-A1.....	318
Figura 4.69- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-A1	321
Figura 4.70- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-A1	322
Figura 4.71 Gráfico de índices de consequências quanto à saúde e segurança do talude TS-A1	322
Figura 4.72- Localização do talude TS-F1	323
Figura 4.73- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-F1	326
Figura 4.74- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-F1	327
Figura 4.75 Gráfico de índices de consequências para saúde e segurança do talude TS-F1	327
Figura 4.76- Localização do talude TS-F2.....	328
Figura 4.77- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-F2.....	331
Figura 4.78- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-F2.....	332
Figura 4.79 Gráfico de índices de consequências quanto à saúde e segurança do talude TS-F1	333

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Lista das áreas de instabilidade de vertente conforme PDM vigente	219
Tabela 3.1- Resistência à compressão uniaxial (SIMR, 1977)	227
Tabela 3.2- Estados de alteração de um maciço (SIMR, 1977)	227
Tabela 3.3- Espaçamentos de descontinuidades (SIMR, 1977)	228
Tabela 3.4- Qualidade do maciço por RQD (Deere, 1964, Deere et al, 1988)	228
Tabela 3.5- Classificação de solos a partir do Nspt (Terzaghi & Peck, 1948(1); Peck, Hanson &Thombum, 1974(2))	228
Tabela 3.6- Correlações a partir da classificação de solos USCS (Adaptado de BUREAU OF RECLAMATION, 1998)	229
Tabela 3.7- Classes de plasticidade do solo (PORTO, 2003)	230
Tabela 3.8- Classes de permeabilidade segundo Therzaghi e Peck (1967)	230
Tabela 3.9- Síntese de características das unidades geotécnicas (dados de PORTO, 2003).....	231
Tabela 4.1- Roteiro 1, Campanhã.....	248
Tabela 4.2- Roteiro 2, Aldoar.....	257
Tabela 4.3- Roteiro 3, Foz.....	260
Tabela 4.4- Escolha dos taludes a serem investigados quanto ao risco de movimentos de massa	264
Tabela 4.5- Localização dos taludes a serem investigados quanto ao risco de movimentos de massa, e unidades geotécnicas a que pertencem.	265
Tabela 4.6- Pontuação do perigo – Talude TS-C1	272
Tabela 4.7- Pontuação das consequências – Talude TS-C1	273
Tabela 4.8- Parâmetros geotécnicos adotados para o talude TS-C1	276
Tabela 4.9- Pontuação de perigo – Talude TS-C2	285
Tabela 4.10- Pontuação das consequências – Talude TS-C2.....	286
Tabela 4.11- Pontuação da perigo – Talude TS-C3	294
Tabela 4.12- Pontuação das consequências – Talude TS-C3.....	295
Tabela 4.13- Pontuação de perigo – Talude TS-C4	302
Tabela 4.14- Pontuação das consequências – Talude TS-C4.....	303
Tabela 4.15- Pontuação de perigo – Talude TS-C5	311
Tabela 4.16- Pontuação das consequências – Talude TS-C5.....	312
Tabela 4.17- Pontuação de perigo – Talude TS-A1	319
Tabela 4.18- Pontuação das consequências – Talude TS-A1.....	320
Tabela 4.19- Pontuação de perigo – Talude TS-F1.....	324
Tabela 4.20- Pontuação das consequências – Talude TS-F1	325

Tabela 4.21- Pontuação de perigo – Talude TS-F2.....329

Tabela 4.22- Pontuação das consequências – Talude TS-F2 330

LISTA DE NOMENCLATURAS E SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANPC - Autoridade Nacional de Proteção Civil

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

Cc – Índice de compressibilidade

Cr – Índice de recompressão

CDOT – *Colorado Department of Transportation.*

CLHRS – *Colorado Landslides Hazard Rating System*

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CMFD - Complexo Metamórfico da Foz do Douro

CXG - Complexo Xisto-Grauváquico

DMPC - Departamento Municipal de Proteção Civil

$e_{inicial}$ – Índice de vazios inicial do solo

FS – Fator

FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*

FMECA - *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*

K_{cc} – Coeficiente de permeabilidade a carga constante

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo digital do Terreno

N_{SPT} – Número de Golpes no ensaio SPT

RHRS – *Rockfall Hazard Rating System*

RQD – *Rock Quality Designation*

ONU - Organização das Nações Unidas

PDM - Plano Diretor Municipal

UOPG – Unidade Operacional de Planejamento e Gestão

URBEL – Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte

USCS - *Unified Soil Classification System*

δ_d – Peso específico aparente seco do solo

δ_{nat} – Peso específico na umidade natural do solo na amostra coletada

δ_s – Peso específico dos sólidos

SUMÁRIO

1.	A PROTEÇÃO CIVIL DO PORTO	197
1.1.	A Parceria com a pesquisa	197
1.2.	Legislação Aplicável	197
1.2.1.	Lei de bases da Proteção Civil	197
2.	PDM - PLANO DIRETOR MUNICIPAL DO PORTO	200
2.1.	A Estrutura do PDM do Porto	200
2.1.1.	Plantas de ordenamento.....	201
2.1.2.	Planta Geral de Condicionantes	203
2.1.3.	Plantas complementares	203
2.2.	Maquete digital do PDM	203
2.3.	Divisão administrativa em freguesias	204
2.4.	Localização das áreas mapeadas no PDM com riscos naturais, por freguesia	205
2.4.1.	União das Freguesias de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde.....	205
2.4.2.	União das Freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória.....	207
2.4.3.	União das Freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos	212
2.4.4.	Bonfim	215
2.4.5.	Campanhã.....	215
2.4.6.	Parranhos.....	217
2.4.7.	Ramalde.....	218
2.4.8.	Lista síntese de áreas de instabilidade conforme PDM, para todo o concelho	218
2.5.	Síntese fisiográfica, geológica e geomorfológica	220
3.	CARTA GEOTÉCNICA DO PORTO.....	224
3.1.	Documentos que compõem a carta geotécnica	224
3.2.	Carta de zoneamento geotécnico.....	225
3.2.1.	Introdução	225
3.2.2.	Características principais das unidades geotécnicas	227
3.2.2.1.	Tabelas de referência para classificação dos solos e rochas ...	227
3.2.2.2.	Síntese das características das unidades geotécnicas.....	230
3.2.2.2.1.	Aterros (G1)	233
3.2.2.2.2.	Solos aluvionares e coluvionares (G2)	234
3.2.2.2.3.	Depósitos de praia e terraços (G3).....	235
3.2.2.2.4.	Solos residuais graníticos medianamente compactos (G4-G)	236

3.2.2.2.5. Solos residuais graníticos medianamente compactos e intensamente caulinizados (G4-C)	238
3.2.2.2.6. Solos residuais metamórficos medianamente compactos (G4-X)	240
3.2.2.2.7. Solos residuais metamórficos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade (G5)	240
3.2.2.2.8. Solos residuais metamórficos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados (G4-X e G5)	241
3.2.2.2.9. Maciço rochoso metamórfico de fraca a excelente qualidade (G6)	242
3.2.2.2.10. Solos residuais graníticos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade (G8)	242
3.2.2.2.11. Maciço rochoso granítico de fraca a excelente qualidade (G9)	243
4. ESTUDOS DE CASO.....	244
4.1. Monitoramento de ocorrências.....	244
4.2. Planejamento e roteiros do trabalho de campo.....	248
4.2.1. Roteiro 1: Vale do Rio Tinto e entorno, na freguesia de Campanhã	248
4.2.2. Roteiro 2: Praça Pedra Verde e entorno, na freguesia de Aldoar.....	257
4.2.3. Roteiro 3: Rua Henrique Lopes e entorno, na freguesia de Foz	260
4.2.4. Definição dos taludes a serem investigados.....	264
4.3. Talude Circunvalação N12, Campanhã (TS-C1)	266
4.3.1. Estabelecimento do contexto.....	266
4.3.1.1. Localização	266
4.3.1.2. Enquadramento no Plano Diretor Municipal	268
4.3.2. Identificação dos riscos	269
4.3.2.1. Caracterização geológico-geotécnica.....	269
4.3.3. Análise e avaliação dos riscos.....	271
4.3.3.1. Análise do perigo do talude TS-C1.....	271
4.3.3.2. Análise das consequências do talude TS-C1	273
4.3.3.3. Matriz de riscos.....	273
4.3.4. Estratégias de Prevenção e Mitigação.....	275
4.3.4.1. Seção geométrica	275
4.3.4.2. Definição dos parâmetros de resistência.....	276
4.3.4.3. Retroanálise da ruptura ocorrida.....	277
4.3.4.4. Análise de estabilidade na condição atual do talude.....	277
4.3.5. Monitoramento.....	280

4.3.6.	Revisão e análise crítica	282
4.4.	Talude da Ponte do Parque Oriental, Campanhã (TS-C2)	282
4.4.1.	Estabelecimento do contexto.....	282
4.4.1.1.	Localização	282
4.4.1.2.	Enquadramento no Plano Diretor Municipal	283
4.4.1.3.	Caracterização geológico-geotécnica.....	283
4.4.2.	Análise e avaliação dos riscos.....	284
4.4.2.1.	Análise de perigo do talude TS-C2	284
4.4.2.2.	Análise das consequências do talude TS-C2	286
4.4.2.3.	Matriz de riscos.....	286
4.4.3.	Estratégias de Prevenção e Mitigação.....	287
4.4.4.	Monitoramento	288
4.4.5.	Revisão e análise crítica	289
4.5.	Talude Rua do Bacelo, Campanhã (TS-C3).....	289
4.5.1.	Estabelecimento do contexto.....	289
4.5.1.1.	Localização	289
4.5.1.2.	Enquadramento no Plano Diretor Municipal	290
4.5.1.3.	Caracterização geológico-geotécnica.....	291
4.5.2.	Análise e avaliação dos riscos.....	293
4.5.2.1.	Análise de perigo do talude TS-C3	293
4.5.2.2.	Análise das consequências do talude TS-C3	295
4.5.2.3.	Matriz de riscos.....	295
4.5.3.	Estratégias de Prevenção e Mitigação.....	296
4.5.4.	Monitoramento	297
4.5.5.	Revisão e análise crítica	298
4.6.	Talude Alameda de Cartes, Campanhã (TS-C4).....	298
4.6.1.	Estabelecimento do contexto.....	298
4.6.1.1.	Localização	298
4.6.1.2.	Enquadramento no Plano Diretor Municipal	299
4.6.1.3.	Caracterização geológico-geotécnica.....	300
4.6.2.	Análise e avaliação dos riscos.....	301
4.6.2.1.	Análise de perigo do talude TS-C4.....	301
4.6.2.2.	Análise das consequências do talude TS-C4	303
4.6.2.3.	Matriz de riscos.....	303
4.6.3.	Estratégias de Prevenção e Mitigação.....	305
4.6.4.	Monitoramento	306

4.6.5.	Revisão e análise crítica	307
4.7.	Talude Rua Virgínia Moura, Campanhã (TS-C5).....	307
4.7.1.	Estabelecimento do contexto.....	307
4.7.1.1.	Localização	307
4.7.1.2.	Enquadramento no Plano Diretor Municipal	308
4.7.1.3.	Caracterização geológico-geotécnica.....	309
4.7.2.	Análise e avaliação dos riscos.....	310
4.7.2.1.	Análise de perigo do talude TS-C5	310
4.7.2.2.	Análise das consequências do talude TS-C5	312
4.7.2.3.	Matriz de riscos.....	312
4.7.3.	Estratégias de Prevenção e Mitigação.....	313
4.7.4.	Monitoramento	313
4.7.5.	Revisão e análise crítica	315
4.8.	Talude Praça Pedra Verde, Aldoar (TS-A1)	316
4.8.1.	Estabelecimento do contexto.....	316
4.8.1.1.	Localização	316
4.8.1.2.	Enquadramento no Plano Diretor Municipal	317
4.8.1.3.	Caracterização geológico-geotécnica.....	317
4.8.2.	Análise e avaliação dos riscos.....	318
4.8.2.1.	Análise de perigo do talude TS-A1	319
4.8.2.2.	Análise das consequências do talude TS-A1	320
4.8.2.3.	Matriz de riscos.....	320
4.8.3.	Estratégias de Prevenção e Mitigação.....	321
4.8.4.	Monitoramento	322
4.8.5.	Revisão e análise crítica	323
4.9.	Talude Rua Henrique Lopes, Foz (TS-F1).....	323
4.9.1.	Análise de perigo do talude TS-F1.....	324
4.9.2.	Análise das consequências do talude TS-F1	325
4.9.3.	Matriz de riscos	326
4.9.4.	Estratégias de Prevenção e Mitigação.....	326
4.9.5.	Monitoramento	327
4.9.6.	Revisão e análise crítica	328
4.10.	Talude Rua Amadeu Souza, Foz (TS-F2)	328
4.10.1.	Análise de perigo do talude TS-F2.....	329
4.10.2.	Análise das consequências do talude TS-F2	330
4.10.3.	Matriz de riscos	331

4.10.4. Estratégias de Prevenção e Mitigação..... 331
4.10.5. Monitoramento..... 332
4.10.6. Revisão e análise crítica..... 333

1. A PROTEÇÃO CIVIL DO PORTO

1.1. A Parceria com a pesquisa

O Departamento Municipal de Proteção Civil (DMPC) do concelho do Porto foi contactado pelo orientador desta tese, na pessoa do Sr. Diretor Dr. Luis Moutinho, para o convite à parceria nesta pesquisa. O Sr. Diretor informou que as cooperações entre o DMPC e as instituições de investigação técnica e científica têm enquadramento no artigo 47.º da Lei n.º 27/2006, de 03 de julho, na sua atual redação (Lei de Bases da Proteção Civil), e são bastante relevantes e representam, sem qualquer dúvida, uma mais-valia para o desenvolvimento e atualização de matérias com interesse para a proteção civil municipal.

Segundo o Dr. Luis Moutinho, esta cooperação irá também contribuir para a prossecução dos objetivos fundamentais da proteção civil, ao nível do levantamento, previsão, avaliação e prevenção de riscos coletivos de origem natural - concretamente os riscos de carácter geológico. A Dr.ª Luísa Borges e o Eng.º Duarte Ricardo são os representantes da Proteção Civil designados pelo Sr. Diretor para a participação no desenvolvimento dos trabalhos.

1.2. Legislação Aplicável

A ANPC possui um site com informações relevantes sobre a legislação geral da Proteção Civil de Portugal no seguinte endereço eletrónico: <http://www.prociv.pt/pt-pt/PROTECAOCIVIL/LEGISLACAONORMATIVOS/LEGISLACAOGERAL/Paginas/default.aspx>. A seguir, apresentam-se os pontos principais da lei de bases da proteção civil, com interface com esta pesquisa, bem como apresenta-se uma lista de outras normas aplicáveis ao tema.

1.2.1. *Lei de bases da Proteção Civil*

A Lei n.º 27/2006, de 3 de julho (Alterada pela Lei Orgânica n.º 1/2011, de 30 de novembro e pela Lei n.º 80/2015, de 3 de agosto, que republica o diploma, representa a lei de bases da proteção civil (Portugal, 2006).

Essa lei possui a seguinte organização, descrita no Quadro 1:

Quadro 1 – Conteúdo da Lei de Base da Protecção Civil de Portugal e outras normativas

		Descrição
LEIS DE BASE	Capítulo I	Objectivos e princípios da política de protecção civil
	Capítulo II	Alerta, contingência e calamidade
	Capítulo III	Enquadramento, coordenação, direcção e execução
	Capítulo IV	Estrutura de protecção civil
	Capítulo V	Operações de protecção civil
	Capítulo VI	Forças Armadas
	Capítulo VII	Disposições finais
OUTRAS NORMATIVAS	Sistema Integrado de Operações de Protecção e Socorro	Decreto-Lei n.º 72/2013, de 31 de maio (Sistema criado pelo Decreto-Lei n.º 134/2006, de 25 de julho, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 114/2011, de 30 de novembro)
	Orgânica do Ministério da Administração Interna	Decreto-Lei n.º 126-B/2011, de 29 de dezembro (alterado pelo Decreto-Lei n.º 163/2014, de 31 de outubro, pelo Decreto-Lei n.º 161-A/2013, de 2 de dezembro e pelo Decreto-Lei n.º 112/2014, de 11 de julho)
	Orgânica da Autoridade Nacional de Emergência e Protecção Civil	Decreto-Lei n.º 45/2019, de 1 de abril
	Regime Jurídico do Sistema de Protecção Civil da Região Autónoma da Madeira	Decreto Legislativo Regional n.º 16/2009/M, de 30 de junho
	Orgânica do Serviço Regional de Protecção Civil, IP-RAM	Decreto Legislativo Regional n.º 17/2009/M, de 30 de junho
	Organização dos Serviços Municipais de Protecção Civil	Lei n.º 65/2007, de 12 de novembro

Fonte: Lei de Bases da Protecção Civil, 2006.

Os capítulos I e II são mais diretamente associados com a pesquisa. Em relação ao CAPÍTULO I, alguns tópicos de importância para a pesquisa são apresentados a seguir, com a ressalva que a consulta ao texto completo da lei foi realizada e é recomendável.

A Proteção Civil é uma atividade, desenvolvida pelo Estado, regiões autônomas, autarquias locais, cidadãos e todas as entidades públicas e privadas. Tem abrangência em todo o território nacional, e pode ser também realizada no âmbito internacional, em determinadas condições normativas e com Estados e organizações de que Portugal seja parte.

Tem como objetivo prevenir, atenuar, socorrer, e apoiar a retomada da normalidade em caso de desastre. Os princípios particulares aplicáveis são: da prioridade do interesse coletivo; da prevenção de desastres com antecipação dos riscos visando minimizar as causas; da precaução para se evitar acidentes a partir do dever do cuidado; da subsidiariedade, quando o nível superior de Proteção Civil só intervém no caso dos objetivos da Proteção Civil não forem alcançados pelo sistema inferior; da cooperação entre Estado, regiões autônomas, autarquias locais, cidadãos, entidades públicas e privadas; da coordenação, sob orientação do Governo; da unidade de comando, onde os agentes atuam no plano operacional, articulados com o comando único sem prejuízo de hierarquia e dependência funcional; e da informação, a qual é um dever da Proteção civil a divulgação de informações relevantes para a população.

Segundo a lei de base, a atividade de proteção civil exerce-se nos seguintes domínios: a) levantamento, previsão, avaliação e prevenção de riscos coletivos; b) análise permanente das vulnerabilidades perante situações de risco; c) Informação e formação das populações, visando a sensibilização; d) planeamento de soluções de emergência; e) Inventariação de recursos e meios disponíveis e facilmente mobilizáveis para as atividades de proteção civil; f) estudo e divulgação de formas adequadas de proteção de edifícios em geral, monumentos, bens culturais, infraestruturas, património arquivístico; instalações de serviços essenciais; bem como do ambiente e recursos hídricos; g) previsão e planeamento de ações atinentes à eventualidade de isolamento de áreas afetadas por riscos.

2. PDM - PLANO DIRETOR MUNICIPAL DO PORTO

A cidade do Porto, em 2015, deu início à elaboração da 2ª Revisão do Plano Diretor Municipal (PDM), com realização de processo participativo junto à população (PORTO, 2020).

Segundo ABGE, 2013 é necessário incluir considerações sobre os perigos e risco de movimentos de massa no planejamento e uso do solo. A carta de riscos naturais foi considerada como uma das plantas de ordenamento para o planejamento territorial. Após o período de discussão pública, o PDM foi aprovado pela Câmara municipal em maio de 2021, e aprovado pela Assembleia Municipal em 01 de junho de 2021, entrando em vigor a partir desta data.

A presente pesquisa buscou o quanto possível o enquadramento dos taludes em estudo nos mapas do PDM, para avaliar possíveis interferências e considerá-las no cálculo do risco, no âmbito das consequências. Bem como buscou analisar o conteúdo do PDM, tanto com leituras de mapas e relatórios, como em visita à maquete digital e visitas ao campo para observação dos pontos elencados pelo plano diretor. Desta forma, acredita-se correlacionar os aspectos geológico-geotécnicos com o planejamento urbano e uso do solo.

2.1. A Estrutura do PDM do Porto

A estrutura do PDM do Porto é composta pelo regulamento; pelas plantas de ordenamento; planta de condicionantes; e cartas complementares conforme observa-se na Figura 2.1. Além do serviço de *web map* interativo disponível para consulta.

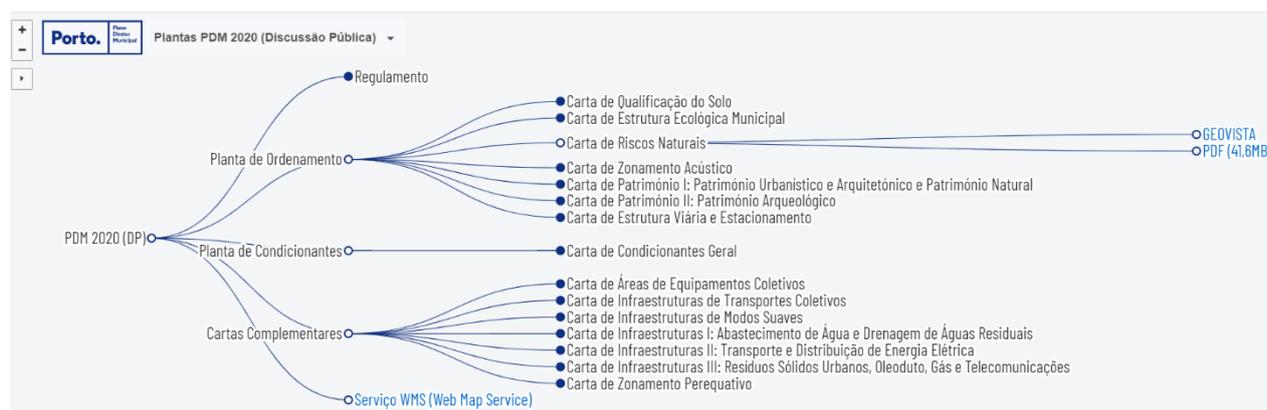


Figura 2.1- Tela Inicial dos mapas interativos do PDM do Porto (PORTO, 2020 <https://geopdm.cm-porto.pt/>)

Conforme PORTO, 2020, o Regulamento estabelece as normativas do PDM e as regras para a ocupação e uso do solo, as quais estão representadas graficamente nos mapas. As Plantas

de Ordenamento são documentos gráficos que indicam o modelo espacial do território. Já a Planta de Condicionantes identifica quaisquer interferências que possam constituir limitações ou impedimentos para o aproveitamento do solo, como servidões administrativas e as restrições de utilidade pública. Nesse âmbito, a carta de riscos naturais constitui uma planta de ordenamento, mas suas informações também estão consolidadas na Carta de Condicionantes.

2.1.1. *Plantas de ordenamento*

A seguir, breve descrição do conteúdo de cada planta de ordenamento.

Carta de Qualificação do Solo

Esta carta indica, dentre outras informações, as áreas de qualificação funcional (espaços centrais, de atividades econômicas, verdes e frente mar ou rio, para equipamentos especiais, área de infraestruturas, área urbana de baixa densidade); qualificação operativa (espaços consolidados ou não); propostas de canais de circulação; área de intervenção do PDM; ou se é UOPG - Unidade Operativa de Planejamento e Gestão, que são áreas com projetos específicos previstos e de responsabilidade do município, como o Parque Oriental. Interferências dos taludes podem ser observadas na comparação com este mapa.

Carta de Estrutura Ecológica Municipal

Pode-se observar neste mapa a proposta ecológica para a cidade, com indicação das estruturas e áreas de interesse existentes e propostas pelo PDM, tais como: áreas frente ao mar ou rio; linhas de água ou bacias de retenção tanto existentes, projetadas e potenciais; se área declivosa ou de aluvião; se espaços verdes fundamentais; se em corredores verdes projetados.

Carta de Riscos Naturais

A carta de riscos naturais está apresentada na Figura 2.2 e foi obtida no site do PDM (PORTO, 2020). Este mapa indica: áreas de instabilidade de vertentes (em vermelho quadriculado zona instável ou potencialmente instável); uma atualização das áreas suscetíveis à inundação (em azul tracejado); linhas de água enterrada ou a c eu aberto; áreas de salvaguarda da orla costeira ( reas críticas, sujeitas a erosão costeira, ou galgamento oceânico). Também pode-se observar a divisão de freguesias (em cor cyan).



Figura 2.2- Carta de Riscos Naturais e limites de freguesias (PORTO, 2020; PORTO, 2003)

Demais cartas de ordenamento

O Zoneamento Acústico sinaliza áreas sensíveis e mistas. A Carta de Patrimônio I indica áreas de interesse para patrimônio urbanístico e arquitetônico (com uma lista de 50 locais), e áreas de patrimônio natural biofísico (com indicação de locais de árvores já classificadas como de interesse ou em vias de classificação) e patrimônio natural geofísico (como o complexo metamórfico da Foz do Douro). Esta planta de patrimônio I é relevante para o enquadramento dos taludes que podem abranger árvores e locais de interesse. A Carta de Patrimônio II indica 100 locais com valor arqueológico ou com potencial valor arqueológico, também de importância para o enquadramento dos taludes e cálculo do risco, especificamente na mensuração das consequências. A Carta de Estrutura Viária e Estacionamento apresenta as vias de serviço nacional, de ligação inter-níveis, de serviço municipal e áreas de estacionamento tanto atuais quanto projetadas. Essas informações são relevantes para taludes em análise de risco que sejam adjacentes a estas vias ou possam causar algum dano às mesmas.

2.1.2. *Planta Geral de Condicionantes*

Esta carta tem relevância para o cálculo das consequências relacionadas a rupturas de taludes e potenciais impactos em estruturas essenciais como: rede de abastecimento de água, rede elétrica, gasoduto e oleoduto, redes viárias, domínio hídrico; espécies florestais protegidas ou de interesse público; patrimônio; estabelecimentos prisionais e de defesa, dentre outros.

2.1.3. *Plantas complementares*

Com vistas ao enquadramento dos taludes em estudo nesta pesquisa nas infraestruturas da cidade, as plantas complementares indicadas na Figura 2.1 apresentam informações georreferenciadas sobre equipamentos coletivos, transportes coletivos e modos suave, abastecimento de água e drenagem de águas residuais, transporte e distribuição de energia elétrica, resíduos sólidos urbanos, oleoduto, gás, telecomunicações.

2.2. Maquete digital do PDM

Durante visita técnica à maquete do PDM foi possível visualizar todas as cartas que o compõem de forma interativa, o que facilitou a identificação de aspectos relevantes do uso e ocupação do solo, das divisões administrativas das freguesias, de aspectos fisiográficos e de riscos naturais; percepções que foram complementadas e validadas pelas referências bibliográficas consultadas e por visitas de campo.

A maquete digital 3D interativa do Porto foi disponibilizada pela Câmara Municipal para facilitar a consulta pública ao PDM. Todas as cartas que constituem o plano diretor, listadas na Figura 2.1, podem ser projetadas em uma base física construída a partir do Modelo Digital de elevação (MDE) do concelho do Porto. A Figura 2.3 A) apresenta a vista da maquete digital com o mapa de riscos em evidência, bem como o painel de controle para seleção dos mapas a serem projetados na base da maquete. A Figura 2.3 B) mostra além da carta de riscos projetada sobre o MDE, a urbanização do concelho do Porto.



Figura 2.3- Visualização da maquete digital do Porto e do painel de controle. A) Vista do MDE e carta de riscos; B) Vista do MDE, carta de riscos, e urbanização de Porto.

2.3. Divisão administrativa em freguesias

O concelho do Porto é constituído por sete freguesias listadas a seguir, sendo três consideradas União de Freguesias conforme divisão administrativa vigente (<https://www.cm-porto.pt/municipio/freguesias>):

1. União das Freguesias de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde.
2. União das Freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória.
3. União das Freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos.
4. Bonfim.
5. Campanhã.
6. Paranhos.
7. Ramalde.

A localização e limites dessas freguesias dentro do território de Porto estão apresentados na Figura 2.4, e numeradas de 1 a 7 para facilitar a identificação no mapa do município. As imagens

das freguesias foram obtidas por fotografia na visita técnica à maquete digital de Porto. A Figura 2.4 mostra como pano de fundo o MDE de Porto, bem como apresenta em vermelho as áreas de riscos naturais, mapeadas desde a Carta Geotécnica de Porto (PORTO, 2003) e mantidas no PDM, conforme também apresentado na Figura 2.2.

2.4. Localização das áreas mapeadas no PDM com riscos naturais, por freguesia

2.4.1. *União das Freguesias de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde.*

Nessa freguesia foi mapeado em PORTO (2003) e mantido em PORTO (2020) as áreas críticas a riscos naturais conforme a seguir. As imagens com a indicação de áreas de risco no Porto podem ser verificadas na Figura 2.2 e Figura 2.4 1).

Áreas de salvaguarda da orla costeira

Áreas consideradas críticas na orla entre o Rio Douro e Matosinhos são três: i) na divisa entre Porto e Matosinhos, especificamente na saída do Parque da Cidade para a praia, na Via do Castelo do Queijo, entre a Praça de Gonçalves Arco e a Praça do Salvador; ii) trecho da Foz do Douro na Avenida de D. Carlos I entre a Rua de D. Luiz Filipe e até pouco antes da R. Cel. Raul Péres, conforme ilustrado na Figura 2.5; iii) na própria R. Cel. Raul Péres com Esplanada do Castelo até a Av. do Brasil.

Estão também assinaladas na carta de riscos naturais a faixa de salvaguarda a erosão costeira, para o horizonte temporal de 2050 e 2100, entre a Foz do Douro e Praça do Salvador, em Matosinhos.

Faixas de salvaguarda ao galgamento oceânico e inundação costeira para horizonte temporal de 2050 e 2100 estão indicadas para toda a costa, do Rio Douro à Matosinhos, bem como áreas contíguas de salvaguarda na praia.

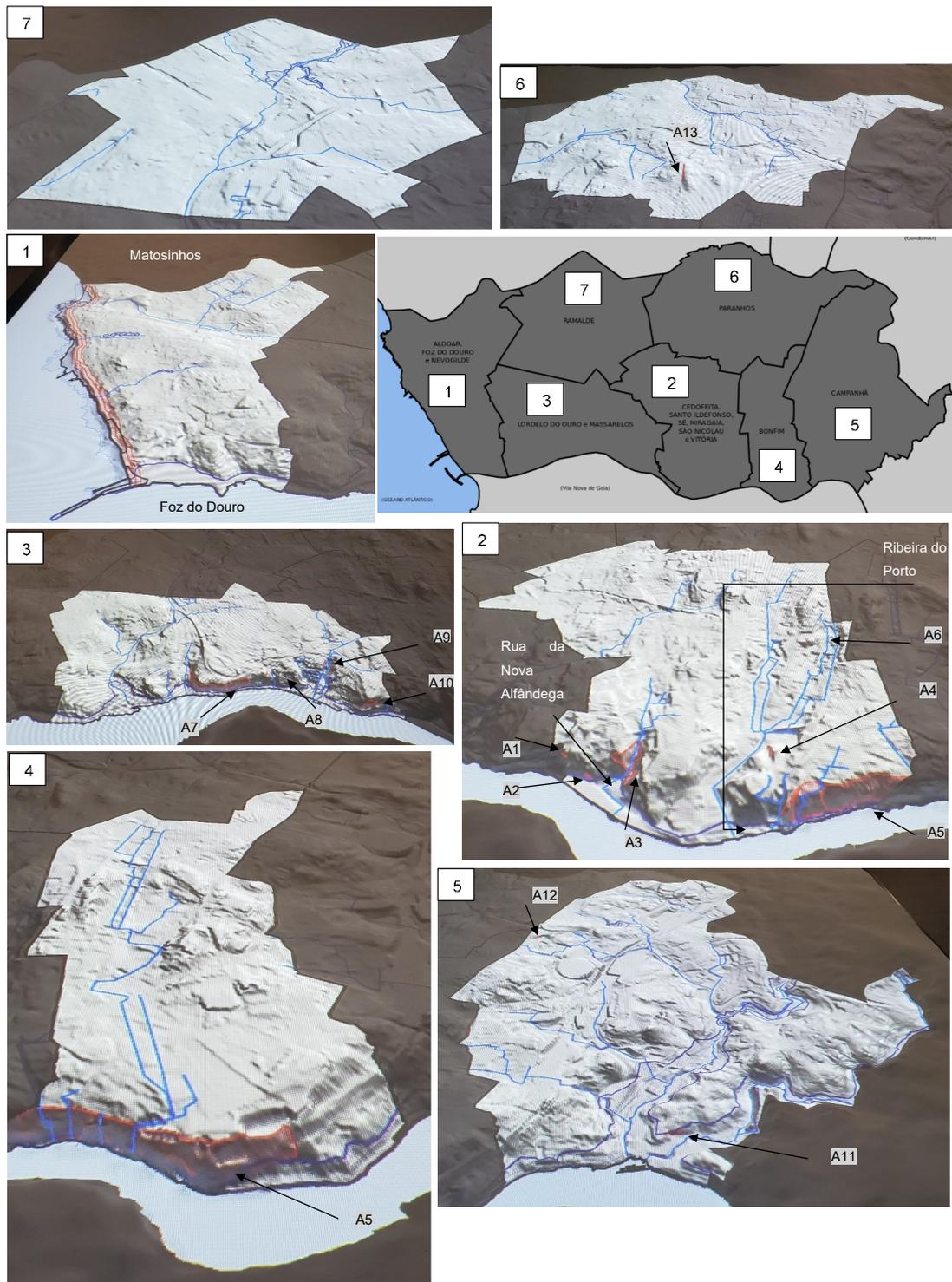


Figura 2.4- Freguesias de Porto e sua localização no concelho (Fotos das freguesias do arquivo pessoal da autora, a partir da maquete de Porto; e mapa de Porto com divisões administrativas de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Porto_freguesias_2013.svg)



Figura 2.5- Vista da Av. D. Carlos I no sentido da Foz do Rio Douro.

Áreas inundáveis

Essa freguesia tem três áreas previstas como inundáveis: i) margem do Rio Douro; ii) área verde que se inicia na R. da Igreja de Nevogilde e que possui uma linha de água a céu aberto; iii) área verde próxima à R. do Ribeirinho, que também possui uma linha de água a céu aberto. As áreas citadas em ii e iii fazem parte da UOPG 1 – Unidade Operativa de Planeamento e Gestão aprovada pelo plano diretor. Serão mantidas no PDM como área verde de fruição coletiva, e as margens dos córregos como área verde de proteção e enquadramento.

Áreas de instabilidade de vertentes

Não estão previstas em PORTO (2003; 2020) áreas de instabilidade de vertentes para a União de freguesias de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde.

2.4.2. União das Freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória.

O mapeamento apresentado em PORTO (2003) para essa freguesia, em relação às áreas críticas à riscos naturais, foi mantido em PORTO (2020). As imagens com a indicação de áreas de risco no Porto podem ser verificadas na Figura 2.2 e Figura 2.4 item 2).

Áreas inundáveis

A freguesia da Cedofeita possui áreas inundáveis previstas somente nas margens do Rio Douro, com apenas dois pontos de atenção, onde a mancha de inundação entra para o território com maior extensão. Os pontos de atenção estão localizados: i) na rua Nova da Alfândega, no quarteirão que abrange a rua dos Armazéns, sobre uma linha de água enterrada; ii) na Ribeira do Porto, no quarteirão da Rua São João com Cais da Estiva, também sobre uma linha de água enterrada. As áreas inundáveis desta união de freguesias estão ilustradas na Figura 2.6.



Figura 2.6- Vista da área com risco de inundação em frente a R. Nova Alfândega (à esquerda) e na Praça da Ribeira do Porto (à direita). (Imagens do Google).

Áreas de instabilidade de vertentes

De acordo com PORTO (2003; 2020) as áreas de instabilidade de vertentes para a União de freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória são as citadas a seguir, com numeração correspondente à indicada na Figura 2.4.

- Área 1 (A1) – Rua de Sobre o Douro: neste local encontra-se uma encosta verticalizada, com muro de pedras em um trecho, e tela metálica e tirantes em outro trecho, conforme observa-se na Figura 2.7. O local próximo à R. da Restauração faz parte da freguesia de Lordelo de Ouro e Massarelo, mas está considerado na Área 2. Os trechos encontram-se em área histórica conforme planta de Qualificação e Uso do Solo do PDM.



Figura 2.7- Vista da Área 1, mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020;2003).

- Área 2 (A2) – Escadas das Sereias: neste local encontra-se um talude rochoso estabilizado com tela metálica e tirantes, conforme observa-se na Figura 2.8. Trata-se de área histórica, conforme planta de Qualificação e Uso do Solo do PDM.



Figura 2.8- Vista da Área 2, mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020;2003).

- Área 3 (A3) – Parque do Horto das Virtudes: neste local encontra-se terraceamentos construídos há tempos remotos e atualmente a compor um parque arborizado e com cobertura vegetal. Observa-se muros de pedras para contenção das encostas conforme Figura 2.9. Esta área encontra-se mapeada como área verde de fruição coletiva conforme planta de Qualificação e Uso do Solo do PDM.

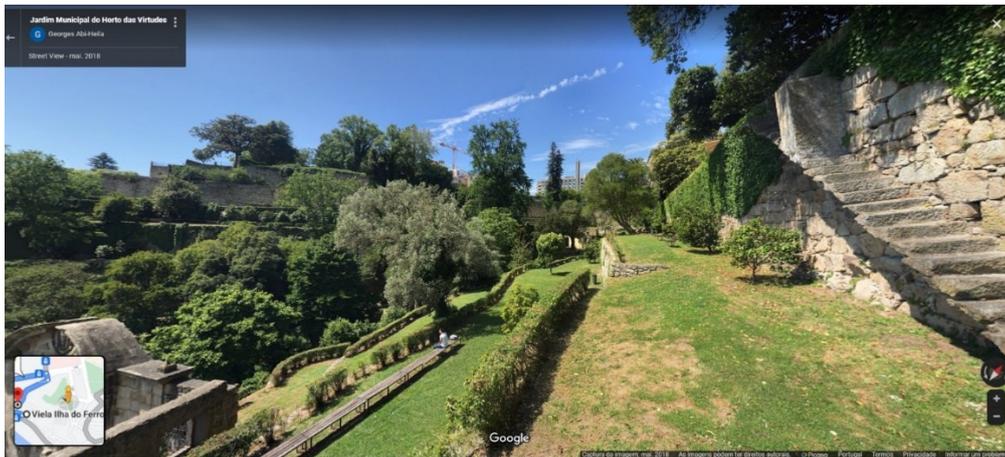


Figura 2.9- Vista da Área 3, mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020;2003).

- Área 4 (A4) – Av. de Dom Afonso Henriques: neste local encontra-se um talude rochoso, estabilizado com tela metálica e tirantes (Figura 2.10), e que teve o risco analisado por BORGES, 2017.

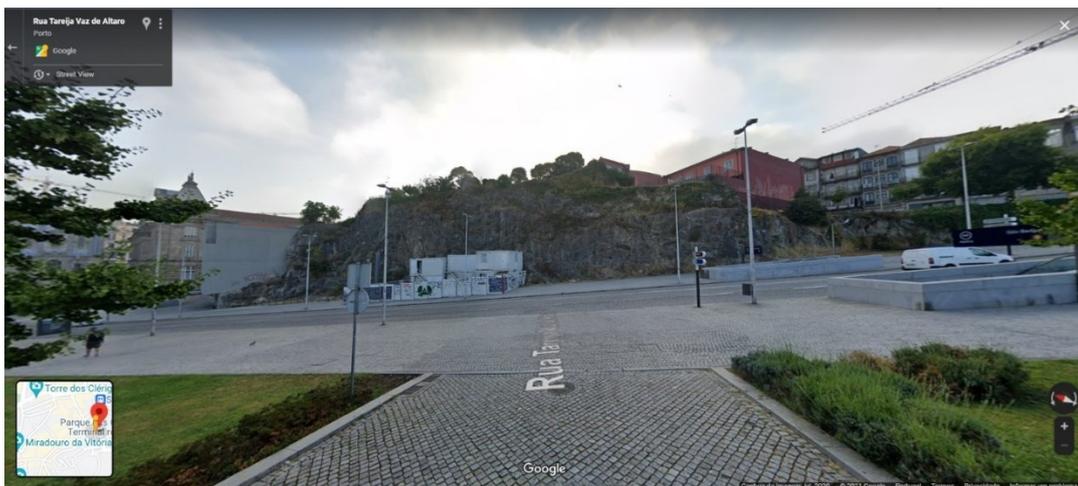


Figura 2.10- Vista da Área 4, mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020; 2003) e BORGES (2017).

- Área 5 (A5) – Av, Gustavo Eiffel: nesta área ilustrada na Figura 2.11 observa-se uma encosta de taludes rochosos, desde sob a Ponte D. Luís I, passando sob as Pontes do Infante e Maria

Pia até a Ponte de São João, suscetíveis a quedas de blocos, e estabilizados por soluções de tela metálica e tirantes, cortina atirantada em alguns trechos, e muros de pedras antigas. Surgências nas faces dos taludes ocorrem em alguns pontos, provenientes de percolações subsuperficiais e linhas de água que passam pelo local. O trecho dessa encosta sob a Ponte D. Luis I até a altura da R. Miradouro com Passeio de Fontainhas está como área histórica na carta de uso e qualificação do solo vigente. Desse ponto até a Ponte de São João, a encosta é considerada área verde de uso coletivo. Entre a Calçada das Carquejeiras e Passeio das Fontainhas também se enquadra como área histórica.



Figura 2.11- Vista da Área 5, mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020; 2003).

- Área 6 (A6) – Rua de Gonçalo Cristóvão com Rua das Carvalheiras: nesta área, ilustrada na Figura 2.12, observa-se desnível entre o prédio de estacionamento e a área externa. A área assinalada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020; 2003) está com cobertura vegetal. Na carta de qualificação do solo compreende uma área de equipamento coletivo.



Figura 2.12- Vista da Área 6, mapeada na carta de riscos em PORTO (2020; 2003).

2.4.3. *União das Freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos.*

O mapeamento realizado das freguesias Lordelo do Ouro e Massarelos em PORTO (2003), das áreas críticas à riscos naturais, foi mantido em PORTO (2020). Podem-se verificar os desenhos das áreas críticas na Figura 2.2 e Figura 2.4 item 3).

Áreas inundáveis

Essa união de freguesias possui áreas inundáveis previstas somente nas margens do Rio Douro. Três pontos de atenção, onde a mancha de inundação ocupa o território com maior extensão, são: i) R. D. Pedro de Meneses com R. das Sobreiras, o qual está sobre uma linha de água enterrada e aberta em pequeno trecho na chegada ao Rio Douro; ii) R. do Ouro, entre a Calçada do Ouro e a R. da Mocidade da Arrábida, que está também sobre uma linha enterrada de água; iii) R. do Ouro com D. Pedro V, também sobre linhas enterradas de  gua. As áreas inundáveis desta união de freguesias estão ilustradas na Figura 2.13, sendo em A) a área da R. D. Pedro de Meneses, em B) a área da R. Pedro V, e em C) a R. do Ouro na altura da Calçada do Ouro.

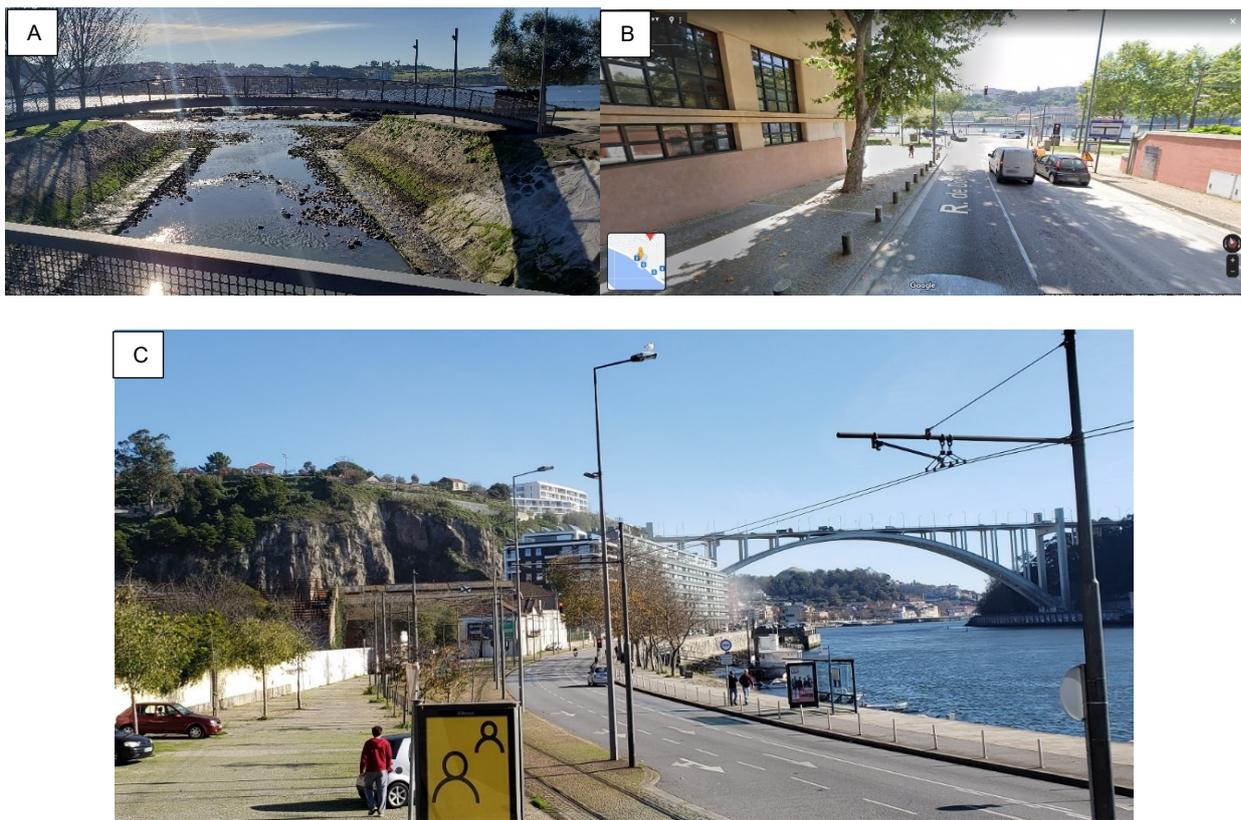


Figura 2.13- Vista de áreas inundáveis na União de Freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos, conforme PORTO (2020, 2003). Em A) Trecho da R. Pedro de Meneses; B) Trecho da R. Pedro V (imagem do google); C) Trecho da Calçada do Ouro.

Áreas de instabilidade de vertentes

De acordo com PORTO (2003; 2020) as áreas de instabilidade de vertentes para a União de freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos são as citadas a seguir, com numeração correspondente à indicada na Figura 2.4.

- Área 7 (A7) – Rua da Mocidade da Arrábida: neste local encontra-se uma encosta em rocha com extensão margeando o Rio Douro até pouco depois da Ponte da Arrábida. O talude encontra-se na maior parte de sua extensão estabilizado com tela metálica e tirantes para erradicar ou minimizar os riscos de quedas de blocos e tombamento. Na Figura 2.13 pode-se observar a encosta rochosa no cruzamento da R. do Ouro com R. Mocidade da Arrábida. A encosta rochosa se mantém até após a Ponte da Arrábida, também visualizada nessa figura. De acordo com a Carta de Qualificação do Solo, a encosta está classificada como área verde de proteção e enquadramento, além de trecho parcial na R. da Mocidade da Arrábida estar na UOPG 5.
- Área 8 (A8) – Talude da Via Panorâmica Edgar Cardoso: no local assinalado na carta de riscos naturais como instável ou potencialmente instável, encontram-se taludes rochosos intercalados com pequenas espessuras de solo residual e depósitos superficiais, sendo um trecho com muro de contenção de pedra rompido conforme Figura 2.14 A). Observa-se uma árvore de grande porte na crista deste talude. Na mesma via panorâmica, no sentido oeste, observam-se taludes em solo residual pouco espesso, intercalados com porções rochosas e depósitos superficiais, conforme Figura 2.14 B) e C). Nesse local foram observadas algumas árvores inclinadas, e sugere-se monitoramento, quanto a possibilidade de rastejo. Conforme a carta de qualificação do solo vigente, o local possui caracterização como área verde de preservação e enquadramento.



Figura 2.14- Vista da Área 8. A) Área mapeada como instável ou potencialmente instável em PORTO (2020;2003); B) e C) Talude próximo à área 8, com árvores inclinadas.

- Área 9 (A9) – Av. de Dom Pedro V: no local assinalado na carta de riscos naturais como instável ou potencialmente instável, encontra-se um talude rochoso, com aparente umidade na face, e um muro de pedra na crista, conforme Figura 2.15. Conforme a carta de qualificação do solo vigente é uma área de frente urbana contínua do tipo I, em que as intervenções devem privilegiar a preservação e requalificação conforme PORTO (2020).



Figura 2.15- Talude em rocha na R. D. Pedro V.

- Área 10 (A10) – Av. da Restauração: no local assinalado na carta de riscos naturais como instável ou potencialmente instável, encontra-se um talude rochoso, em parte de sua extensão

com um muro construído na crista, que é divisa com o Jardim do Palácio de Cristal. Trata-se de área verde de fruição coletiva conforme carta de qualificação do solo vigente (PORTO, 2020).

2.4.4. *Bonfim*

Áreas inundáveis

As áreas inundáveis segundo PORTO (2020; 2003) são uma pequena faixa adjacente ao Rio Douro, com um ponto de atenção para a Av. de Paiva Couceiro após a Ponte Maria Pia no sentido leste, pois neste local a mancha de inundação possui maior área de abrangência.

Áreas de instabilidade de vertentes

A área instável ou de potencial instabilidade de vertente pertencente à freguesia de Bonfim já foi citada na freguesia de Cedofeita, Área 5.

2.4.5. *Campanhã*

Áreas inundáveis

As áreas inundáveis segundo PORTO (2020) e PORTO (2018) são as margens do Rio Tinto e do Rio Torto, a partir do Rio Douro, até o limite do concelho do Porto; bem como a Rua Amorim de Carvalho e a Rua Silva Ramos.

A margem do Rio Tinto foi percorrida a pé para esta pesquisa. Já a margem do Rio Torto somente foi reconhecida a pé no trecho próximo à R. da Levada e imagens do Google Earth. As margens do Rio Tinto foram transformadas em parque conforme PORTO (2020) e estão enquadradas no PDM com usos múltiplos, desde área verde de proteção e enquadramento (área adjacente ao curso de água), até área para equipamentos e infraestrutura, área de moradias, espaços urbanos de baixa densidade, dentre outros. O Parque Oriental está como UOPG 12. Já as margens do Rio Torto estão como área verde lúdico-produtiva, espaços urbanos de baixa densidade dentre outros. Poucas construções foram observadas na área com potencial de inundação, tanto no Rio Tinto quanto no Rio Torto, conforme ilustrado na Figura 2.16. A Rua Amorim de Carvalho, próximo à estação do metrô Nasoni e na Rua Silva Ramos, próximo à estação de metrô Nau Vitória, também se trata de área com risco à inundação.



Figura 2.16- Margens do Rio Tinto, no Parque Oriental de Campanhã.

Áreas de instabilidade de vertentes

De acordo com PORTO (2003; 2020) as áreas de instabilidade de vertente para Campanhã correspondem àquelas indicadas como A11 e A12 na Figura 2.4, imagem 5. A Figura 2.17 ilustra o talude mapeado como instável ou potencialmente instável em Campanhã (A11). A Figura 2.18 ilustra o talude rochoso da R. Vigorosa, o qual passava por obras de estabilização quando ocorreu a visita técnica em novembro de 2020 (A12).



Figura 2.17- Vista da Área 11, talude instável com moradias construídas na crista.



Figura 2.18- Vista da Área 12, talude rochoso em obras.

2.4.6. *Parranhos*

Áreas inundáveis

Parranhos possui uma área mapeada como inundável segundo PORTO (2020), que é o Parque da Asprela, o qual está enquadrado como área verde de proteção e enquadramento.

Áreas de instabilidade de vertentes

A área instável ou de potencial instabilidade de vertente mapeada em PORTO (2020, 2003) é na Rua de Faria Guimarães (Área 13 na Figura 2.4), e constitui um talude rochoso estabilizado com solução de tela metálica e tirantes, conforme Figura 2.19. Este talude pertence ao parque Quinta do Covelo, o qual enquadra-se em área verde de preservação, conforme PDM de Porto.



Figura 2.19- Talude rochoso da Quinta do Covelo, Parranhos.

2.4.7. Ramalde

Áreas inundáveis

Ramalde possui uma área inundável conforme PORTO (2020; 2018), a qual está como área verde de proteção e enquadramento, e localiza-se próximo ao cruzamento das ruas Central do Viso e Ramalde do Meio. São áreas adjacentes à cursos de água a céu aberto.

Áreas de instabilidade de vertentes

Não há áreas de instabilidade conforme PORTO (2020; 2018; 2003).

2.4.8. Lista síntese de áreas de instabilidade conforme PDM, para todo o concelho

As áreas de instabilidade de vertente ou de potencial instabilidade, conforme Carta de Riscos Naturais de PORTO (2020; 2003) estão listadas na Tabela 2.1. Para fins de pesquisa bibliográfica e reconhecimento dos riscos mapeados no concelho de Porto estas áreas foram visitadas. A maioria das áreas possui risco associado a taludes rochosos, contudo, foi verificada a possibilidade de escorregamentos de solo nessas áreas, associados aos movimentos de massa em rocha.

Tabela 2.1- Lista das áreas de instabilidade de vertente conforme PDM vigente

Área	Freguesia	Descrição	Localização
A1	Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória	Talude rochoso, com obras de estabilização em parte da sua extensão. Dois trechos principais: um com tela e tirantes, e outro com muro ou sem estabilização.	R. Sobre-o-Douro Porto 41.145357, -8.624981 https://goo.gl/maps/MSw3qJR5cRyoT1Fj9
A2	Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória	Talude rochoso estabilizado com tela metálica e tirantes, em área histórica.	Escadas das Sereias Porto 41.144154, -8.622105 https://goo.gl/maps/NHfDNse5Eng9uWyN9
A3	Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória	Vale com encostas íngremes estabilizadas pela construção de terraceamentos e estabilização com muros de pedra.	R. De Azevedo De Albuquerque ,Porto 41.14517,-8.6191178 https://goo.gl/maps/P5d74niiYcjvhjZ17
A4	Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória	Talude rochoso, estabilizado com tela metálica e tirantes.	Av. Dom Afonso Henriques Porto 41.144427, -8.610666 https://goo.gl/maps/GVjtiFqHpxN8bbP17
A5	Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória	Encosta nas margens do Douro, com algumas surgências provenientes de linha de água ou percolações difusas subsuperficiais. Estabilizado em parte por tela metálica e tirantes, ou cortina atirantada, ou muros de contenção quando mais a leste.	Av. Gustavo Eiffel Porto 41.141524, -8.606769 https://goo.gl/maps/48EPmSq49mdwxhfB9
A6	Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória	Talude rochoso estabilizado com tirantes.	Rua de Gonçalo Cristóvão Porto 41.153395, -8.606591 https://goo.gl/maps/vVoCgxsjDGWK6hYG6
A7	Lordelo do Ouro e Massarelos	Encosta nas margens do Douro, estabilizada em parte por tela metálica e tirantes, ou muros de contenção quando mais a leste.	R. do Ouro Porto 41.148088, -8.643141 https://goo.gl/maps/WcAzfYJeWtWc5XJBA
A8	Lordelo do Ouro e Massarelos	Taludes rochosos intercalados com pequenas espessuras de solo residual e depósitos superficiais, sendo um trecho com muro de contenção de pedra rompido.	Via Panorâmica Edgar Cardoso Porto 41.149297, -8.637654 https://goo.gl/maps/Tg4xCvBDKhtL2Sm19 https://goo.gl/maps/WcAzfYJeWtWc5XJBA

Área	Freguesia	Descrição	Localização
A9	Lordelo do Ouro e Massarelos	Talude rochoso estabilizado com tirantes intercalados com pequenas espessuras de solo residual e depósitos superficiais, sendo um trecho com muro de contenção de pedra rompido.	R. de Dom Pedro V Porto 41.150231, -8.630089 https://goo.gl/maps/9UwZmTu7jXijZsBM7 https://goo.gl/maps/WcAzfYJeWtWc5XJBA
A10	Lordelo do Ouro e Massarelos	Talude rochoso com muro do Jardim do Palácio de Cristal na Crista.	Rua da Restauração Porto 41.145405, -8.626546 https://goo.gl/maps/hsMpCep5xPAVKn8A8 https://goo.gl/maps/WcAzfYJeWtWc5XJBA
A11	Campanhã	Talude rochoso e intercalações de solo e saprolito, verticalizado, com feições erosivas, e moradias na crista.	R. do Freixo Porto 41.144918, -8.575795 https://goo.gl/maps/jaLXH6BEFxf58Fwj9
A12	Campanhã	Talude rochoso estabilizado com tela metálica e tirantes.	R. da Vigorosa 4350-343 Porto 41.165988, -8.586974 https://goo.gl/maps/WLvLWQYYGcoNdhFe7
A13	Parranhos	Talude rochoso estabilizado com tela metálica e tirantes.	R. de Faria Guimarães 4200-293 Porto 41.167243, -8.606452 https://goo.gl/maps/upByfura7Kuzue8z6

2.5. Síntese fisiográfica, geológica e geomorfológica

A presente síntese fisiográfica, geológica e geomorfológica das informações relevantes para a pesquisa foi realizada pela observação da maquete digital de Porto (Figura 2.3), pelas percepções obtidas nos trabalhos de campo, bem como pelo estudo das referências bibliográficas. Não será realizada uma análise exaustiva do tema, visto que as referências citadas no texto se encontram substancialmente detalhadas e podem ser consultadas.

O Rio Douro, que tem sua foz entre o concelho de Vila Nova de Gaia e Porto, juntamente com o contexto geológico histórico, esculpíram escarpas predominantemente de granito na parte central e histórica, com alta declividade e altitude, ao sul; e em menor proporção observam-se áreas com rochas metamórficas representadas predominantemente pelos xistos grauváquicos na porção oriental do município que abrange os vales do Rio Tinto e Rio Torto; e gnaisses e xistos representando os metassedimentos na porção ocidental e litorânea, de menores altitudes e

declividades, dentre outras formações. Esses aspectos podem ser observados na Figura 2.20, Carta Geológica do Porto, e na Figura 2.21, Carta Geomorfológica do Porto.

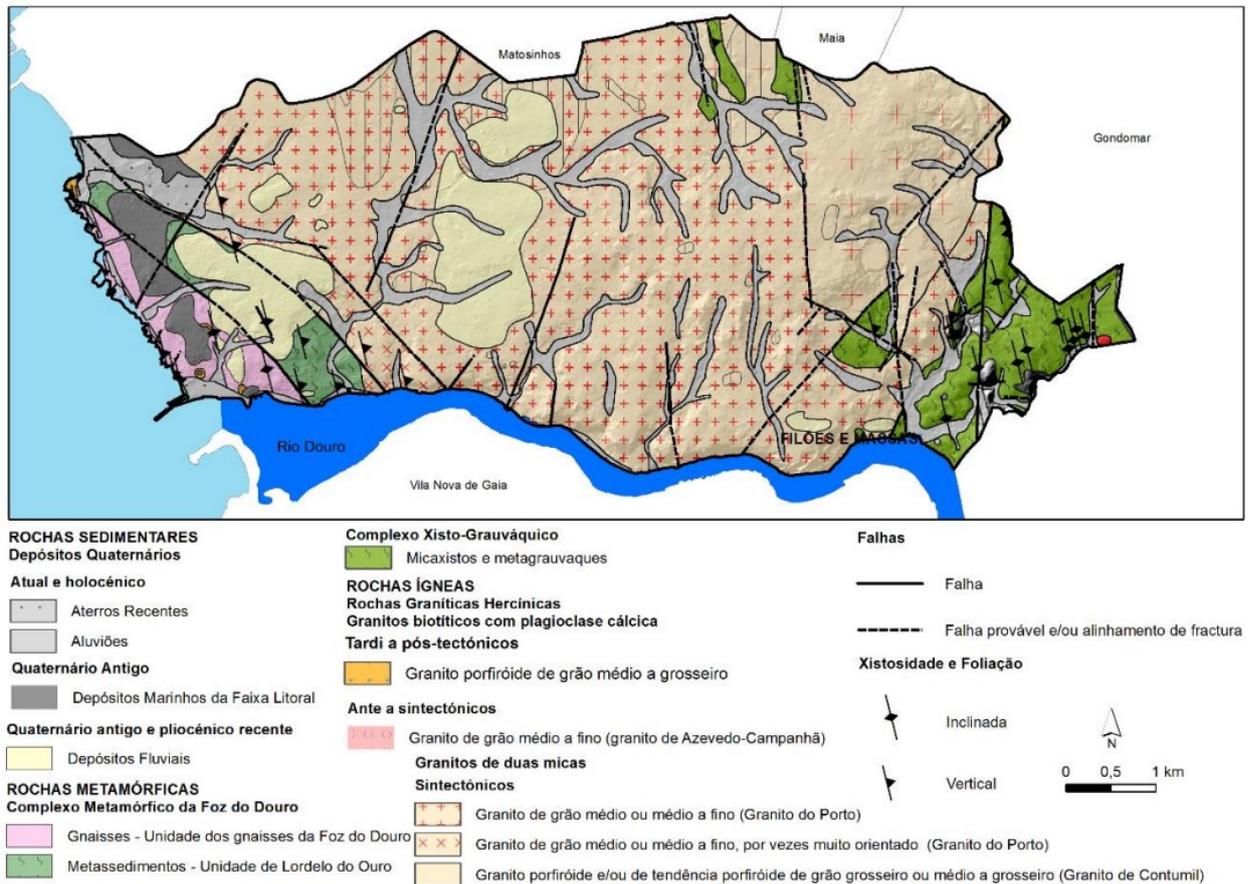


Figura 2.20- Carta geológica do Porto (PORTO, 2018; PORTO, 2003)

Conforme a Carta Geotécnica do Porto (PORTO, 2003) e Figura 2.20, existem três tipos de rocha que compõem o território de Porto: sedimentares, metamórficas e ígneas. No conjunto das rochas sedimentares tem-se os depósitos quaternários que incluem: i) aterros recentes constituídos de materiais naturais ou artificiais, provenientes de escavação ou não, e podem ser oriundos de obras ou outra atividade antrópica, por exemplo aqueles construídos na base do Parque da Cidade, porção ocidental, na marginal da circunvalação, ou na foz do Douro para construção das vias junto ao mar; ii) aluviões, constituídos por sedimentos argilosos e arenosos, presentes principalmente na área de inundação dos rios Tinto e Torto, e utilizados por vezes na agricultura devido à fertilidade, uso este observado mais frequentemente nas margens do Rio Torto; iii) depósitos marinhos, concentrados na faixa litoral na Foz do Douro e Nevogilde, com textura arenosa e seixos rolados de praias antigas (terraços marinhos), e que comprovam a regressão marítima; iv) depósitos fluviais, constituídos de areias grossas e cascalhos, considerados como

terraços fluviais, nas áreas por exemplo da Av. Marechal Gomes da Costa, na Pasteleira (Igreja do Cristo Rei), na Rotunda da Boavista, em Ramalde (cemitério de Aldoar) e Prelada (Quinta da Seda).

Ainda segundo PORTO (2003), as rochas metamórficas dividem-se em dois conjuntos distintos, o Complexo Metamórfico da Foz do Douro (CMFD) e o Complexo Xisto-Grauváquico (CXG). O CMFD se localiza na parte ocidental e é composto por: i) gnaisses (Unidade dos gnaisses da Foz do Douro), os quais são provenientes de deformação do granito (ortognaisses) e afloram na orla de Porto; ii) metassedimentos (Unidade Lordelo de Ouro) constituídos por micaxistos associados por vezes com anfíbolitos e rochas calcossilicatadas, muito dobrados, sendo nítida a discordância entre as foliações desses em relação às foliações dos gnaisses (que se contacta aos metassedimentos a NE e SW), sendo o contato dos metassedimentos com o granito do Porto (de duas micas de grão médio a médio a fino) na zona Lordelo do Ouro, apresentando por vezes litologias semelhantes a gnaisses e migmatitos com foliação N110 a 130°E subvertical, justificadas devido à proximidade do contato; iii) anfíbolitos, que ocorrem na praia da luz e exibem cor negra esverdeada. Já o CXG é constituído por micaxistos e metagrauvaques, com ocorrência na zona oriental da cidade e apresentam vestígios do encaixe metamórfico com granito, e por isso se apresentam frequentemente cortados por esse material. A atitude da xistosidade principal revela-se constante N20°W a N40°W, 50°E a subvertical e mantém-se mesmo quando os micaxistos ocorrem em pequenos retalhos no seu interior, sendo também frequente uma fraturação N10°E a N20°E, subvertical. Além das adjacências dos Rios Tinto e Torto, foi mapeada em PORTO (2003) essa formação na altura do Hospital São João, em Parranhos, entre Rua da Asprela e Rua da Arroteia, intercalada ao granito do Porto e Contumil.

A carta geotécnica do Porto (PORTO 2003) também descreve as litologias do grupo das rochas ígneas, que se constitui por dois tipos principais: i) granito biotítico com plagioclase cálcica, que pode ter grão médio a grosseiro e porfíróide, onde está assente o Castelo do Queijo, pequenos afloramentos na praia da Luz e zona da Cantareira, por vezes com orientação da biotita N130°E que se intensifica no contato com os metassedimentos do CMFD; ou pode ter grão médio a fino, não porfíróide, presente em pequenas manchas nos metassedimentos do CXG onde intruem com alinhamentos de orientação NS a N20°W, na parte oriental da cidade (Azevedo-Campanhã); ii) granito de duas micas que predomina na cidade, e que pode ser o granito do Porto (de grão médio, por vezes ligeiramente orientado e rico em moscovita sempre mais que biotita, e contato com os micaxistos do CMFD com um alinhamento NW-SE que passa pela Arrábida, e por vezes pode ser

mais grosseiro com tendência porfiróide, e em algumas áreas com intensa caulinição dos feldspatos ligada à fluidos hidrotermais e assinalada no mapa por hachura com linhas verticais pretas), ou o granito de Contumil (presente em Areosa e Contumil na zona NE da cidade, grão grosseiro ou médio a grosseiro, com tendência porfiróide, sendo a moscovita a mica predominante mas por vezes pode haver biotita em igual proporção).

Em relação aos aspectos fisiográficos, observa-se na Figura 2.21 que o relevo do concelho de Porto foi dividido nas seguintes unidades morfológicas, conforme PORTO (2018): vertentes do Douro; vales dos rios afluentes (Rio Tinto, Rio Torto, e rio da Ribeira da Granja à oeste); planalto superior; plataforma intermediária e plataforma inferior junto à faixa litoral.

A análise hipsométrica que embasou a definição das unidades morfológicas por PORTO 2018, a partir do MDE de Porto, apresenta que as altitudes do concelho variam de 0 a 159 m, com a seguinte distribuição: 29% do território com altitudes entre 0 e 60 m, nas áreas dos vales dos rios e da plataforma inferior; 32% com altitudes entre 61 e 90 m na plataforma intermediária; e 39% com altitudes entre 91 e 159 m, no planalto. As declividades são predominantemente baixas, sendo 86,5% declividades menores que 10°, distribuídas por todo território, mas principalmente na faixa litorânea e freguesia de Ramalde; 10,6% entre 11° e 20°, com ligeira concentração nas proximidades dos vales dos Rios Tinto e Torto, mas também distribuídas em proximidades de outros cursos de água enterrados ou não; 2,6% do território com declividades entre 21° e 40°, concentradas nas encostas do Rio Douro e entorno, nas proximidades do estádio do Dragão, em uma faixa paralela ao curso do Rio Tinto à oeste do mesmo, próximo às margens do Rio Torto; e por fim 0,3% do território com declividade entre 41° e 79°, nas mesmas regiões que a faixa anterior, com concentração nas margens do Rio Douro.

A Carta Geomorfológica do Porto (Figura 2.21) apresenta as falhas e/ou fraturas existentes ou prováveis, além de zonas instáveis ou potencialmente instáveis, críticas ou menos críticas para movimentos de massa e quedas de blocos, as quais estão apresentadas na Tabela 2.1. Ainda na Figura 2.21, observam-se locais de ocorrências de processos da dinâmica superficial e obras em andamento e finalizadas quando da elaboração da carta.

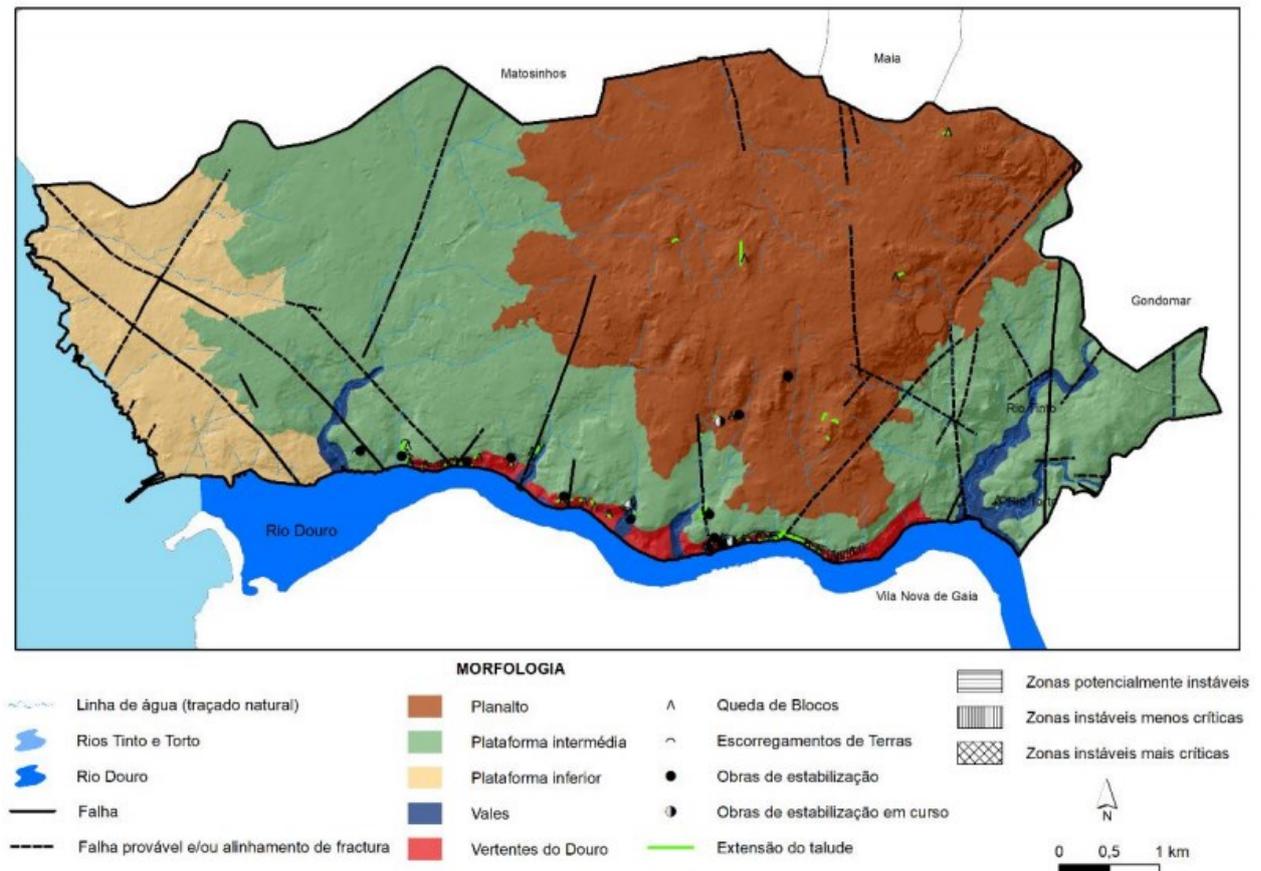


Figura 2.21- Carta geomorfológica do Porto (PORTO, 2018; PORTO, 2003)

3. CARTA GEOTÉCNICA DO PORTO

3.1. Documentos que compõem a carta geotécnica

A Carta Geotécnica do Porto (PORTO, 2003) foi apresentada como documento oficial do município em 2003. É um estudo robusto, que além das cartas temáticas necessárias para as análises, apresenta dois mapas síntese que são a Carta de Zoneamento Geotécnico e a Carta de Condicionantes do Subsolo. Importante ressaltar que a base de dados também apresenta extensa gama de informações alfanuméricas sobre prospecções e ensaios já realizados no município, além da Notícia Explicativa, com indicações de metodologias, dados de ensaios e investigações, e detalhamento de legendas e informações das cartas. A Figura 3.1 apresenta de forma esquemática os documentos que fazem parte da carta geotécnica.

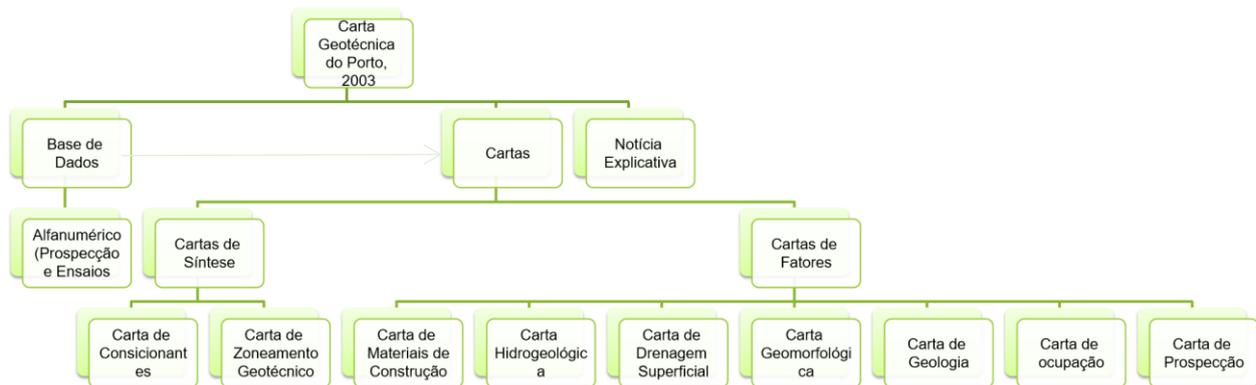


Figura 3.1- Documentos que compõem a carta geotécnica do Porto (Desenhado a partir de PORTO, 2003)

3.2. Carta de zoneamento geotécnico

3.2.1. *Introdução*

A Figura 3.2 apresenta a Carta Geotécnica do Porto (PORTO, 2018) adaptada a partir de dados de PORTO (2003), com a indicação de doze unidades geotécnicas com características específicas, além de indicar os limites das unidades, falhas identificadas ou prováveis e/ou alinhamento de fraturas.

A carta geotécnica foi embasada em informações de ocorrências de movimentos de massa, pesquisa bibliográfica em relatórios e mapas de referência, e em um extenso banco de dados de ensaios de laboratório e campo, o que foi possível com a colaboração de 40 instituições dentre empresas privadas, públicas e universidades, que disponibilizaram informações relevantes. Somente para a elaboração da carta de prospecção geotécnica e análise dos resultados de ensaios para caracterização das unidades geotécnicas, pode-se citar os seguintes quantitativos de investigações:

- 174 prospecções geofísicas: perfis sísmicos de refração (112) e sondagens elétricas (62);
- 4273 prospecções mecânicas: sondagens (3673), trados (345), poços (178), amostras colhidas em talude ou superfície remexidas (59) ou intactas (18);
 - Ao longo das sondagens, trados e poços foram realizados 21793 SPT, 108 ensaios pressiométricos, 309 ensaios de injeção e 79 de bombeamento.
- 621 ensaios *in situ*: penetrômetros dinâmicos PD (456), penetrômetros estáticos CPT (33), ensaios de carga (4), ensaios com esclerômetro (128);

- 3011 ensaios de laboratório: análise granulométrica (552), limites de Atterberg (411), equivalente areia (100), peso volúmico total, seco, saturado, e das partículas (609), teor de umidade (331), teor de matéria orgânica (4), porosidade (56), permeabilidade (15), ensaios de compactação Proctor Normal + CBR (60+40), ensaio oedométrico (24), ensaio de cisalhamento direto (39), ensaio triaxial (49), ensaio sísmico de ultra som (11), compressão uniaxial (252), ensaio de tração (75), ensaio de carga pontual (377), ensaio de cisalhamento de diaclases (6).

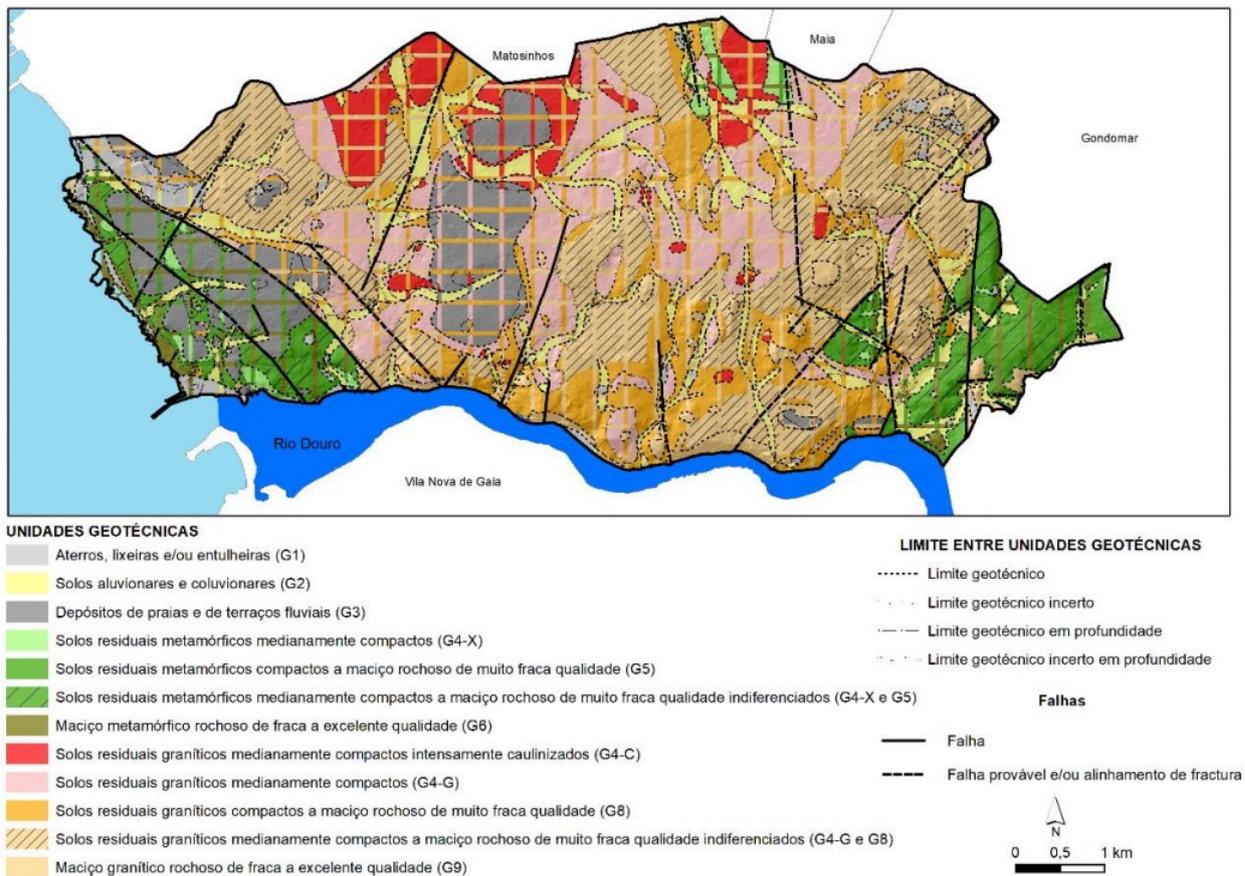


Figura 3.2- Carta Geotécnica do Porto (PORTO, 2018; PORTO, 2003)

Também se ressalta que foi realizado na carta geotécnica do Porto o tratamento de dados de forma exaustiva, com determinação de valores médios, mediana, e comparação de resultados dos parâmetros geotécnicos para diferentes métodos de obtenção, de forma a se obter valores representativos, os quais estão indicados na síntese das características das principais unidades geotécnicas.

3.2.2. Características principais das unidades geotécnicas

A equipe técnica da carta geotécnica do Porto adotou as especificações da Associação Internacional de Geologia de Engenharia e do Ambiente (AIEG ou IAEG) como referência para a definição das unidades geotécnicas. A AIEG considera os seguintes aspectos: identificação do tipo litológico com base nas propriedades petrográficas; descrição das propriedades das rochas e solos com base na cor, textura, dimensão de partículas, grau de alteração, compacidade ou consistência e resistência; descrição das propriedades dos maciços necessárias à sua classificação com base na estrutura, descontinuidades e perfil de alteração (IAEG, 1981).

3.2.2.1. Tabelas de referência para classificação dos solos e rochas

Sistemas de classificação de solos e rochas foram adotados em PORTO (2003). Para os materiais rochosos destaca-se a utilização da proposta da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (SIMR, 1977) para avaliar a resistência à compressão uniaxial; o estado de alteração do maciço; e o espaçamento das descontinuidades (Tabela 3.1, Tabela 3.2 e Tabela 3.3 respectivamente); bem como a proposta de Deere *et al* (1988) para avaliar a qualidade do maciço a partir o RQD – Rock Quality Designation, obtido nas sondagens rotativas ou mistas, conforme Tabela 3.4.

Tabela 3.1- Resistência à compressão uniaxial (SIMR, 1978)

Intervalos (Mpa)	Símbolos	Designações
0,25 a 1	R0	Extremamente fraco
1 a 5	R1	Muito fraco
5 a 25	R2	Fraco
25 a 50	R3	Medianamente forte
50 a 100	R4	Forte
100 a 250	R5	Muito forte
>250	R6	Extremamente forte

Tabela 3.2- Estados de alteração de um maciço (SIMR, 1978)

Termo	Descrição	Designações
São	Não ocorrem sinais visíveis de intemperismo	W1
Pouco alterado	A descoloração do maciço indica intemperismo ao longo das descontinuidades e também da rocha	W2
Medianamente alterado	Menos da metade da rocha encontra-se decomposta e/ou desintegrada para um solo. Rocha sã ou descolorada está presente no maciço	W3
Muito alterado	Mais da metade da rocha encontra-se decomposta e/ou desintegrada para um solo. Rocha sã ou descolorada está presente no maciço	W4

Termo	Descrição	Designações
Decomposto	Todo o material da rocha está decomposto ou desintegrado para um solo. A estrutura da rocha original encontra-se bem preservada.	W5
Solo residual	Todo o material da rocha foi convertido para um solo. A estrutura e orientação dos minerais do maciço foram destruídos. Ocorreu grande variação de volume e o solo não sofreu transporte significativo.	W6

Tabela 3.3- Espaçamentos de descontinuidades (SIMR, 1977)

Intervalos (cm)	Símbolos		Designações	
>200	F1	F1-2	Muito afastadas	Afastadas
60 a 200	F2		Afastadas	
20 a 60	F3	F3	Medianamente afastadas	Medianamente afastadas
6 a 20	F4	F4-5	Próximas	Próximas
<6	F5		Muito próximas	

Tabela 3.4- Qualidade do maciço por RQD (Deere, 1964, Deere et al, 1988)

RQD	Qualidade do maciço
0 a 25%	Muito fraca
25 a 50%	Fraca
50 a 75%	Razoável
75 a 90%	Boa
90 a 100%	Excelente

Para maciços terrosos, a carta geotécnica do Porto avalia a resistência a partir de correlação com o N_{SPT} (soma do número de golpes para penetração dos últimos 30 cm do amostrador padrão no ensaio SPT, a cada metro), conforme Tabela 3.5. A obtenção de informações e parâmetros geotécnicos a partir de correlação com o N_{SPT} foi o método mais utilizado na carta geotécnica devido ao maior número destes ensaios em relação aos demais.

Tabela 3.5- Classificação de solos a partir do N_{spt} (Terzaghi & Peck, 1948(1); Peck, Hanson & Thombum, 1974(2))

Classificação de solos não coesivos ⁽¹⁾						
Compacidade	Muito soltos	Soltos	Medianamente compactos	Compactos	Muito compactos	
N_{SPT}	0 a 4	4 a 10	10 a 30	30 a 50	>50	
Classificação de solos coesivos ⁽²⁾						
Consistência	Muito moles	Moles	Consistência média	Duros	Muito duros	Rijos
N_{SPT}	0 a 2	2 a 4	4 a 8	8 a 15	15 a 30	>30

Correlações a partir de resultados de classificação de solos por sistemas que levam em consideração os resultados dos ensaios de granulometria e limites de Atterberg também são utilizados na carta geotécnica. Especificamente a classificação unificada de solos USCS - *Unified Soil Classification System*, inicialmente desenvolvida por Arthur Casagrande para análise de solos de base de pistas de aeroportos e atualmente utilizada em várias aplicações geotécnicas; e a classificação AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials, desenvolvida para fins de análise de solos para utilização na construção de rodovias.

A Tabela 3.6 mostra algumas correlações a partir da classificação dos grupos no sistema USCS, as quais não foram apresentadas na carta geotécnica, mas apresentam-se nesta pesquisa para servir de referência na análise dos taludes de solo em estudo. Também de forma complementar, indica-se a Tabela 3.7 e Tabela 3.8 para classificação dos solos quanto à plasticidade e permeabilidade respectivamente.

Tabela 3.6- Correlações a partir da classificação de solos USCS (Adaptado de BUREAU OF RECLAMATION, 1998)

Símbolo de grupo	Descrição	Trabalhabilidade como material de construção	Permeabilidade de (compactado)	Resistência (compactado e saturado)	Compressibilidade (compactado e saturado)	Y _{dmá} x	Uso como fundação	Drenabilidade
GW	Pedregulho bem graduado	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	20,0 a 22,0	-	Excelente
GP	Pedregulho mal graduado	Boa	Desprezível	Boa	Desprezível	18,0 a 20,0	-	Excelente
GM	Pedregulho silteoso	Boa	Semi a permeável	Boa	Desprezível	19,0 a 22,0	Boa a excelente	Regular a má
GC	Pedregulho argiloso	Boa	Impermeável	Regular a boa	Muito pequena	18,5 a 21,0	-	Má
SW	Areia bem graduada	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	17,5 a 21,0	-	Excelente
SP	Areia mal graduada	Regular	Permeável	Boa	Muito pequena	16,0 a 19,0	Má a boa	Excelente
SM	Areia silteosa	Regular	Semi a permeável	Boa	Pequena	17,5 a 20,0	Má a boa	Regular a má
SC	Areia argilosa	Boa	Impermeável	Regular a boa	Pequena	17,0 a 20,0	Má a boa	Má
ML	Silte de baixa compressibilidade	Regular	Semi a permeável	Regular	Média	15,0 a 19,0	Muito má	Regular a má
CL	Argila de baixa compressibilidade	Regular a boa	Impermeável	Regular	Média	15,0 a 19,0	Má a boa	Má
OL	Orgânico de baixa compressibilidade	Regular	Semi a permeável	Baixa	Média	13,0 a 16,0	Má	Má
MH	Silte de alta compressibilidade	Má	Semi a permeável	Baixa a regular	Alta	11,0 a 15,0	Má	Regular a má
CH	Argila de alta compressibilidade	Má	Impermeável	Baixa	Alta	12,0 a 17,0	Regular a má	Má
OH	Orgânico de alta compressibilidade	Má	Impermeável	Baixa	Alta	11,0 a 16,0	Muito má	Má

Símbolo de grupo	Descrição	Trabalhabilidade como material de construção	Permeabilidade de (compactado)	Resistência (compactado e saturado)	Compressibilidade (compactado e saturado)	$Y_{dmáx}$	Uso como fundação	Drenabilidade
Pt	Turfa	Não recomendada a utilização para aterros e fundações pois a compactação é extremamente difícil, recalques excessivos são habituais e resistência é muito baixa.						

Tabela 3.7- Classes de plasticidade do solo (PORTO, 2003)

IP (%)	Descrição
0 – 1	Não plástico
1 – 7	Baixa
7 - 17	Média
17 - 35	Alta
> 35	Muito alta

Tabela 3.8- Classes de permeabilidade segundo Therzaghi e Peck (1967)

Tipo de solo	Classe de permeabilidade	Valor de k (cm/s)
Solo de permeabilidade alta	Alto	Acima de 10^{-1}
Solo de permeabilidade média	Médio	10^{-1} a 10^{-3}
Solo de permeabilidade baixa	Baixo	10^{-3} a 10^{-5}
Solo de permeabilidade muito baixa	Muito baixo	10^{-5} a 10^{-7}
Solo praticamente impermeável	Impermeável	Menor que 10^{-7}

3.2.2.2. Síntese das características das unidades geotécnicas

A partir dos métodos de classificação de solos e rochas citados e das características de cada unidade geotécnica, apresenta-se a Tabela 3.9 com dados extraídos da carta geotécnica do Porto, e no item subsequente, a síntese descritiva de cada unidade geotécnica. Os parâmetros de resistência indicados são uma escolha da autora desta pesquisa a partir da leitura e análise do robusto tratamento dos dados que a carta geotécnica apresenta. Não se recomenda a utilização destes parâmetros fora do âmbito da pesquisa, pois, em escala local de taludes para fins de projetos de estabilização e contenção, recomenda-se rever os parâmetros com a realização de ensaios de laboratório e/ou campo com amostras extraídas *in situ*.

Litologia	Unidade Geotécnica		Classificação ⁽⁰⁾		Sondagens	Parâmetros Geotécnicos ⁽⁰⁾					
			Solos (SUCS)	Rochas		Peso específico (KN/m ³)	Coesão efetiva (kPa)	Ângulo de atrito efetivo (°)	Plasticidade	Permeabilidade (cm/s)	Compressibilidade
Formações graníticas (Granito do Castelo do Queijo e Cantareira, granito de Contumil, Granito do Porto, Granito de Azevedo-Campanhã)	G4-C	Solos residuais graníticos medianamente compactos intensamente caulinizados	SM, SC, CL, (MH, ML) ⁽¹⁾	W6	10 < N _{SPT} < 30, (4 < N _{SPT} < 10) ⁽¹⁾	δ _d = 14,5; δ _{nat} = 18,5; δ _s = 26,5	8 a 18	33 a 39	Materiais não plásticos são 31% das amostras, de média plasticidade 37% das amostras, de baixa e alta plasticidade são 16% das amostras por grupo.	k=2x10 ⁻⁶ e k=3x10 ⁻⁴ e índices de vazios entre 0,6 e 0,8.	Sem dados
	G4-G	Solos residuais graníticos medianamente compactos	SM, SC, (CL, ML) ⁽¹⁾	W6	10 < N _{SPT} < 30, (4 < N _{SPT} < 10) ⁽¹⁾	δ _d = 16,5; δ _{nat} = 18,5; δ _s = 26,5	15 a 25 (8)	30 a 37	Materiais não plásticos (44% das amostras), média plasticidade (37% das amostras), baixa plasticidade (15% das amostras)	Entre k _{cc} =5x10 ⁻⁵ e k=7x10 ⁻⁴ índices de vazios entre 0,6 e 0,7	Cr entre 0,016 e 0,041, e Cc entre 0,126 e 0,269
	G8	Solos residuais graníticos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade	SM, (SC) ⁽¹⁾	W5-6, F5	N _{SPT} > 30, R0 (R1) ⁽¹⁾	δ _d = 16,0; δ _{nat} = 18,0; δ _s = 26,5	12 a 27, (8)	18 a 23 (cisalhamento direto) ⁽⁹⁾ , 31 e 37 (triaxiais)	Materiais não plásticos (81% das amostras), média plasticidade (7% das amostras), baixa plasticidade (12% das amostras)	Entre k=3x10 ⁻³ e k=1x10 ⁻⁴ índices de vazios entre 0,6 e 0,9	Cr entre 0,013 e 0,037, e Cc entre 0,172 e 0,343
	G4-G e G8	Solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados	SM, (SC) ⁽¹⁾	W4-5, F4-5	N _{SPT} > 50, R1-0 (R2) ⁽¹⁾	Ver G4 e G8	Ver G4 e G8	Ver G4 e G8	Ver G4 e G8	Ver G4 e G8	Ver G4 e G8
	G9	Maciço granítico rochoso de fraca a excelente qualidade	-	W3 (W4) ⁽¹⁾ , F2-4 (F5) ⁽¹⁾ p/G9A e W2-3, F2-3 (F1-2, F3-4) p/G9B	25% < RQD < 75%, R2-3 (R1, R4) ⁽¹⁾ p/G9A e RQD > 75%, e R2-4 (R5) ⁽¹⁾ p/G9B	δ _{nat} de 22 a 26	Sem dados	Sem dados	-	Entre k=2x10 ⁻⁶ e k=4x10 ⁻³	-

Notas: (0) Para observações sobre as escolhas dos parâmetros e classificação ver carta geotécnica e descrição dos grupos nesta pesquisa; (1) Menor ocorrência; (2) Não se dispõe de resultados de ensaios, ou seu número é muito reduzido; (3) No mapa geotécnico esta unidade é apresentada como G4-X e G5, mas na nota explicativa está como G5-B. (4) Valor de φ adotado a partir de correlações com ensaio SPT e CPT, já que havia somente 1 ensaio triaxial UU e um cisalhamento direto com valores diferentes. (5) valores médios adotados nesta pesquisa a partir dos dados de Porto, 2003. (6) Permeabilidade obtida para 1 amostra de areia siltosa, em ensaio K_{cc}, com tensão de pré-adensamento de 40 kPa. (7) para o grupo G5-B, solos CL estão em menor quantidade, e os ensaios são poucos. (8) Valor estimado a partir da resistência à compressão uniaxial utilizando um valor médio de ângulo de atrito. (9) Valores baixos de ângulo de atrito hipoteticamente relacionados a descontinuidades, ou outra causa.

3.2.2.2.1. Aterros (G1)

Conforme PORTO (2003), os aterros na cidade são inúmeros e com heterogeneidade elevada. Para fins da carta geotécnica foram mapeados os mais representativos em termos de área e profundidade, sendo ilustrados no mapa da Figura 3.2 os aterros presentes na Foz e marginal do Rio Douro, com ocorrência principal devido a acertos topográficos e construções. Já o aterro da antiga pedreira de Contumil situado ao norte de Campanhã, bem como o aterro do Parque da Cidade situado em Aldoar/Nevogilde são mais heterogêneos e associados a entulheiras ou antigas áreas de depósitos de lixo e entulho (Figura 3.3).



Figura 3.3- Vista de áreas de aterro no Parque da Cidade na freguesia de Nevogilde à esquerda (<https://www.google.pt/maps/@41.1676246,-8.672981,2a,75y,265.14h,81.77t/data=!3m6!1e1!3m4!1sC2ZLvISQbGfmcuaTQFJhkQ!2e0!7i13312!8i6656>) e na Rua Virginia Moura na freguesia de Campanhã à direita (https://www.google.pt/maps/@41.1740528,-8.5739216,3a,75y,353.38h,91.27t/data=!3m6!1e1!3m4!1ssWp_lJUej3SvQWecNC7Jmw!2e0!7i16384!8i8192).

Os pesos específicos aparente seco do solo, natural, e das partículas foram 17,5; 18,0; e 26,5 kN/m³ respectivamente, e correspondem a valores médios de inúmeros ensaios realizados e apresentados na Carta Geotécnica. Em relação à análise textural dos materiais de aterro terrosos, conforme pode-se observar na Tabela 3.9, predomina-se areias siltosas e argilosas (SM e SC), sendo as argilas de baixa ou alta compressibilidade (CL e CH) de baixa ocorrência no grupo G1. Em termos de plasticidade, os materiais deste grupo são predominantemente Não-Plásticos (45% das amostras), ou em menor proporção de plasticidade baixa (23%) ou média plasticidade (29%), conforme classificação da Tabela 3.7.

Os aterros são materiais de permeabilidade média a alta, na maioria dos casos. Conforme PORTO (2003) foi obtido um valor abaixo do esperado para o coeficiente de permeabilidade, $k=3 \times 10^{-6}$ cm/s, o que corresponde a uma permeabilidade muito baixa conforme Tabela 3.8. Contudo, foi realizado somente um ensaio, e com amostra pré-adensada com uma tensão de 40 kPa, o que pode não ser representativo para a unidade geotécnica.

Em relação aos parâmetros de resistência, os valores de ϕ indicados entre 28° e 35° foram adotados a partir de correlações com ensaio SPT e CPT, já que havia somente um ensaio triaxial UU e um cisalhamento direto com valores diferentes. A coesão obtida foi nula ou muito baixa, condizente com o material inconsolidado que compõe os aterros. Os índices de compressibilidade indicam $C_r = 0,029$ e $C_c = 0,323$ com índice de vazios inicial de 1,204. Contudo, somente 1 ensaio edométrico foi realizado. Os aterros investigados possuem em maioria espessura até 3 m, com profundidade máxima de 11,5m, e nível freático associado à sua base (PORTO, 2003).

3.2.2.2.2. Solos aluvionares e coluvionares (G2)

Os solos aluvionares e coluvionares ocorrem geralmente acompanhando as linhas de água, em baixas profundidades e por vezes sobrepostos por aterros. Possuem maior dimensão no final do Rio Tinto e Torto. A Figura 3.4 mostra uma área de depósito aluvionar do Rio Tinto com cobertura vegetal. Por vezes, à montante, encontra-se áreas de menor dimensão sem cobertura vegetal e com processos erosivos.



Figura 3.4- Depósitos aluvionares nas margens do Rio Tinto próximo à foz, com cobertura vegetal (<https://www.google.pt/maps/@41.1502875,-8.5748356,3a,75y,16.6h,82.47t/data=!3m6!1e1!3m4!1sAF1QipMmGvXF5fusO6zVYK0GA8NGMARB34IEKaPbQwJ!2e10!7i6080!8i3040..>)

Os colúvios ocorrem em áreas com maior declividade, como observado na Alameda de Cartes, Campanhã, e na região da Via Panorâmica. Os pesos específicos aparente seco do solo, natural, e das partículas foram 17,0; 18,5; e 25,5 kN/m³ respectivamente, e correspondem a valores médios de inúmeros ensaios realizados.

Em relação à análise textural dos colúvios e alúvios, conforme pode-se observar na Tabela 3.9, predomina-se areias siltsosas e siltes de baixa compressibilidade (SM, ML), sendo

as argilas de baixa ou alta compressibilidade, os siltes de alta compressibilidade e os pedregulhos siltosos (CL, MH, CH, GM) de baixa ocorrência no grupo G2, e em termos de plasticidade pode apresentar alta heterogeneidade. Predominam os materiais não plásticos (49% das amostras) conforme classificação da Tabela 3.7, depois de média plasticidade (37% das amostras), de baixa plasticidade são 11% das amostras, e ainda 3% das amostras são muito plásticas, sendo a única formação recente com esta ocorrência.

Os colúvios e alúvios apresentam permeabilidade entre $k=2 \times 10^{-6}$ cm/s e $k=2 \times 10^{-5}$ cm/s o que corresponde ao intervalo de muito baixa permeabilidade conforme Tabela 3.8. Estes valores inferiores podem ser por influência da fração argila e silte, bem como do índice de vazios que variou entre 0,7 e 0,9.

Em relação aos parâmetros de resistência, os valores de coesão e ângulo de atrito estão muito heterogêneos, sendo que ϕ varia entre 22° e 38°, obtidos nos ensaios triaxiais tipo CU e cisalhamento direto, sendo os valores menores que 30° associados a solos finos. Já para correlação com NSPT, os valores estão entre 26° e 33°. A coesão obtida em ensaio triaxial varia de 3 a 10 kPa, enquanto no cisalhamento direto varia de 0 a 19 kPa. Esta variabilidade ressalta a necessidade de realização de ensaios locais para subsidiar projetos futuros de estabilização.

Os índices de compressibilidade variam com C_r entre 0,002 e 0,018, e C_c entre 0,129 e 0,331, com índices de vazios inicial entre 0,7 e 0,9, demonstrando menor potencial de compressibilidade que os aterros. Os colúvios e alúvios investigados possuem, em sua maioria, espessura até 2 m e nível freático na base, contudo foram observados de grande espessura no final do rio Torto e Tinto, e do Rio Douro, com até 48 m. Neste caso, os níveis freáticos podem não ser associados à base. Estes materiais podem estar sotopostos a aterros (PORTO, 2003).

3.2.2.2.3. Depósitos de praia e terraços (G3)

Os depósitos de praia e terraços conforme PORTO (2003), foram parcialmente retirados devido a obras. Atualmente, percebe-se que essas áreas estão intensamente mais urbanizadas do que na época de elaboração da carta geotécnica, o que sugere que a retirada destes depósitos já é mais significativa. Observa-se na carta geotécnica (Figura 3.2) que estes depósitos estão concentrados na parte ocidental desde a divisa com Matozinhos até a Foz do Douro, e são intercalados com as formações metamórficas desta área. Os depósitos também são observados em Ramalde, na altura da Av. Cidade de Xangai com Circunvalação, conforme Figura 3.5.



Figura 3.5- Vista de áreas de depósitos e terraços de praia
(<https://www.google.pt/maps/@41.1719346,-8.6327841,3a,75y,120.42h,72.7t/data=!3m6!1e1!3m4!1sTvbiaqfOOKLMVBMDUSVN2g!2e0!7i16384!8i8192>)

Segundo PORTO (2003), os materiais que compõe o grupo G3 são bastante heterogêneos, constituídos de camadas de seixos e cascalhos intercalados com areias e argilas. Os pesos específicos aparente seco do solo, e das partículas foram 15,0 e 26,5 kN/m³ respectivamente, e não se dispõe de valor para o peso específico natural.

Em relação à análise textural do grupo G3, pode-se observar na Tabela 3.9, que predomina-se areias siltosas e argilas de baixa compressibilidade (SM, CL), sendo os pedregulhos argilosos, as areias argilosas e siltes de baixa ou alta compressibilidade (GC, SC, ML, MH) de baixa ocorrência no grupo G3, em termos de plasticidade pode apresentar alta heterogeneidade. Predominam os materiais de média plasticidade (44% das amostras) conforme classificação da Tabela 3.7, depois de alta plasticidade (25% das amostras), de baixa plasticidade são 12% das amostras, e ainda 19% das amostras são não plásticas. Não se dispõe de ensaios de permeabilidade apresentados na carta geotécnica, mas os índices de vazios estão entre 0,7 e 0,8. Em relação aos parâmetros de resistência, não há dados de ensaios, sendo que ϕ varia entre 30° e 37°, obtidos por correlação com o NSPT; e entre 34° e 39°, obtidos por correlação com o ensaio CPT (PORTO, 2003). Os índices de compressibilidade variam com C_r entre 0,008 e 0,012, e C_c entre 0,149 e 0,167, baixa compressibilidade.

Os depósitos de praia e terraços ocorrem em espessuras inferiores a 4m em 75% dos locais investigados pela equipe da Carta Geotécnica, podendo chegar a 11,5 m no extremo, com níveis freáticos associados à sua base (PORTO, 2003).

3.2.2.2.4. Solos residuais graníticos medianamente compactos (G4-G)

Os solos residuais graníticos são predominantes na cidade, por ser o granito a litologia mais frequente. A carta geotécnica diferencia grupos a partir de características relacionadas ao grau de alteração da rocha e/ou solo e dos minerais constituintes que influenciam no comportamento geotécnico. Não há uma diferenciação de grupos geotécnicos por litologia, mas claro que a mesma interfere nos solos formados. Segundo PORTO (2003), a alteração no granito ocorre primeiramente por desagregação formando solos mais arenosos, os quais se enquadram no grupo G4-G; e já na segunda fase ocorre o processo de argilização com caulinição dos feldspatos e por vezes associado à oxidação das micas que causa a coloração dos solos, que se enquadram no grupo G4-C. O grupo G4-G é mais utilizado na construção civil e o G4-C oferece mais condicionantes segundo a carta geotécnica, mas os dois foram relatados com muitos dados de ensaios devido à área de abrangência e quantidade de obras realizadas sobre os mesmos na cidade.

Os solos do grupo G4-G estão localizados predominantemente no planalto e plataforma intermediária à oeste de Porto (Figura 2.21 e Figura 3.2). São áreas de baixa declividade e urbanizadas, conforme ilustra a Figura 3.6. Uma ocorrência da Proteção Civil na Praça Pedra Verde, Aldoar, foi registrada e faz parte do grupo G4-G.



Figura 3.6- Vista da praça próxima à Rua Ferreira Borges em São Nicolau
 (https://www.google.pt/maps/@41.1408814,-8.6149831,3a,45y,355.02h,90.07t/data=!3m7!1e1!3m5!1sG4Q_uJpgpmcuq2ZydfQvyA!2e0!6shttps:%2F%2Fstreetviewpixels-pa.googleapis.com%2Fv1%2Fthumbnail%3Fpanoid%3DG4Q_uJpgpmcuq2ZydfQvyA%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D159.2059%26pitch%3D0%26thumbfov%3D100!7i16384!8i8192)

Os materiais que compõe o grupo G4-G são bastante heterogêneos. O granito Contumil, que é mais porfiróide e grosseiro dá origem a solos arenosos e pedregulhoso de menor plasticidade e maior resistência; já o granito Azevedo-Campanhã de grão mais fino dá origem

a solos mais finos, plásticos e menos resistentes. Os pesos específicos médios aparente seco do solo, natural, e das partículas são 16,5; 18,5 e 26,5 kN/m³ respectivamente (PORTO, 2003).

Em relação à análise textural do grupo G4-G, pode-se observar na Tabela 3.9 que predominam areias siltosas e areias argilosas (SM, SC), sendo as argilas e siltes de baixa compressibilidade (CL, ML) de baixa ocorrência nesse grupo. Em termos de plasticidade predominam os materiais não plásticos (44% das amostras), depois de média plasticidade (37% das amostras), de baixa plasticidade (15% das amostras). Não foram encontradas amostras de alta ou muito alta plasticidade. O coeficiente de permeabilidade obtido em amostras de SM e SC foi entre $k_{cc}=5 \times 10^{-5}$ cm/s e $k_{cc}=7 \times 10^{-4}$ cm/s, e índices de vazios entre 0,6 e 0,7.

Em relação aos parâmetros de resistência efetivos obtidos em ensaios triaxiais, de cisalhamento direto e de campo obteve-se que o ϕ varia entre 30° e 37°, e a coesão entre 15 e 25 kPa. Os índices de compressibilidade em ensaios edométricos variam com C_r entre 0,016 e 0,041, e C_c entre 0,126 e 0,269, baixa compressibilidade. Os solos residuais do grupo G4-G ocorrem desde espessuras menores que 1 m até 9 m (75% dos dados), tendo sido relatada a profundidade de 31 m. Em PORTO (2003) relata-se que não foi possível evidenciar uma relação de profundidade do nível freático, apesar de sua frequência neste grupo.

3.2.2.2.5. Solos residuais graníticos medianamente compactos e intensamente caulinizados (G4-C)

Conforme PORTO (2003), os solos residuais graníticos medianamente compactos e intensamente caulinizados diferem do grupo G4-G pelo processo de argilização com caulinição e oxidação, o que os torna menos adequados para utilização em construções e menos resistentes. Estão localizados predominantemente no planalto e plataforma intermediária à norte de Porto (Figura 2.21 e Figura 3.2). São áreas de baixa declividade, onde os taludes de solo com risco potencial não são facilmente observados na escala de mapeamento da carta geotécnica (1:10000), mas podem ser observados em escala maior. A Figura 3.7 ilustra uma região do Viso, que se enquadra no contato do grupo G4-C com os alúvios/colúvios observados ao longo dos cursos de água da região. O talude assinalado nessa figura com um marcador azul apresenta camada de solo residual sotoposto por colúvio/alúvio, e fina camada de aterro lançado sobre o mesmo para execução da obra de pavimentação da rua. Foi observado neste local, o solo residual de granito caulinado, cor marrom escura, textura areno-siltosa com pedregulhos. Também foi possível identificar uma fenda de tração na crista do talude.



Figura 3.7- Vista de área do grupo G4-C, com indicação de talude de solo residual sotoposto por camada de aterro (Google Earth).

Os pesos específicos médios aparente seco do solo, natural, e das partículas são 14,5; 18,5 e 26,5 kN/m³ respectivamente.

Em relação à análise textural do grupo G4-C, pode-se observar na Tabela 3.9, que predominam areias siltosas e argilosas e argilas de baixa compressibilidade (SM, SC, CL), sendo os siltes de alta ou baixa compressibilidade (MH, ML) de baixa ocorrência nesse grupo. São materiais com maior quantidade de finos que o G4-G.

Em termos de plasticidade, esse grupo apresenta valores ligeiramente superiores que o G4-G, o que demonstra que a caulinita é pouco ativa. Os materiais não plásticos são 31% das amostras, de média plasticidade 37% das amostras, de baixa e alta plasticidade são 16% das amostras por grupo. O coeficiente de permeabilidade obtido em ensaios de laboratório foi entre $k=2 \times 10^{-6}$ cm/s e $k=3 \times 10^{-4}$ cm/s, e índices de vazios entre 0,6 e 0,8.

Em relação aos parâmetros de resistência efetivos obtidos em ensaios triaxiais e correlação com ensaios de campo em solos SM e SC, o ϕ varia entre 33° e 39°, com coesões baixas ou nulas. Considerando os resultados dos ensaios de compressão uniaxial com resistência entre 30 e 70 kPa, pode-se estimar para um ângulo de atrito de 35°, coesão entre 8 e 18 kPa. Não se dispõe de ensaios edométricos ou de campo para se obter os índices de compressibilidade.

Os solos residuais do grupo G4-C ocorrem desde espessuras 1m ou menos até 11m podendo atingir maiores profundidades (a máxima observada na carta geotécnica foi 43 m); e o nível freático foi associado ao topo, o que está coerente com o processo de caulinição presente neste grupo, que é acelerado por presença de água.

3.2.2.2.6. Solos residuais metamórficos medianamente compactos (G4-X)

Os solos residuais metamórficos medianamente compactos concentram-se no extremo ocidental e no extremo oriental do Porto. À oeste, são originados do Complexo Metamórfico da Foz do Douro; e à leste, provenientes do Complexo Xisto-Grauváquico, conforme se observa na Figura 3.2. Importante observar que à oeste tem-se os gnaisses e xistos, que podem originar solos diferenciados, mas não diferenciados como unidade geotécnica. Já os solos residuais metamórficos do leste de Porto, são oriundos do xisto-graувáquico, portanto, com menos diferenciação que os solos do extremo ocidental de Porto. Os pesos específicos aparente seco do solo, natural e das partículas são em média 14,5; 17,5 e 25,5 kN/m³ respectivamente.

Em relação à análise textural, pode-se observar na Tabela 3.9, a predominância de areias siltsosas e argilosas, siltes de baixa compressibilidade e argilas de alta compressibilidade (SM, SC, ML, CH), sendo os pedregulhos siltsosos (GM) de baixa ocorrência nesse grupo.

Em termos de plasticidade, os materiais não plásticos são 43% das amostras, de média plasticidade 38% das amostras, de baixa, alta e muito alta plasticidade são 6% das amostras por grupo. Portanto, uma unidade heterogênea quando à plasticidade.

Não existem dados sobre a permeabilidade deste grupo, mas estima-se que seja de baixa a média pelas características granulométricas.

Em relação aos parâmetros de resistência efetivos obtidos em dois ensaios de cisalhamento direto em amostra do tipo CL, obteve-se ϕ de 20° e coesão de 50 e 120 kPa. Já as correlações a partir do NSPT e CPT forneceram valores de ϕ entre 35° e 40°. Ressalta-se a heterogeneidade de valores e a necessidade de se considerar as descontinuidades deste grupo, que podem condicionar valores mais baixos de ângulo de atrito.

O índice de compressibilidade em ensaios edométricos varia com C_c entre 0,180 e 0,230, e não se obteve valores de C_r .

Os solos residuais do grupo G4-X ocorrem em espessuras de até 10 m (maioria) podendo atingir maiores profundidades (a máxima observada na carta geotécnica foi 20 m); e o nível freático foi associado a base.

3.2.2.2.7. Solos residuais metamórficos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade (G5)

Os solos residuais metamórficos compactos a maciço de muito fraca qualidade, assim como os solos do G4-X concentram-se no extremo ocidental e no extremo oriental de Porto conforme se observa na Figura 3.2.. À oeste, são originados do Complexo Metamórfico da Foz do Douro; e à leste, provenientes do Complexo Xisto-Grauváquico composto por micaxistos e metagrauvaques com atitude da xistosidade principal constante, N20W a N40W; 50E a subvertical.

Não há subgrupos para G5, contudo, no relatório que acompanha a carta geotécnica (PORTO, 2003) foram descritas duas subunidades: solos residuais metamórficos compactos a muito compactos (G5-A) e solos residuais metamórficos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade (G5-B). Os pesos específicos aparente seco do solo, natural, e das partículas são em média 17,9, 21,5 e 27,5 kN/m³ respectivamente para G5-A; e 24,0, 23,0 e 28,0 kN/m³ para G5-B.

Em relação à análise textural do grupo G5A, pode-se observar na Tabela 3.9, a predominância de areias siltosas (mais de 60%) seguido de areias bem graduadas/areias siltosas, sendo as argilas de baixa compressibilidade e argilas/siltos de baixa compressibilidade (CL, CL-ML) com menor ocorrência nesse grupo. As curvas granulométricas são mais grosseiras que do grupo G4-X, bem como há maior percentagem de pedregulhos. Em termos de plasticidade, o grupo G5-A possui materiais não plásticos (52% das amostras), de média plasticidade (29% das amostras), de baixa (19%), tendo IP máximo de 15%. Não existem dados sobre a permeabilidade deste grupo. Em relação aos parâmetros de resistência efetivos obtidos em um ensaio triaxial adensado e não drenado obteve-se ϕ de 45° e coesão nula, e acima de 38° para correlações com NSPT. Contudo, PORTO (2003) ressalta que estes valores podem estar sobreavaliados, já que para esses solos a resistência pode estar condicionada à resistência de planos de xistosidade inferiores aos obtidos. Os índices de compressibilidade não foram obtidos por falta de ensaios neste grupo. Os solos residuais do grupo G5 ocorrem normalmente em espessuras de 12 a 14 m, e maciço rochoso abaixo disso. Já os maciços rochosos podem chegar a 33 m dentro dos pontos verificados por PORTO (2003), e o nível freático foi associado a base.

3.2.2.2.8. Solos residuais metamórficos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados (G4-X e G5)

Esta unidade geotécnica foi atribuída para regiões onde não foi possível diferenciar os solos residuais metamórficos medianamente compactos do maciço rochoso de muito fraca

qualidade. Nestes casos deve-se verificar as características geotécnicas a partir dos grupos G4-X e G5.

3.2.2.2.9. Maciço rochoso metamórfico de fraca a excelente qualidade (G6)

Este grupo representa os mesmos complexos litológicos do G5, porém com maciços de melhor qualidade. Geralmente observados na carta geotécnica com profundidades de até 6 m, podendo ser mais (uma observação de 22 m), pois inclusive as sondagens avaliadas em PORTO (2003) em grande parte, não alcançaram a rocha sã. Há variação significativa nas características geomecânicas, contudo PORTO (2003) observa que a maioria dos maciços são pouco alterados a decompostos (W2 a W4), com espaçamento entre fraturas muito reduzidos (F4-5), e RQD entre 25% a 75% o que corresponde a maciços rochosos de fraca a razoável qualidade.

3.2.2.2.10. Solos residuais graníticos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade (G8)

A unidade geotécnica G8 divide-se em solos residuais graníticos compactos a muito compactos (G8-A) e solos residuais graníticos muito compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade (G8-B). Como a classificação de risco de taludes rochosos não faz parte desta pesquisa, optou-se por descrever brevemente as características do grupo G8-A. Para classificação de taludes rochosos desta unidade ver BORGES (2017). A granulometria do grupo G8-A é predominantemente de areias siltosas (SM) e de areias argilosas em menor proporção (SC). O peso específico aparente seco, total e das partículas são em média respectivamente $\delta_d = 16,0$; $\delta_{nat} = 18,0$; $\delta_s = 26,5$ kN/m³. Em relação à plasticidade, PORTO (2003) observou materiais não plásticos (81% das amostras), de média plasticidade (7% das amostras), e de baixa plasticidade (12% das amostras).

Ensaio de cisalhamento direto apresentaram ϕ de 18° a 23° e coesão entre 13 e 16 kPa, o que são valores abaixo do esperado para estes solos, os quais podem estar influenciados por descontinuidades. Já ensaios triaxiais apresentaram ϕ de 31 e 37°, com coesão baixa ou nula. Valores obtidos por correlação com ensaios de campo indicam valores acima de 38°. O coeficiente de permeabilidade para estes solos estão entre $k = 3 \times 10^{-3}$ e $k = 1 \times 10^{-4}$ cm/s, e índices de vazios entre 0,6 e 0,9. Já os índices de compressibilidade das amostras ensaiadas apresentaram C_r entre 0,013 e 0,037 e C_c entre 0,172 e 0,343.

3.2.2.2.11. Maciço rochoso granítico de fraca a excelente qualidade (G9)

A unidade geotécnica G9 divide-se em maciço rochoso granítico de fraca a razoável qualidade (G9-A) e maciço rochoso granítico de boa a excelente qualidade (G9-B). Como a classificação de risco de taludes rochosos não faz parte desta pesquisa, optou-se por não descrever as características deste grupo. Para classificação de taludes rochosos desta unidade ver BORGES (2017).

4. ESTUDOS DE CASO

4.1. Monitoramento de ocorrências

Conforme proposto na metodologia da pesquisa, foi realizado o monitoramento de ocorrências no Porto, em período seco e chuvoso, entre o mês de outubro de 2020 a julho de 2021. Os índices pluviométricos foram observados, de acordo com as ocorrências. Conforme a Figura 4.1, foi observado que a máxima precipitação mensal em Porto no período 2020/2021 ocorreu nos meses de dezembro/20 e fevereiro/21 com 126 mm e 160 mm respectivamente. Em dezembro/20, a Proteção Civil enviou um aviso à população em relação às condições climáticas adversas, conforme Figura 4.2.

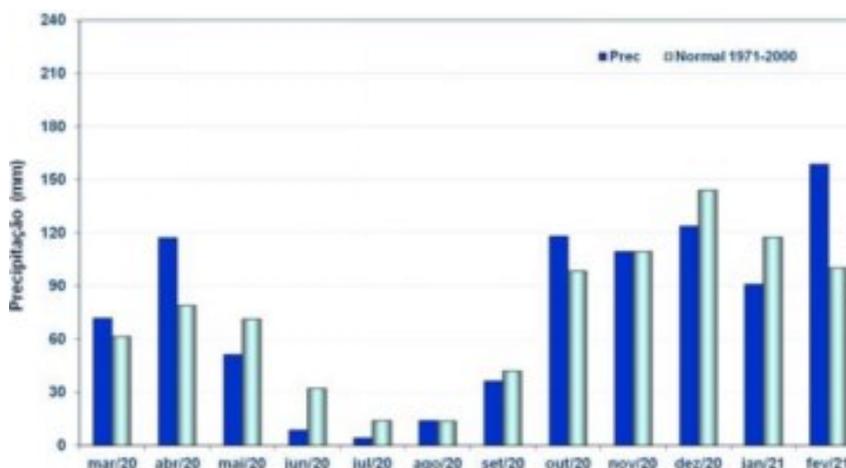


Figura 4.1- Relação precipitação ocorrida em 2020/2021 em Porto, Portugal versus precipitações médias (<https://pt.climate-data.org/europa/portugal/porto/porto-161/>)



Figura 4.2- Comunicação da Proteção Civil quanto a elevada precipitação e demais condições atmosféricas e marítimas

O reconhecimento de campo já havia sido feito no início de outubro e também em novembro de 2020. Após as chuvas de dezembro de 2020 foi realizada nova inspeção de campo, a fim de observar o comportamento dos taludes em condições saturadas ou parcialmente saturadas. Foram identificados quatro taludes com ocorrências de movimentos de massa ou situação de processos erosivos com o carreamento de solo no sentido de curso d'água: o talude TS-C1 no Parque Oriental, com pelo menos 3 pontos de escorregamentos observados na base; o TS-C4 na Alameda de Cartes com surgências e quedas de pequenos blocos e colúvio; o TS-C2, adjacente ao Rio Tinto com carreamento de finos em direção ao rio; e um talude de solo em Ramalde, o qual não teve o risco analisado nesta pesquisa, mas foi monitorado e observada trinca de tração na crista, em janeiro de 2021.

Talude do Parque Oriental adjacente à Circunvalação N12 (TS-C1)

Em 21 de dezembro de 2020 observou-se que o talude denominado TS-C1 apresentou escorregamentos plano circulares condicionados pelas descontinuidades reliquias do xisto grauváquico, potencializados por corte na base de pequena altura e chuvas prolongadas. Foram observadas chuvas sem picos intensos, contudo, o acumulado de outubro, novembro e dezembro/20 (cerca de 353 mm) manteve o talude com elevado teor de umidade neste período. A Figura 4.3 apresenta uma fotomontagem de aspectos observados do talude, na segunda quinzena de dezembro de 2020. Em A), uma vista da crista do talude na margem direita da Circunvalação N12, com superfície apresentando cobertura vegetal em toda a crista; em B), apresenta-se a vista da extensão do talude a partir de sua base; em C), o primeiro ponto de escorregamento observado; em D), segundo escorregamento observado; em E), terceiro escorregamento observado na base do TS-C1; em F), uma amostra de mão de xisto grauváquico coletada em talude próximo ao TS-C1, com minerais claros e escuros vistos a olho nu, que representam o material de origem do solo residual observado no TS-C1, solo esse mostrado em G), com textura de areia pedregulho-siltosa em identificação visual e tátil.



Figura 4.3- Foto montagem de aspectos observados no monitoramento do talude TS-C1

Talude da Alameda de Cartes (TS-C4)

Em 30 de dezembro de 2020 observou-se que o talude denominado TS-C4 apresentou movimentos de massa complexos, com queda de pequenos blocos e escorregamento de solo coluvionar. Foram utilizados *guardrails* para sinalizar o local. A surgência expressiva de água na face, inclusive, foi motivo de abertura de ocorrência na Proteção Civil, pois a água chegou até a via, formando uma película superficial de gelo devido ao frio, causando deslizamentos de veículos. A Figura 4.4 apresenta o talude TS-C4, sendo que em A), observa-se a água

proveniente do talude escoando pela calçada e o *guardrail*; em B), face do talude onde há surgência; em C), detalhe do local da surgência.



Figura 4.4- Fotomontagem do talude TS-C4

Talude embaixo da ponte do Parque Oriental (TS-C2), e talude em Ramalde

Em 21 de dezembro de 2020 observou-se que o talude denominado TS-C2 permaneceu com os processos erosivos e carreamento de finos para o Rio Tinto, conforme observa-se na Figura 4.5. Já no talude em Ramalde, observou-se uma trinca de tração na crista com discreto grau de abatimento em janeiro/2021. Contudo, não se pode precisar se a fenda ocorreu no período chuvoso de 2020/2021, pois não havia sido realizada vistoria prévia. Está localizado entre uma via no topo, e com uma área de horta na base, às margens de um córrego. As coordenadas geográficas podem ser obtidas no link: <https://goo.gl/maps/iyEdAVJ2jHDWvaRA8>.



Figura 4.5- Erosões no talude TS-C2. A) Vista da ravina em 21/12/20; B) Vista de material depositado nas margens do Rio Tinto em outubro/20.

4.2. Planejamento e roteiros do trabalho de campo

4.2.1. *Roteiro 1: Vale do Rio Tinto e entorno, na freguesia de Campanhã*

A seguir, o planejamento do roteiro 1.

Tabela 4.1- Roteiro 1, Campanhã.

ROTEIRO 1: VALE DO RIO TINTO E ENTORNO NA FREGUESIA DE CAMPANHÃ	
Freguesia: Campanhã Área ou Taludes: Parque Oriental, Rua do Freixo, Alameda de Cartes e Rua Virgínia Moura.	Data do último monitoramento: Não identificado Data do presente monitoramento: 19/11/2020 Equipe: Luciene Menezes (em 19/11/2020 somente Luciene. Após essa data, a Rita Borges da Proteção Civil foi a campo com Luciene novamente nos dias 21/12/20 e 19/01/21)
DESCRIÇÃO DO ÚLTIMO MONITORAMENTO OU CONHECIMENTOS PRÉVIOS	
<p>Parada 1: Área do Parque Oriental: As características descritas foram obtidas a partir da análise de cartas temáticas e referências bibliográficas (PORTO, 2020; PORTO 2018; PORTO, 2003), pois não foi encontrada informação de monitoramento prévio nos locais.</p> <p>Condicionantes: Área em unidades geotécnicas associadas a solos residuais de xisto grauváquico e maciço rochoso com diferentes graus de alteração, presença de descontinuidades com atitude de xistosidade principal em N20W a N40W; 50E a subvertical. Observar depósitos de colúvio/alúvio nas margens do Rio Tinto e processos erosivos.</p> <p>Fatores predisponentes: Declividade natural acentuada ou cortes nos taludes, principalmente acima de 50 graus, ou cortes na base que expõem a foliação podem predispor escorregamentos; verificar falta de drenagem, acúmulo de água na crista, fendas de tração, trincas, vegetação de grande porte e que concentra água, trincas, cicatrizes de ruptura, sobrecarga/construções na crista ou pé para solos associados a xistos. Para colúvio e alúvio, verificar inclinação acentuada e textura arenosa.</p> <p>Possíveis agentes deflagadores (gatilhos): Chuva, inundação, e/ou vazamentos em rede de água ou esgoto podem desencadear processos da dinâmica superficial nesta área.</p> <p>Descrição dos processos e cenários possíveis de ocorrer: Para solos residuais de xisto grauváquico, principalmente em vertentes viradas para leste devido à atitude principal da foliação, pode ocorrer escorregamentos planares ou plano circulares quando em espessuras maiores de solo residual sobre saprolito ou rocha.</p>	

Para colúvios e alúvios, processos erosivos e ações antrópicas como cortes podem ocasionar escorregamentos.

Descrição de fotos e imagens obtidas no local e outras observações:

Sem fotos pretéritas.

Estimativa de nº de edificações no setor:

A partir de contagem de moradias visualizadas nas ortofotos de 2017 e sobreposição da carta de riscos do PDM (<https://geopdm.cm-porto.pt/pocrn>), no vale do Rio Tinto dentro do Parque Oriental foram identificadas próximo de 40 construções (moradias ou outras) na área norte do Parque Oriental; e em direção à entrada sul do Parque Oriental até a rotunda do Freixo, próximo de 20 construções, por vezes espaçadas. Números estimados, sendo necessário o levantamento cadastral para número exato de construções.

Grau de Probabilidade:

Não obtido previamente.

Grau de Gravidade:

Não obtido previamente.

Grau de risco:

Não obtido previamente.

Indicação de intervenção e/ou medidas preventivas:

O Parque Oriental passou por recente obra de requalificação ambiental e constitui área interesse (Unidade Operativa de Planejamento e Gestão - UOPG 12) dentro do Plano Diretor (PORTO, 2020).

Parada 2: Rua do Freixo com Babelos:

Talude identificado como área de instabilidade em PORTO (2020) baseado em PORTO (2003).

Mesma unidade geotécnica identificada para a Parada 1.

Parada 3: Alameda de Cartes:

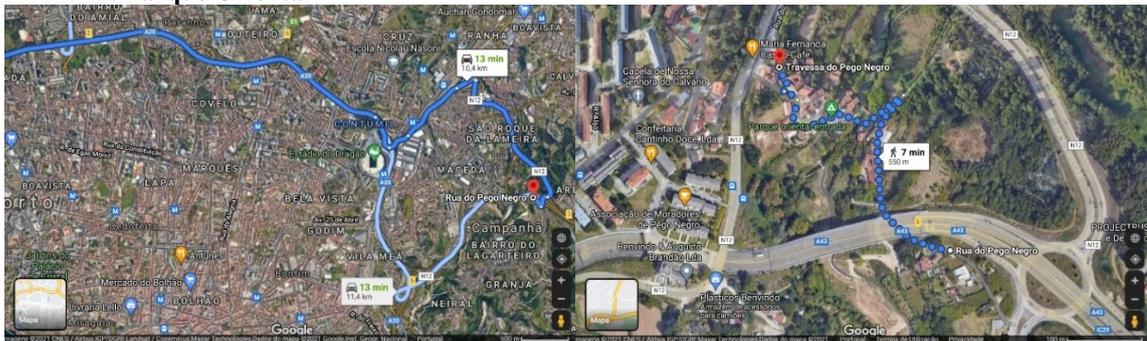
A partir da análise da carta geotécnica do Porto (PORTO, 2003), observou-se que o contato da unidade geotécnica dos xistos grauváquicos com granito e cobertura em colúvio passa pela Alameda de Cartes. Por isso a escolha do caminho, além das declividades acentuadas observadas na caracterização biofísica (PORTO, 2018).

Parada 4: Rua Virgínia Moura:

Além de ter maiores altitudes, observou-se na carta geotécnica áreas de aterro a serem visitadas.

DETALHAMENTO DO ROTEIRO

PARADA 1: Parque Oriental



PARADA 2: Rua do Freixo com Babelo



PARADA 3: Alameda De Cartes**PARADA 4: R. Virgínia Moura**

1. Saída da Prelada até Rua do Pego Negro de carro em direção à Parada 1 (10,4 km)	13	Minutos
2. Início da observação de possíveis taludes em risco, a pé até Travessa do Pego Negro	7	Minutos
3. Observação fotos de taludes pelo caminho	20	Minutos
1. Caminhada da Travessa do Pego Negro até entrada sul do Parque Oriental. Na imagem, apresenta-se a rota externa ao parque pela Circunvalação, para estimar o tempo. Contudo, o trajeto realizado foi por trilha interna do parque.	29	Minutos
5. Fotos e análises de taludes pelo caminho	30	Minutos
6. Deslocamento para a Parada 2, na Rua do Freixo com Bacelos, a pé.	8	Minutos
7. Fotos e verificação dos taludes da área.	30	Minutos
TOTAL ROTEIRO PERÍODO MANHÃ (Parada 1 e 2)	2h e 17	Minutos
8. Almoço.	60	Minutos
9. De carro, ir das proximidades da Rotunda do Freixo até a Alameda de Cartes c/ Rua São Roque da Lameira, para a Parada 3	10	Minutos
10. Observar os taludes da N12 e demais no caminho, e tirar fotos	10	Minutos
11. Parar e observar taludes de rocha e solos na Alameda de Cartes quase esquina com São Roque da Lameira.	20	Minutos
12. De carro, ir para a Rua Virgínia Moura com Nau Vitória, para a Parada 4	5	Minutos
13. Caminhar no quarteirão da Rua Virgínia Moura/Nau vitória/Rua Doutor Corino de Andrade. Observar os taludes de solo, aterro e rocha.	60	Minutos
TOTAL ROTEIRO PERÍODO TARDE (Parada 3 e 4)	2h e 45	Minutos

MATERIAIS

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Roteiro impresso ou com acesso pelo celular ou tablet; • Fichas de avaliação de risco em branco para preenchimento manual em campo, ou pelo celular ou tablet em formulários via internet; • Caderneta de anotações, lápis ou caneta, borracha. • Plano de internet para consultas a mapas temáticos essenciais para as avaliações de risco, e documentos de análise de risco. | <ul style="list-style-type: none"> • Picareta pequena de ponta dupla, sendo uma pontiaguda e outra achatada para pequenas escavações (sacho). O martelo de geólogo pode ser optativo, já que taludes em solo que estão sendo avaliados, bem como o martelo de Schmidt. • Máquina fotográfica ou celular com câmera de resolução satisfatória. • Plásticos para proteger documentos da chuva e acondicionar pequenas amostras. |
|---|--|

<ul style="list-style-type: none"> • Celular ou tablet com acesso à internet para geolocalização e consultas, marcação das coordenadas geográficas do roteiro pelo google maps ou aplicativos similares. Deve-se ir a campo com bateria dos equipamentos em 100%. • Carregador extra de celular ou tablet. • E/ou GPS para marcação das coordenadas geográficas do roteiro. • Trena digital para obtenção de distâncias, ângulos de inclinação do talude. Bússola optativa, pois taludes em solo, mas indicada para determinar direção e mergulho de descontinuidades em saprolito. 	<ul style="list-style-type: none"> • Objetos pessoais: pelo menos 1 litro de água fresca para beber para deslocamentos de meio período do dia, lanches rápidos como barra de cereais e biscoitos). • Equipamentos de segurança: chapéu, botas, protetor solar com fator FPS 30 ou superior, repelente de insetos, capa de chuva. E se em local de risco quanto a picadas de animais peçonhentos avaliar a utilização de perneira. <p>Obs.: Os EPIs são sugestões, e devem ser revisados conforme normas da Proteção Civil e/ou empresa executora do monitoramento de risco.</p>
---	---

Parada 1 – Parque Oriental

A primeira parada foi na Rua do Pego Negro, onde foi iniciada a caminhada em direção à Travessa do Pego Negro com Circunvalação N12, conforme ilustrado na Figura 4.6 A). Nessa mesma figura apresenta-se em E) o início do caminhamento a leste do Parque Oriental; em C) a identificação de uma área com erosões no talude de solo aluvionar/coluvionar/aterro sob a ponte, nomeado como TS-C2; em D) a entrada do parque o qual possui moradias nas margens do Rio Tinto; em B) área com talude adjacente à circunvalação N12 o qual chamou atenção pela sua face virada à leste coincidente com a direção das foliações dos xistos grauváquicos, inclinação acima de 40° em alguns trechos, e características de solo residual de xisto. Portanto, neste trecho do Roteiro 1, foram identificadas duas possíveis áreas para avaliação de risco.



Figura 4.6- Identificação de riscos no Roteiro 1, à norte do Parque oriental. A) Vista geral do caminhamento e áreas identificadas com risco potencial; B) Vista de talude identificado para análise e nomeado como TS-C1; C) Vista de talude identificado e nomeado como TS-C2; D) Área construída em margem de rio; E) Início do caminhamento na Rua do Pego Negro.

Após o caminhamento investigativo da área norte do Parque Oriental foi realizado o caminhamento em direção ao sul, para a rotunda do Freixo, observando os taludes das margens do Rio Tinto e arredores. Não foram identificadas possíveis áreas de risco para movimentos de massa ou processos erosivos em taludes de solo, contudo foram observadas algumas moradias em áreas indicadas com risco a inundações mapeadas por PORTO (2018). As áreas internas do parque estão requalificadas, com taludes tratados ora por solução de retaludamento, ora por contenção em concreto armado, ou muros com pedras de granito especialmente nas margens do Rio Tinto. Na Figura 4.7 apresentam-se algumas observações de campo.



Figura 4.7- Identificação de riscos no Roteiro 1, à centro sul do parque. A) Contenção em muro de pedra; B) Contenção de margem em concreto armado e pedra; C) Largos requalificados; D) Vista geral do caminhamento; E) Entrada sul do parque; F) Moradias próximas ao rio; G) Retaludamento e contenção em pedra.

Parada 2 – Rua do Freixo com Bacelo

Com a finalização do caminhamento previsto para o Parque Oriental, foi iniciada a caminhada para a Rua do Freixo com Bacelo, especificamente um talude identificado como instável em PORTO (2003, 2018, 2020) o qual foi denominado nesta pesquisa de TS-C3. Na Figura 4.8 B) uma visão do caminhamento a partir da rotunda do Freixo no sentido da Rua do Freixo com Bacelos onde observou-se o talude TS-C3. Na Figura 4.8 A) a vista de frente desse talude e em C uma visão do quarteirão com área verde. Foi realizada uma caminhada em torno do quarteirão com o objetivo de se chegar até a crista do talude TS-C3, mas não foi possível devido às moradias no percurso, e falta de acesso.



Figura 4.8- Identificação de riscos no Roteiro 1, Rua do Freixo. A) Talude nomeado como TS-C3; B) Vista da Rua Bacelo para área verde com moradias na crista.

Parada 3 – Alameda de Cartes

A partir da Rotunda do Freixo, de automóvel, tomou-se o sentido norte via Circunvalação N12 até a Alameda de Cartes. Este trajeto foi escolhido para verificar os taludes da N12 e também chegar até a Alameda de Cartes, local de contato entre a unidade geotécnica de solos residuais de granito e maciço rochoso com alúvios/colúvios (PORTO, 2003). A Figura 4.9 apresenta o trajeto da rotunda do Freixo até Alameda de Cartes.



Figura 4.9- Identificação de riscos no Roteiro 1, Alameda de Cartes

Não foram observados taludes com aparente instabilidade na N12. Contudo, na Alameda de Cartes antes do cruzamento com a Rua São Roque da Lameira, foi visualizado um talude com pequenas feições de ruptura e material solto na base, inclusive com sinalização no passeio conforme ilustrado na Figura 4.10. Ao parar o carro para verificar o talude em detalhe, foi observada surgência de água na face do talude, bem como materiais diversos: desde solo até saprolito, e também áreas compostas por maciço rochoso. Este talude foi nomeado como TS-C4.



Figura 4.10- Vista geral do talude TS-C4

A partir da Alameda de Cartes, via automóvel, tomou-se a direção da Rua Virgínia Moura conforme trajeto assinalado na Figura 4.11. A escolha deste local foi devido à identificação nos mapas de área de entulheiras e aterro no quarteirão da Rua Virgínia Moura.

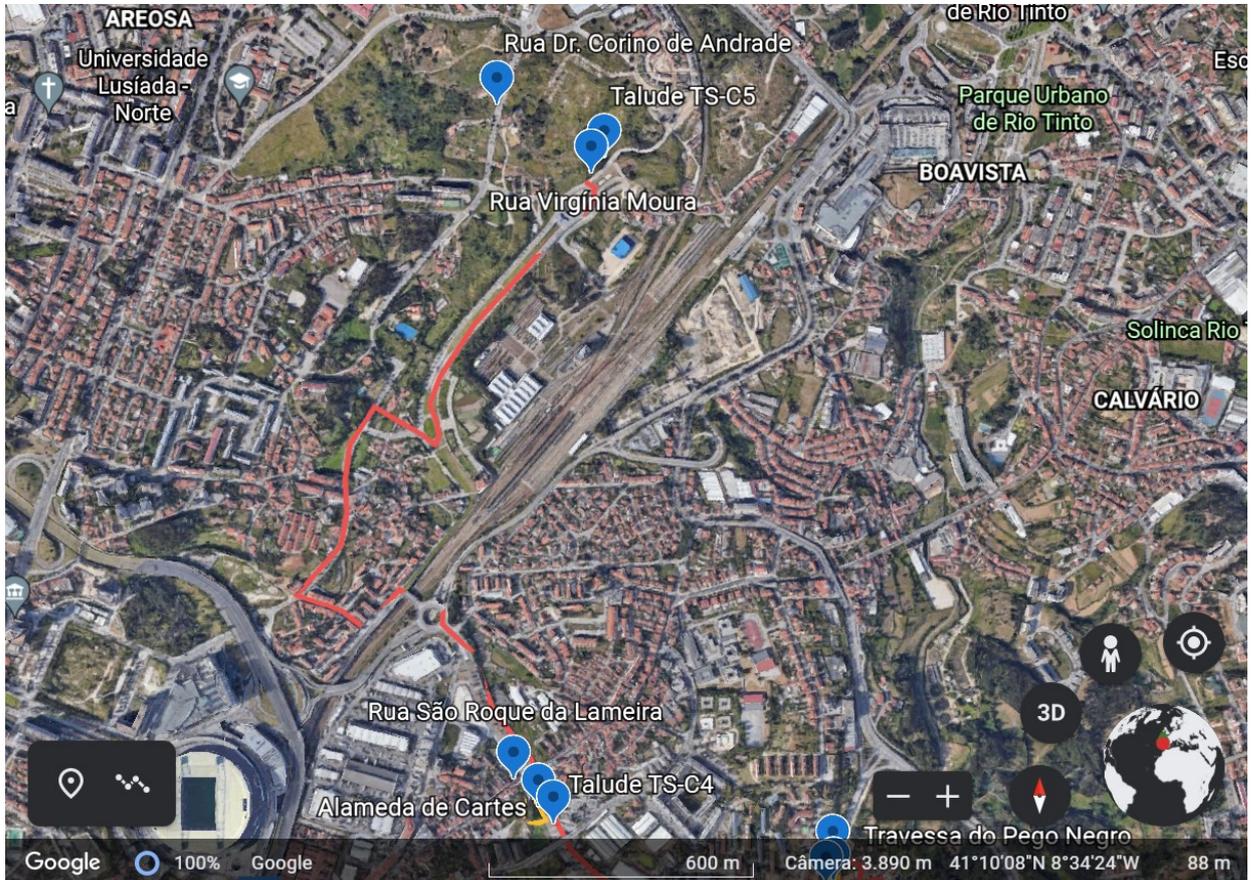


Figura 4.11- Identificação de riscos no Roteiro 1, Rua Virgínia Moura.

Ao chegar no local, foram observados taludes irregulares com características de aterro na parte superior, e trechos na base em saprolito e maciço rochoso, com declividades variadas e vegetação em quase toda totalidade, o que não possibilitou a verificação de processos erosivos ou cicatrizes de movimentos de massa (Figura 4.12). Apesar da declividade aparentemente suave, o talude foi nomeado como TS-C5 para análise de sua condição como aterro.



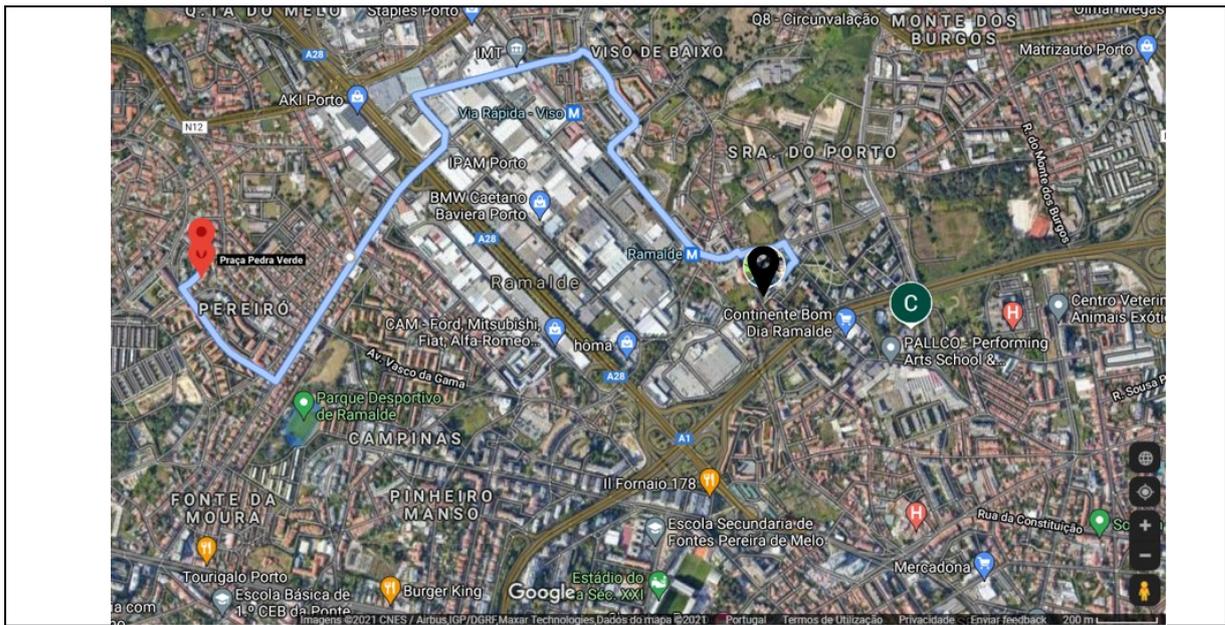
Figura 4.12- Vista geral do talude TS-C5

4.2.2. *Roteiro 2: Praça Pedra Verde e entorno, na freguesia de Aldoar*

A seguir, o planejamento do roteiro 2.

Tabela 4.2- Roteiro 2, Aldoar.

ROTEIRO 2: PRAÇA PEDRA VERDE E ENTORNO NA FREGUESIA DE ALDOAR	
Freguesia: Aldoar Área ou Taludes: Praça Pedra Verde	Data do último monitoramento: Não identificado Data do presente monitoramento: 22/12/2020 Equipe: Luciene Menezes e Rita Borges (Proteção Civil)
DESCRIÇÃO DO ÚLTIMO MONITORAMENTO OU CONHECIMENTOS PRÉVIOS	
<u>Parada 1: Praça Pedra Verde:</u> Esta área foi escolhida a partir de indicação da Proteção Civil em relação a uma ocorrência de movimento de massa no local. Antes do trabalho de campo, não se obteve informação sobre a localização da ocorrência, dados de monitoramento e conhecimentos prévios.	
DETALHAMENTO DO ROTEIRO	
PARADA 1: Praça Pedra Verde	



1. Saída da Prelada até a Praça Pedra Verde, de automóvel	11	Minutos
2. Início da observação do talude e entorno, e análise de risco	60	Minutos
3. Retorno à Prelada	11	Minutos
TOTAL ROTEIRO PERÍODO MANHÃ (Parada 1)	1h e 22	Minutos

MATERIAIS

<ul style="list-style-type: none"> • Roteiro impresso ou com acesso pelo celular ou tablet; • Fichas de avaliação de risco em branco para preenchimento manual em campo, ou pelo celular ou tablet em formulários via internet; • Caderneta de anotações, lápis ou caneta, borracha. • Plano de internet para consultas a mapas temáticos essenciais para as avaliações de risco, e documentos de análise de risco. • Celular ou tablet com acesso à internet para geolocalização e consultas, marcação das coordenadas geográficas do roteiro pelo google maps ou aplicativos similares. Deve-se ir a campo com bateria dos equipamentos em 100%. • Carregador extra de celular ou tablet. • E/ou GPS para marcação das coordenadas geográficas do roteiro. • Trena digital para obtenção de distâncias, ângulos de inclinação do talude. Bússola optativa, pois taludes em solo, mas indicada para determinar direção e mergulho de descontinuidades em saprolito. 	<ul style="list-style-type: none"> • Picareta pequena de ponta dupla, sendo uma pontiaguda e outra achatada para pequenas escavações (sacho). O martelo de geólogo pode ser optativo, já que taludes em solo que estão sendo avaliados, bem como o martelo de Schmidt. • Máquina fotográfica ou celular com câmera de resolução satisfatória. • Plásticos para proteger documentos da chuva e acondicionar pequenas amostras. • Objetos pessoais: pelo menos 1 litro de água fresca para beber para deslocamentos de meio período do dia, lanches rápidos como barra de cereais e biscoitos). • Equipamentos de segurança: chapéu, botas, protetor solar com fator FPS 30 ou superior, repelente de insetos, capa de chuva. E se em local de risco quanto a picadas de animais peçonhentos avaliar a utilização de perneira. <p>Obs.: Os EPIs são sugestões, e devem ser revisados conforme normas da Proteção Civil e/ou empresa executora do monitoramento de risco.</p>
--	---

Parada 1 – Praça Pedra Verde

A partir do bairro Prelada, via automóvel, tomou-se a direção da Praça Pedra Verde para Aldoar. A escolha desta área foi devido à ocorrência prévia no local. A Figura 4.13 mostra uma vista da Praça Pedra Verde com o talude a ser vistoriado, nomeado nesta pesquisa como TS-A1.

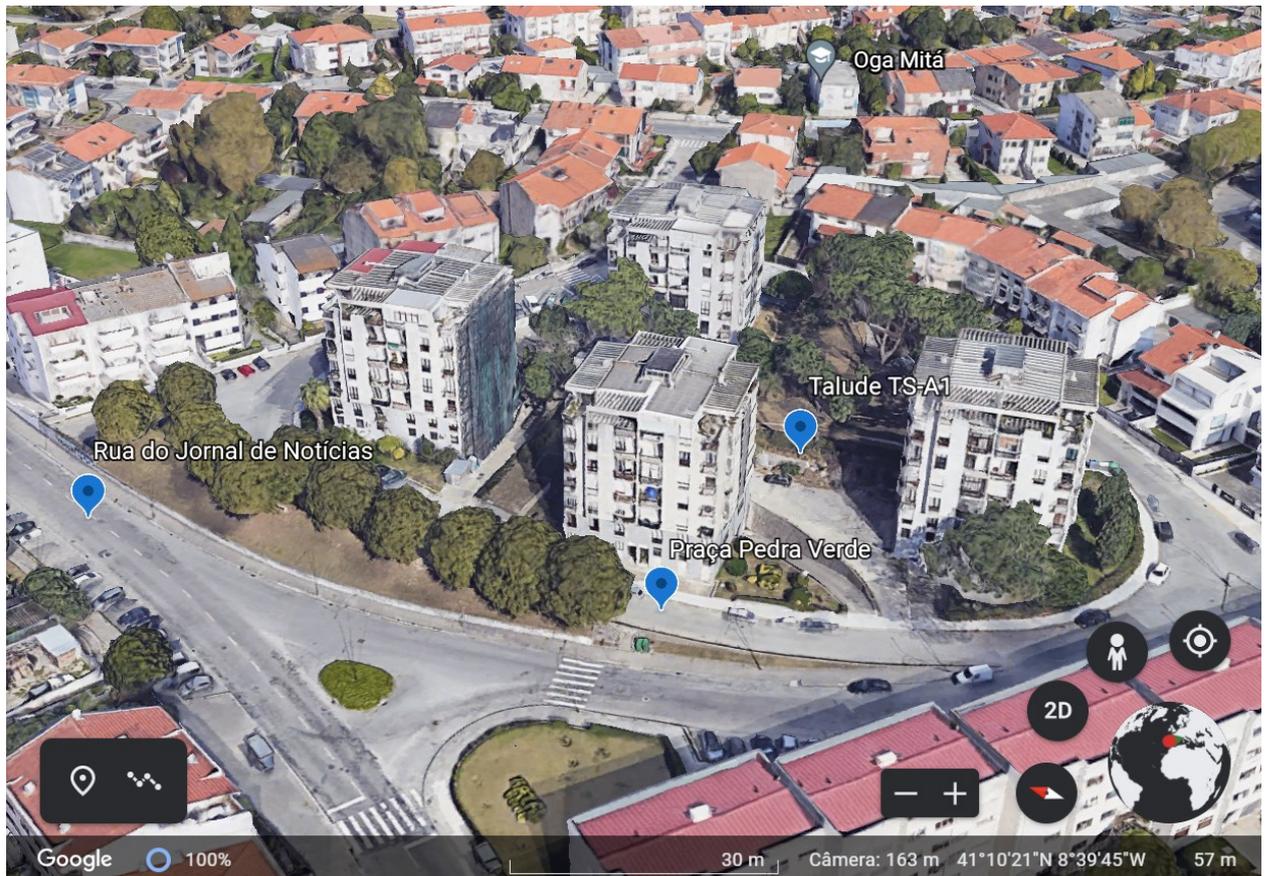


Figura 4.13- Identificação de riscos no Roteiro 2, Praça Pedra Verde.

Ao chegar no local, foi observada uma cicatriz de ruptura pretérita de um muro de concreto armado, com material rompido depositado na base e área cercada por muretas de concreto (*guardrails*). A ruptura do muro expôs um maciço rochoso muito alterado e solo residual indiferenciados. Na crista, uma árvore de médio porte com raízes expostas. Na Figura 4.14 apresenta-se uma visão geral do talude, o qual foi nomeado como TS-A1 para análise de sua condição de risco nesta pesquisa.



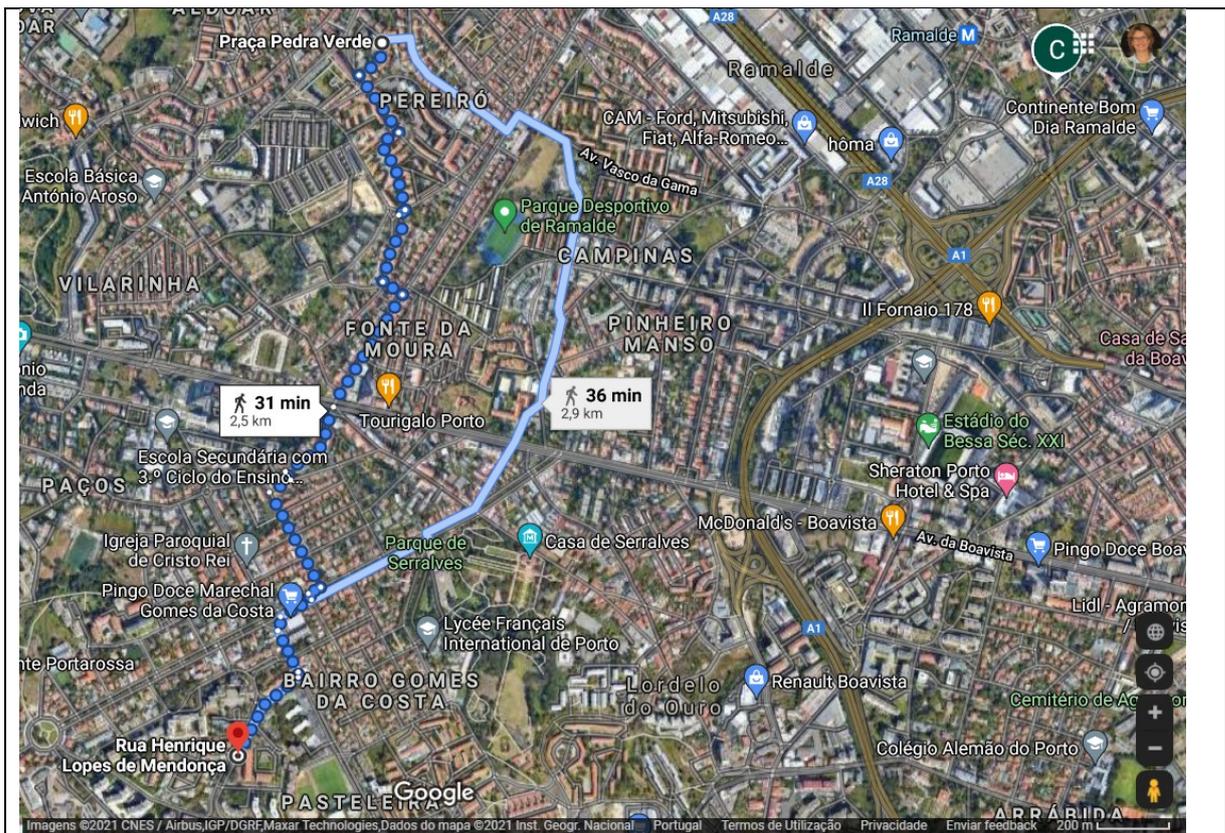
Figura 4.14- Vista geral do talude TS-A1

4.2.3. Roteiro 3: Rua Henrique Lopes e entorno, na freguesia de Foz

A seguir, o planejamento do roteiro 3.

Tabela 4.3- Roteiro 3, Foz.

ROTEIRO 2: PRAÇA PEDRA VERDE E ENTORNO NA FREGUESIA DE ALDOAR	
Freguesia: Foz Área ou Taludes: Taludes do quarteirão da Rua Henrique Lopes de Mendonça com Amadeu Souza Cardoso	Data do último monitoramento: Não identificado/ por volta de 2016 Data do presente monitoramento: 22/12/2020 Equipe: Luciene Menezes e Rita Borges (Proteção Civil)
DESCRIÇÃO DO ÚLTIMO MONITORAMENTO OU CONHECIMENTOS PRÉVIOS	
Parada 1: Rua Henrique Lopes de Mendonça: Esta área foi escolhida a partir de indicação da Proteção Civil em relação a uma ocorrência de movimento de massa no local. Antes do trabalho de campo, não se obteve informação sobre a localização da ocorrência, dados de monitoramento e conhecimentos prévios. Rua Amadeu de Souza Cardoso: Esta área foi escolhida a partir de indicação da Proteção Civil em relação a uma ocorrência de movimento de massa no local. Antes do trabalho de campo, não se obteve informação sobre a localização da ocorrência, dados de monitoramento e conhecimentos prévios.	
DETALHAMENTO DO ROTEIRO	
PARADA 1:	



1. Saída da Praça Pedra Verde, em Aldoar, no sentido da Rua Henrique Lopes de Mendonça. Este trajeto foi realizado à pé.	31	Minutos
2. Início da observação do talude TS-F1, e análise de risco	40	Minutos
3. Início da observação do talude TS-F2, e análise de risco	40	Minutos
3. Retorno à Prelada, de automóvel.	18	Minutos
TOTAL ROTEIRO PERÍODO TARDE	2h e 9	Minutos

MATERIAIS	
<ul style="list-style-type: none"> • Roteiro impresso ou com acesso pelo celular ou tablet; • Fichas de avaliação de risco em branco para preenchimento manual em campo, ou pelo celular ou tablet em formulários via internet; • Caderneta de anotações, lápis ou caneta, borracha. • Plano de internet para consultas a mapas temáticos essenciais para as avaliações de risco, e documentos de análise de risco. • Celular ou tablet com acesso à internet para geolocalização e consultas, marcação das coordenadas geográficas do roteiro pelo google maps ou aplicativos similares. Deve-se ir a campo com bateria dos equipamentos em 100%. • Carregador extra de celular ou tablet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Picareta pequena de ponta dupla, sendo uma pontiaguda e outra achatada para pequenas escavações (sacho). O martelo de geólogo pode ser optativo, já que taludes em solo que estão sendo avaliados, bem como o martelo de Schmidt. • Máquina fotográfica ou celular com câmera de resolução satisfatória. • Plásticos para proteger documentos da chuva e acondicionar pequenas amostras. • Objetos pessoais: pelo menos 1 litro de água fresca para beber para deslocamentos de meio período do dia, lanches rápidos como barra de cereais e biscoitos). • Equipamentos de segurança: chapéu, botas, protetor solar com fator FPS 30 ou superior, repelente de insetos, capa de chuva. E se em

<ul style="list-style-type: none"> • E/ou GPS para marcação das coordenadas geográficas do roteiro. • Trena digital para obtenção de distâncias, ângulos de inclinação do talude. Bússola optativa, pois taludes em solo, mas indicada para determinar direção e mergulho de descontinuidades em saprolito. 	<p>local de risco quanto a picadas de animais peçonhentos avaliar a utilização de perneira.</p> <p>Obs.: Os EPIs são sugestões, e devem ser revisados conforme normas da Proteção Civil e/ou empresa executora do monitoramento de risco.</p>
---	---

Parada 1 – Rua Henrique Lopes de Mendonça e Rua Pintor Amadeu Souza Cardoso

A partir da Praça Pedra Verde em Aldoar (ponto do Roteiro 2, pois neste dia optou-se por realizar o Roteiro 2 e 3), tomou-se a direção da Rua Henrique Lopes de Mendonça em Foz, a pé. A escolha dessa área foi devido à ocorrência prévia de movimento de massa no local. A Figura 4.15 mostra o quarteirão que abrange a área em análise, onde o talude da Rua Henrique Lopes de Mendonça foi nomeado nesta pesquisa de TS-F1; e o talude da Rua Pintor Amadeu Souza Cardoso foi nomeado de TS-F2.



Figura 4.15- Identificação de riscos no Roteiro 3, Rua Henrique Lopes de Mendonça e Rua Pintor Amadeu Souza Cardoso (Fonte Google Earth).

A Figura 4.16 mostra a visão geral do talude TS-F1, onde foram observadas várias cicatrizes de rupturas ao longo de sua extensão, inclusive com os detritos rompidos ainda depositados em sua base. O talude é caracterizado por solo residual e por maciço rochoso alterado, proveniente de micaxistos da Unidade Lordelo do Ouro, conforme indicado pela Proteção Civil. O grau de alteração do maciço diminui desde o início de sua extensão na esquina com a Rua Marta Mesquita da Câmara, onde observam-se solos, até a esquina com a Rua Pintor

Amadeu Souza Cardoso, onde observam-se neste trecho as xistosidades bem definidas, condicionando rupturas planares e em cunha.

A Figura 4.17 apresenta o talude TS-F2, com características um pouco diversas do talude TS-F1. Trata-se de solo residual dos metassedimentos da Unidade Lordelo do Ouro, conforme apresentado pela Proteção Civil e PORTO (2003), com superfícies de rupturas pretéritas em sua extensão, e uma trinca de tração observada na crista, com suave degrau de abatimento (menor que 10 cm)



Figura 4.16- Vista Geral do talude TS-F1, na Rua Henrique Lopes de Mendonça



Figura 4.17- Vista geral do talude TS-F2, na Rua Pintor Amadeu de Souza

4.2.4. Definição dos taludes a serem investigados

O caminhamento realizado conforme roteiros 1, 2 e 3 permite a escolha dos taludes a serem investigados quanto ao risco de movimentos de massa nesta pesquisa. Na Tabela 4.4 são apresentados os taludes escolhidos durante os trabalhos de campo realizados. Os critérios adotados para tal escolha estão conforme apresentados na proposta metodológica. Os taludes da Tabela 4.4 atendem a pelo menos um dos critérios.

Tabela 4.4- Escolha dos taludes a serem investigados quanto ao risco de movimentos de massa

Crítérios de escolha de taludes a serem avaliados	TS-C1	TS-C2	TS-C3	TS-C4	TS-C5	TS-A1	TS-F1	TS-F2
1) Taludes de solo em áreas de interesse	X	X		X				
2) Taludes de solo em áreas de risco já mapeadas			X					
3) Taludes de solo em áreas com feições de escorregamentos e/ou processos erosivos identificados em campo	X	X	X	X	X	X	X	X
4) Taludes de solo em áreas com declividade superior a 25° e altura > 5 m	X	X	X	X	X			
5) Taludes de solo em local de ocorrência registrada ou próximo	SC ¹	SC	SC	X	SC	X	X	X
6) Taludes de solo que sejam representativos das unidades geotécnicas mapeadas na Carta Geotécnica de 2003	X	X	X	X	X	X	X	X
7) Taludes de solo com interferências nas cartas de caracterização física ou de infraestruturas	X	X		X	X			

Nota 1: SC – Sem conhecimento sobre esta informação

Já a Tabela 4.5 apresenta a localização dos taludes (endereço, bairro, coordenadas geográficas) e o seu enquadramento nas unidades geotécnicas descritas na Carta Geotécnica do Porto (PORTO, 2003). Apresenta-se também uma imagem do local no dia da vistoria.

Tabela 4.5- Localização dos taludes a serem investigados quanto ao risco de movimentos de massa, e unidades geotécnicas a que pertencem.

Talude	Endereço	Freguesia	Coordenadas	Unidade Geotécnica	Foto do local
TS-C1	Estrada da Circunvalação N12 com Rua do Pego Negro, Parque Oriental.	Campanhã	41°09'35.6" N 8°33'59.0"W	G4X e G5- Solos residuais metamórficos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados	
TS-C2	Talude sob a Ponte IC29/A43 e adjacente ao Rio Tinto, Parque Oriental.	Campanhã	41°09'30.3" N 8°33'55.5"W	G2- Colúvio/Alúvio	
TS-C3	Rua do Freixo com Rua do Bacelo.	Campanhã	41°08'43.3" N 8°34'31.5"W	G4X e G5	
TS-C4	Alameda De Cartes, próximo a R. São Roque da Lameira.	Campanhã	41°09'41.3" N 8°34'28.2"W	Limite entre unidades: G2- Solos aluvionares e coluvionares e G8- Solos residuais graníticos compactos a maciço rochoso de muita fraca qualidade	
TS-C5	Talude R. Virginia Moura	Campanhã	41°10'28.8" N 8°34'23.0"W	G1-Aterro, transição entre unidades	
TS-A1	Praça Pedra Verde.	Aldoar	41°10'20.4" N 8°39'42.5"W	G4-G e G8-Solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados.	

Talude	Endereço	Freguesia	Coordenadas	Unidade Geotécnica	Foto do local
TS-F1	R. Henrique Lopes de Mendonça (com R. Amadeu Souza Cardoso).	Foz	41°09'17.4" N 8°39'58.4"W	G4-X e G5, G6	
TS-F2	R. Amadeu Souza Cardoso (esquina com Henrique Lopes de Mendonça)	Foz	41°09'14.0" N 8°39'55.9"W	G4-X e G5	

4.3. Talude Circunvalação N12, Campanhã (TS-C1)

4.3.1. Estabelecimento do contexto

4.3.1.1. Localização

O talude em estudo é denominado nesta pesquisa de TS-C1 (talude de solo, em Campanhã, número 1). Localiza-se na freguesia de Campanhã, na zona oriental da cidade, ao norte, e próximo da divisa com o concelho de Gondomar, conforme localização aproximada apresentada na Figura 4.18. O talude TS-C1 foi identificado para análise de risco após caminhamento no vale do Rio Tinto e aplicação da metodologia para definição de taludes críticos.

Observa-se na Figura 4.19 que o talude está fora de zonas potencialmente instáveis, bem como fora de áreas de inundação e salvaguarda de acordo com a Carta de Riscos Naturais apresentada em Porto (2003). O talude encontra-se adjacente à Estrada da Circunvalação, à oeste, tendo o Rio Tinto à leste.



Figura 4.18- Localização do Talude TS-C1 em Porto sobre a Carta de Riscos Naturais (Adaptada de Porto, 2003; Porto, 2020)

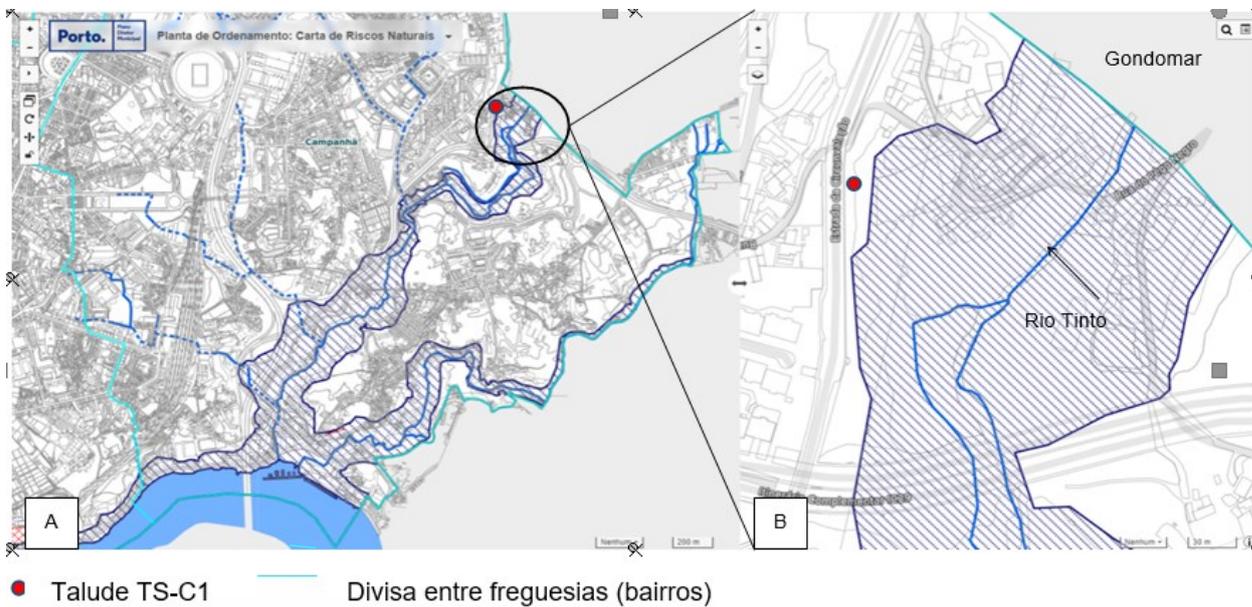


Figura 4.19- Localização do Talude TS-C1 em Campanhã. A) Talude ao norte do Vale do Rio Tinto. B) Talude adjacente à estrada da Circunvalação, à oeste; e com o Rio Tinto à leste (Adaptada de Porto, 2003; Porto, 2020)

Na Figura 4.20 observa-se a vista do talude TS-C1 e da área analisada quanto ao risco. O início da área encontra-se na Rua do Pego Negro esquina com Estrada da Circunvalação N12, com coordenadas geográficas 41°09'36.9"N 8°33'59.4"W. Na crista do talude existe um muro

de pedras, aparentemente antigo, adjacente a via pública; e no pé do talude uma via de terra de acesso local a lotes, inclusive tendo um deles a fundação em construção.

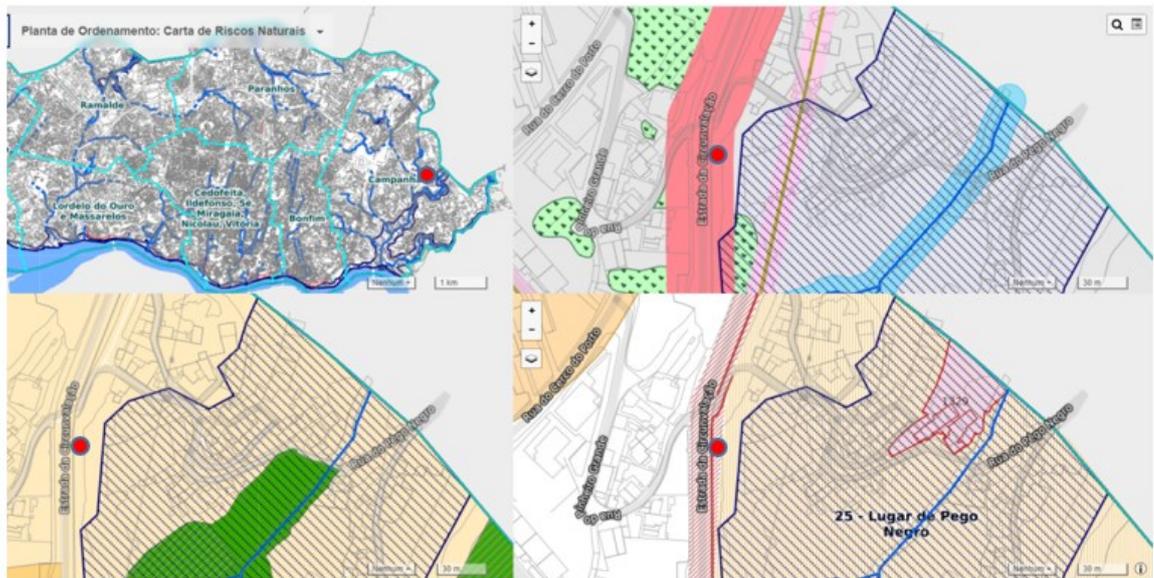


— Área analisada

Figura 4.20- Vista da localização do talude TS-C1 (Imagem editada, extraída do Google Earth).

4.3.1.2. Enquadramento no Plano Diretor Municipal

Para verificação do enquadramento do talude TS-C1 no PDM, foram verificadas principalmente as cartas de riscos naturais, condicionantes gerais, qualificação do solo e patrimônio. Verifica-se na Figura 4.21 a localização do talude em relação a essas cartas, sendo que em A), o talude TS-C1 encontra-se fora da zona de salvaguarda quanto à inundação na carta de Riscos Naturais; em B), com hachura rosa, Zona de servidão *non aedificandi* rodoviária _ EN1 2; em C) o talude TS-C1 em área de edifícios tipo moradia, espaços centrais. Em D), a área hachurada em vermelho indica APA - Área de Patrimônio Arqueológico.



● Talude TS-C1

Figura 4.21- Localização do talude TS-C1 em cartas temáticas. A) Talude TS-C1 na carta de risco; B) Talude TS-C1 na carta; C) Talude TS-C1 na carta de Qualificação do Solo; D) Talude TS-S1 na carta de Patrimônio Arqueológico.

4.3.2. Identificação dos riscos

4.3.2.1. Caracterização geológico-geotécnica

O talude TS-C1 encontra-se na unidade geotécnica G5 - Solos residuais compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade, da formação metamórfica. Subdivide-se em G5-A, solos residuais compactos a muito compactos, e G5-B, solos residuais muito compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade.

Observa-se na Figura 4.22 a vista frontal do TS-C1, sem ocupação habitacional no entorno, contudo com a via Circunvalação N12 na crista. Já a Figura 4.23 mostra uma árvore de médio/grande porte com raízes expostas, e a superfície da ruptura plano circular a qual foi observada nos últimos 2 meses do ano de 2020. Acredita-se que a ruptura não foi maior devido à presença da árvore. Contudo, o talude permanece sujeito a novas rupturas, inclusive de maior porte e altura, principalmente se a árvore vier a cair.



Figura 4.22- Vista geral do talude TS-C1



Figura 4.23- Vista da árvore no topo da ruptura do talude TS-C1

A inclinação do talude TS-C1 obtida em campo por meio de uma trena a laser com clinômetro é de aproximadamente 40° , por vezes podendo se aproximar à 50° devido à superfície irregular do talude.

Observa-se na Figura 4.24 a estrutura reliquiar do xisto grauváquico com mergulho aproximado de 50° e superfície de ruptura com a mesma inclinação que a foliação ou bem próximo dela.

A direção da face do talude é para leste, o que condiciona as superfícies plano circulares pelas discontinuidades, pois conforme informações da Carta Geotécnica do Porto (PORTO, 2003), e constatação em campo, a atitude da xistosidade principal do grupo G5 é também para leste, constante, N20W a N40W; 50E a subvertical.



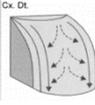
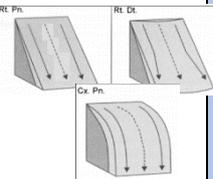
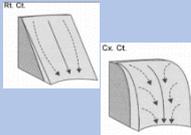
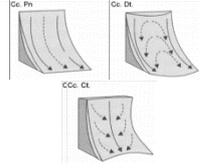
Figura 4.24- Vista em corte da superfície de ruptura com solo residual superficial e saprolito sotoposto - Talude TS-C1

4.3.3. *Análise e avaliação dos riscos*

Para o trabalho de campo foi preenchida a ficha de avaliação do talude. A seguir, os resultados da análise de perigo, consequências e risco, conforme medidas e informações obtidas.

4.3.3.1. **Análise do perigo do talude TS-C1**

Tabela 4.6- Pontuação do perigo – Talude TS-C1

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I _{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I _{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I _{AG})				
	Cobertura vegetal (I _{VG})	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias (I _{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha	
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I _{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm,
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/va- zamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazament os	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazament os de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 417	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO TALUDE TS-C1

TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 4 \times 9 + 2 \times 27 + 4 \times 81 = 417$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA-ALTA

4.3.3.2. Análise das consequências do talude TS-C1

Tabela 4.7- Pontuação das consequências – Talude TS-C1

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I_{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I_{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I_{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I_{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I_{CU})	Zonas interditadas, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:147	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO TALUDE TS-C1

TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 1 \times 9 + 2 \times 27 + 1 \times 81 = 147$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: MODERADA

4.3.3.3. Matriz de riscos

Optou-se por avaliar o modo de falha correspondente a rupturas de pequena magnitude na base (TS-C1_a) e outro de maior magnitude, com círculo de ruptura iniciando além da meia altura, condicionado por rupturas anteriores na base (TS-C1_b). Com os resultados de classe de perigo Média-Alta e consequências Moderada, o talude TS-C1_a apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ELEVADO (cor laranja), conforme Figura 4.25. O modo de falha TS-C1_b manteve a mesma classificação.

MATRIZ DE RISCO PARA SEGURANÇA E SAÚDE DA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)			TS-C1_a, TS-C1_b		
	Média (3)					
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 4.25- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-C1

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente para os modos de falha TS-C1_a e TS-C1_b optou-se por manter a classe de perigo Média-Alta, e diminuir as consequências para residual, pois não há cursos de água que podem ser atingidos ou outro impacto mensurável. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente para os dois modos de falha.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se as consequências em nível residual por não haver perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha TS-C1_a. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico. Já para o modo de falha TS-C1_b optou-se por elevar as consequências para moderada, pois um escorregamento de maior porte pode vir a causar danos na via, ou senão, obras de reparo no talude podem impactar o trânsito local. Portanto, R3 – RISCO ELEVADO (cor laranja).

4.3.4. Estratégias de Prevenção e Mitigação

Neste item serão abordadas possíveis ações estruturantes para prevenir e mitigar os riscos identificados. Apresenta-se a seção geométrica e geológico-geotécnica, a retroanálise da ruptura ocorrida entre novembro e dezembro de 2020 para melhor estimar os parâmetros de resistência dos materiais, a definição dos parâmetros físicos e de resistência baseados na retroanálise e na carta geotécnica (PORTO, 2003), e as análises de estabilidade dos cenários previstos.

Após a avaliação dos fatores de segurança da condição atual, apresenta-se uma sugestão conceitual de ação estruturante.

4.3.4.1. Seção geométrica

A Figura 4.26 ilustra a seção geométrica e geológico-geotécnica do talude TS-C1 antes da ruptura do final de 2020. Também se apresenta uma aproximação da superfície de ruptura observada em campo. Trata-se de uma seção simplificada com medidas e inclinações obtidas por meio de trena a laser.

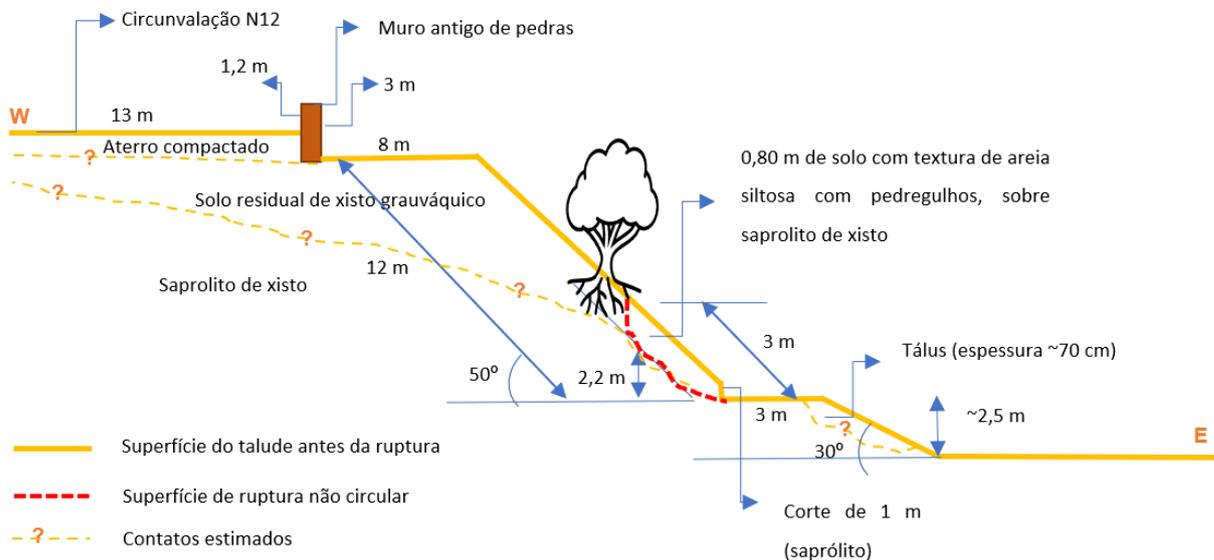


Figura 4.26- Seção geométrica e com informações geotécnicas do talude TS-C1

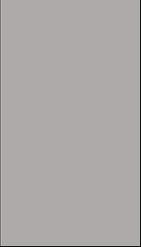
Para projetos executivos de soluções de estabilização recomenda-se o levantamento topográfico e investigação por sondagens para se aferir os contatos entre materiais. Estas investigações podem auxiliar na identificação de heterogeneidades, principalmente do material definido como solo residual de xisto grauváquico, pois pode haver camadas de colúvio/aterro

nas porções próximas à crista do talude, as quais não puderam ser identificadas por dificuldade de acesso e vegetação alta. Também se recomenda ensaios de caracterização e de resistência ao cisalhamento de forma a se obter a coesão e o ângulo de atrito efetivos paralelo e perpendicular à foliação. Somente com estas informações pode-se construir um modelo geotécnico que melhor se aproxima da realidade.

4.3.4.2. Definição dos parâmetros de resistência

A partir da identificação tátil e visual dos materiais em campo e análise de resultados de ensaios apresentados na carta geotécnica do Porto (PORTO, 2003), apresentam-se na Tabela 4.8 os parâmetros adotados para o talude TS-C1.

Tabela 4.8- Parâmetros geotécnicos adotados para o talude TS-C1

Material	Legenda de cores	Peso específico natural (kN/m ³)	Coesão efetiva (kPa)	Atrito efetivo (°)	Referência
Aterro compactado		21,7	10	28	Porto (2003) para peso específico; e experiência da autora para coesão e ângulo de atrito. Considerado G4-X compactado em Proctor Normal.
Solo Residual de xisto grauváquico		18,0	1	39	Porto (2003) para peso específico do G4-X. Para coesão e ângulo de atrito há somente 1 triaxial (c=0 e $\phi=45^\circ$); já com correlação NSPT e ϕ médio varia de 35 a 37°. Valor de 1 kPa para coesão 39° para ângulo de atrito obtidos por retroanálise.
Saprolito de xisto grauváquico		21,1	37	39	Porto (2003) para peso específico (G4-X e G5 indiferenciados). Por correlação NSPT, ϕ médio varia de 39 a 45°
Tálus		25	0	34	Porto (2003) para peso específico, e experiência da autora para coesão e ângulo de atrito

Com o objetivo de aferir os parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito efetivos, foi realizada a retroanálise da ruptura ocorrida no final de 2020. O ângulo de atrito foi sendo alterado de acordo com a faixa de variação observada em PORTO (2003), até se obter o Fator de Segurança FS=1.

4.3.4.3. Retroanálise da ruptura ocorrida

Esta análise contempla a geometria da superfície do talude antes da ruptura, com o $FS=1$ nas proximidades da superfície de ruptura observada em campo. Como a ocorrência foi em período chuvoso, o nível de água (NA) foi mantido elevado, e na superfície de contato entre saprolito e solo residual. A Figura 4.27 apresenta o resultado da retroanálise, bem como os valores adotados e obtidos para os parâmetros físicos e de resistência.

Para a retroanálise, todos os parâmetros foram mantidos conforme Tabela 4.8, exceto o ângulo de atrito do solo residual de xisto grauváquico, que foi o parâmetro retroanalizado. Adotou-se inicialmente o ângulo de atrito de 45° na primeira análise, conforme resultado de um ensaio triaxial apresentado em PORTO (2003). Esse valor foi sendo diminuído em análises consecutivas até se chegar ao $FS=1$. O ângulo de atrito retroanalizado para o solo residual de xisto grauváquico foi de 39° para $FS=1$. Esse valor foi adotado nas demais análises, e está também dentro da faixa de valores desse parâmetro (entre 39° a 45°), conforme correlação por NSPT apresentada em PORTO (2003).

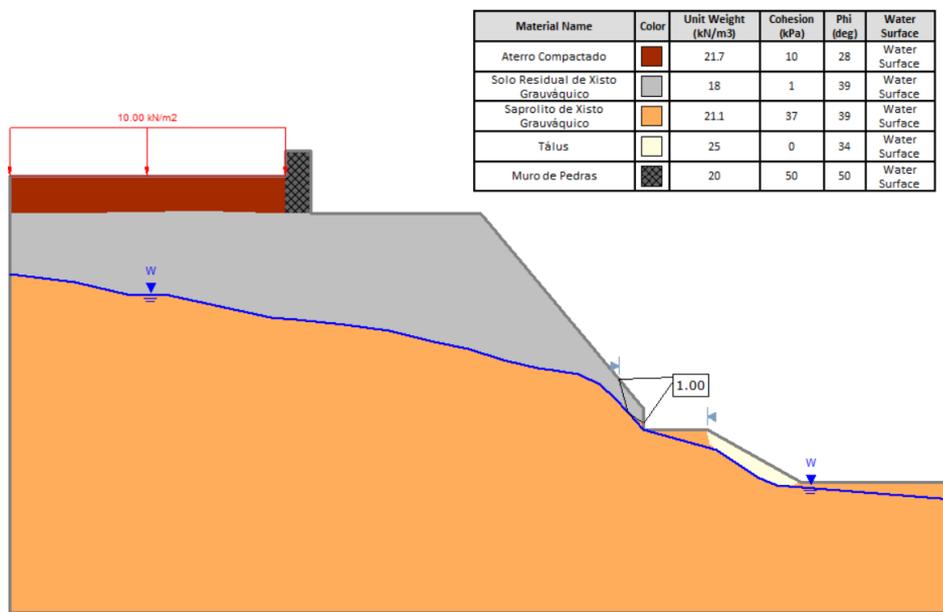


Figura 4.27- Talude TS-C1 - Seção AA – Retroanálise de parâmetros para $FS=1$, condição drenada, com linha freática.

4.3.4.4. Análise de estabilidade na condição atual do talude

Após a retroanálise da ruptura e obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo residual ($c=1$ kPa e $\phi=39^\circ$), as seguintes seções foram avaliadas para o talude TS-C1 na condição atual:

- Seção AA – com superfície do talude sem a cicatriz de ruptura. Essa seção simula a condição do talude imediatamente adjacente à ruptura. Foram realizadas duas análises, sendo o resultado apresentado na Figura 4.28 sem linha freática; e o resultado da Figura 4.29 com linha freática. Observam-se que os fatores de segurança diminuíram com a presença do nível freático ($FS=1,08$ e $FS= 1,00$), mas não de forma significativa, visto que a superfície de ruptura é acima no nível de água, além de ser superficial. O que condiciona a ruptura iminente da base do talude é o pequeno corte realizado para abertura da via, além da descontinuidade desfavorável à segurança. As chuvas de final de ano deflagam a ruptura, mas o talude na umidade natural já está na iminência do escorregamento.

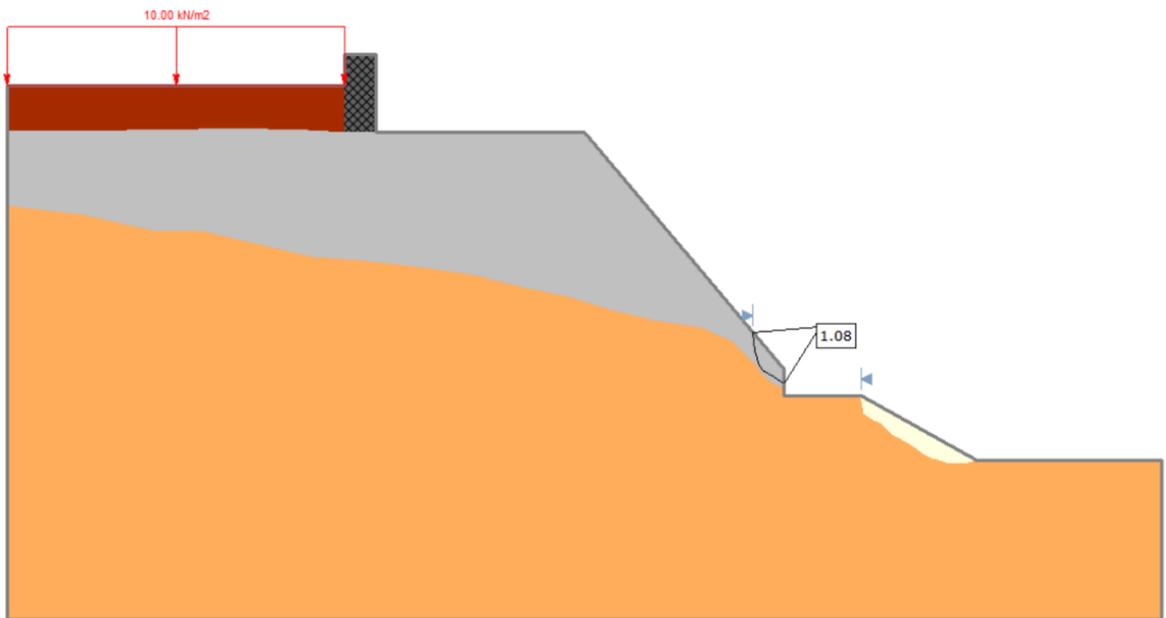


Figura 4.28- Talude TS-C1 - Seção AA – Análise de estabilidade para talude sem linha freática, condição drenada.

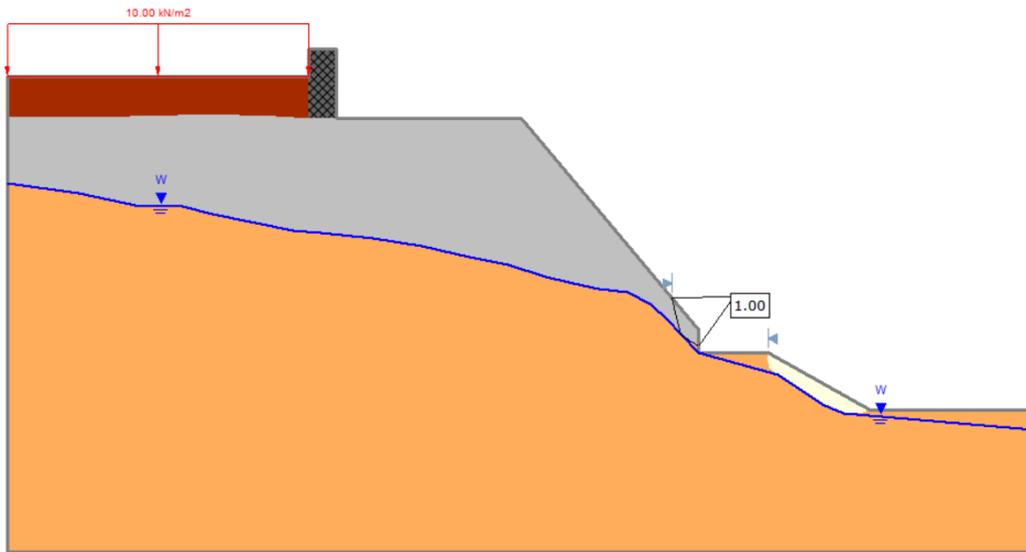


Figura 4.29- Talude TS-C1 - Seção AA – Análise de estabilidade para talude com linha freática, condição drenada.

- Seção BB – com superfície do talude com a cicatriz de ruptura

Esta seção simula a condição do talude no local da superfície de ruptura, conforme apresentado na Figura 4.30. Observa-se que foi encontrado $FS=0,45$ no local da ruptura. Fatores de segurança menores que 1 não tem significado físico no método de equilíbrio limite, pois com $FS=1$ já se tem a ruptura ou a iminência da mesma. Contudo, FS menores que 1 são bons indicadores que o modelo geotécnico adotado não representa a realidade. Neste caso, acredita-se que a árvore que se encontra na crista da superfície de ruptura, e que não faz parte do modelo, está a acrescentar resistência ao talude devido à ação de suas raízes. Portanto, se a árvore cair, pode ocorrer mais rupturas na base, além de condicionar rupturas de maior magnitude em direção à crista, conforme ilustrado uma condição com $FS=1,46$.

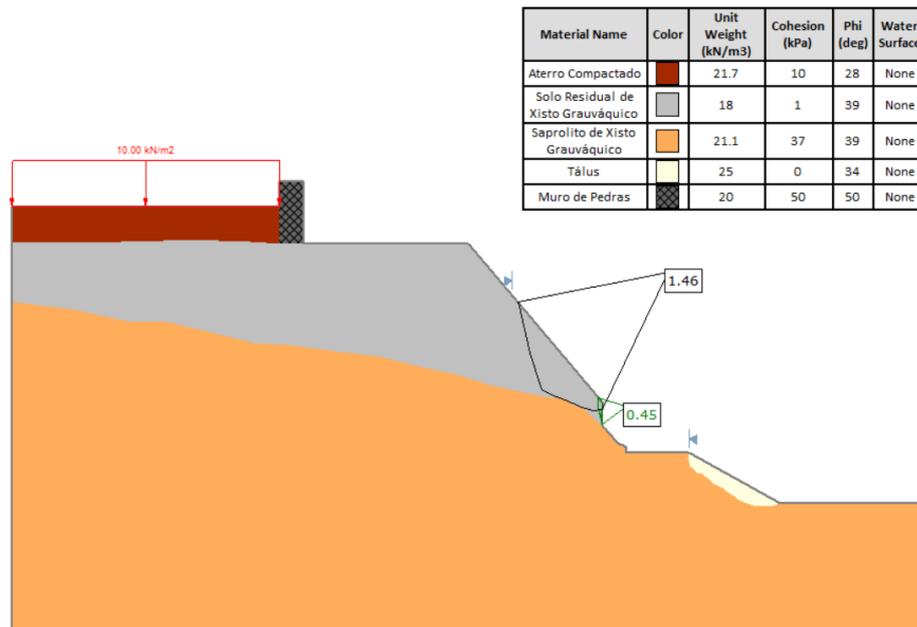


Figura 4.30- Talude TS-C1 - Seção BB – Análise de estabilidade para talude sem linha freática, condição drenada.

A partir das análises de risco e estabilidade sugere-se as seguintes estratégias de prevenção e mitigação:

CM (Controle Mitigatório): Evitar cortes na base, monitoramento antes e após período chuvoso;

AM (Ação mitigatória): Suavização da inclinação do talude e direcionamento de água pluvial.

AC (Ação corretiva): Retaludamento com inclinação menor que 45°, construção de muro de pequena altura na base.

4.3.5. *Monitoramento*

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento, apresenta-se na Figura 4.31 um gráfico com os índices de perigo de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 4.32 um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os índices que mais colaboram com a situação de risco do talude TS-C1.

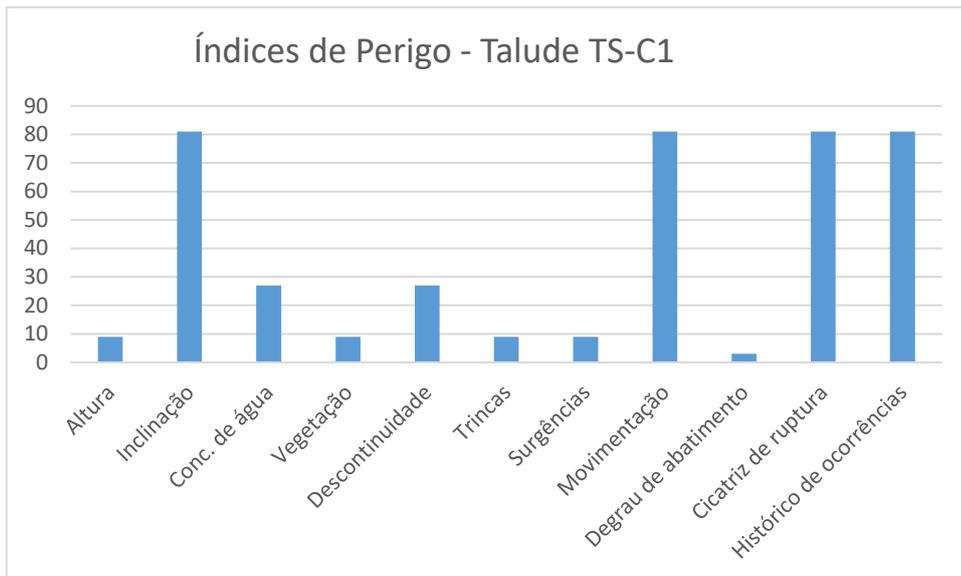


Figura 4.31- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-C1

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicos, a inclinação do talude e as descontinuidades são fatores preponderantes para o perigo. Já na categoria de indícios de instabilidade, a movimentação do talude e cicatrizes de ruptura são os mais relevantes. O histórico de ocorrências também colaborou para a pontuação de perigo Média-Alta. Em relação às consequências, destacam-se os índices relativos à ocupação do talude e seu contexto urbano.

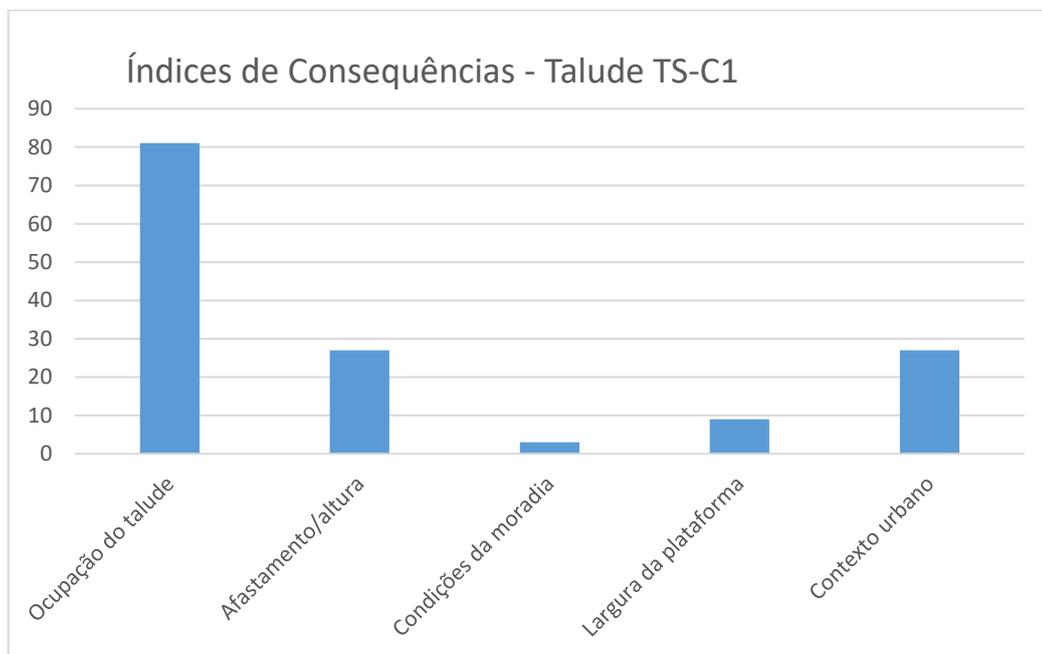


Figura 4.32 Gráfico de índices de consequências para o talude TS-C1

4.3.6. *Revisão e análise crítica*

A partir dos resultados das análises de risco, análises de estabilidade e conhecimento dos índices de perigo e consequências relevantes para o monitoramento, sugere-se a construção de um muro de pequena altura na base do talude, ou outra solução de estabilização a ser especificada pelo projetista. O monitoramento é aconselhável até que se tenha as ações corretivas implementadas.

4.4. Talude da Ponte do Parque Oriental, Campanhã (TS-C2)

4.4.1. *Estabelecimento do contexto*

4.4.1.1. **Localização**

O talude em estudo é denominado nesta pesquisa de TS-C2 (talude de solo, em Campanhã, número 2). Localiza-se na freguesia de Campanhã, na zona oriental da cidade, ao norte, e próximo da divisa com o concelho de Gondomar, conforme localização aproximada apresentada na Figura 4.33, coordenadas 41,1591414, -8,5647211. Esse talude foi identificado para análise de risco após caminhamento no vale do Rio Tinto e aplicação da metodologia para definição de taludes críticos.



Figura 4.33- Vista da localização do talude TS-C2 (Imagem editada, extraída do Google Earth).

4.4.1.2. Enquadramento no Plano Diretor Municipal

Para verificação do enquadramento do talude TS-C2 no PDM, foram verificadas principalmente as cartas de riscos naturais, condicionantes gerais, qualificação do solo e patrimônio. Verifica-se na Figura 4.34 a localização do talude em relação a carta de condicionantes gerais: em zona de servidão rodoviária do Plano Nacional Rodoviário e em Domínio Hídrico (margem das linhas de água com largura de 10 m). O TS-C2 também está localizado em área de inundação previsto na Carta de Riscos Naturais (PORTO, 2020 e 2003), adjacente ao Rio Tinto e sob a ponte da IC29.



● Talude TS-C2

Figura 4.34- Localização do talude TS-C2 na Carta de Condicionantes Gerais do PDM (PORTO, 2003)

4.4.1.3. Caracterização geológico-geotécnica

O talude TS-C2 encontra-se na unidade geotécnica G2 - Solos aluvionares e coluvionares. Também foi observado em campo material de aterro depositado sobre a camada de colúvio/alúvio, possivelmente proveniente de movimentação de terra quando da construção da ponte.

A Figura 4.35 apresenta a vista frontal do TS-C2, coberto em grande parte por vegetação rasteira e com processos erosivos superficiais e ravinamento. Os processos erosivos condicionam o talude a escorregamentos e quedas de solo superficiais. O material depositado na base do talude é levado pela chuva em períodos de maior índice pluviométrico, causando o assoreamento do Rio Tinto. A Figura 4.36 ilustra a situação de material erodido nas margens

do rio. Observa-se também que uma linha de blocos de rocha que contém as margens do córrego sofreu queda.



Figura 4.35- Vista geral do talude TS-C2



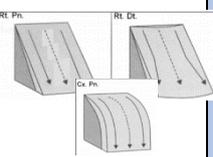
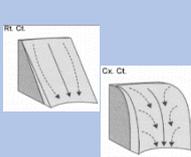
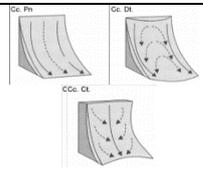
Figura 4.36- Vista do material proveniente da erosão do TS-C2 depositado nas margens do Rio Tinto

4.4.2. *Análise e avaliação dos riscos*

Para o trabalho de campo foi preenchida a ficha de avaliação do talude. A seguir, os resultados da análise de perigo, consequências e risco, conforme medidas e informações obtidas em campo.

4.4.2.1. **Análise de perigo do talude TS-C2**

Tabela 4.9- Pontuação de perigo – Talude TS-C2

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I_{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (I_{VG})	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm (considerarei a ravina)
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante (Considerarei o assoreamento no estreitamento de margens)
	Degrau de abatimento (I_{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I_{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante (considerarei a ravina)
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I_{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 333	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO TALUDE TS-C2

TOTAL DE PONTOS: $2 \times 3 + 4 \times 9 + 3 \times 27 + 2 \times 81 = 285$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA (3)

4.4.2.2. Análise das consequências do talude TS-C2

Tabela 4.10- Pontuação das consequências – Talude TS-C2

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I_{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I_{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se atever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I_{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I_{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I_{CU})	Zonas interditas, e/ou com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:39	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO TALUDE TS-C2

TOTAL DE PONTOS: $4 \times 3 + 1 \times 27 = 39$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: RESIDUAL (1)

4.4.2.3. Matriz de riscos

Com os resultados de perigo médio (3) e consequências Residual (1) para impactos em saúde e segurança da população, o talude TS-C2 apresenta-se na matriz de risco na classe R1 – RISCO BAIXO (cor verde), conforme Figura 4.37.

MATRIZ DE RISCO PARA SAÚDE E SEGURANÇA DA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho	Vermelho
	Média-alta (4)	Verde	Amarelo	Laranja	Laranja	Vermelho
	Média (3)	Verde TS-C2	Amarelo	Amarelo	Laranja	Vermelho
	média-baixa (2)	Verde	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho
	baixa (1)	Verde	Verde	Amarelo	Amarelo	Laranja
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 4.37- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-C2

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter o perigo médio (3), e aumentar as consequências para moderada, considerando impacto significativo, mas reversível no habitat, devido ao assoreamento do Rio Tinto no trecho adjacente ao talude. Portanto, o risco é R2 – RISCO MODERADO (cor amarela), para o sistema meio ambiente.

Em relação aos impactos no meio socioeconômico optou-se pelas consequências em nível reduzido pois pode haver alguma perda financeira para reparo emergencial, caso o volume de material depositado no rio aumente. Portanto, R2 – RISCO MODERADO (cor amarela), para o sistema socioeconômico.

4.4.3. Estratégias de Prevenção e Mitigação

A partir das análises de risco sugere-se as seguintes estratégias de prevenção e mitigação:

- CM (Controle Mitigatório): Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento do volume de material de assoreamento, bem como acompanhamento do processo de ravinamento e escorregamentos;
- AM (Ação mitigatória): avaliar colocação de sacarias na base do talude para evitar que um volume maior de material esco para o rio, ou blocos de rocha que é um material disponível no Porto;
- AC (Ação corretiva): projeto de retaludamento do talude e implantação de cobertura vegetal eficaz no controle da erosão.

4.4.4. *Monitoramento*

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento, apresenta-se na Figura 4.38 um gráfico com os índices de perigo de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 4.39 um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos do modo de falha do talude TS-C2.

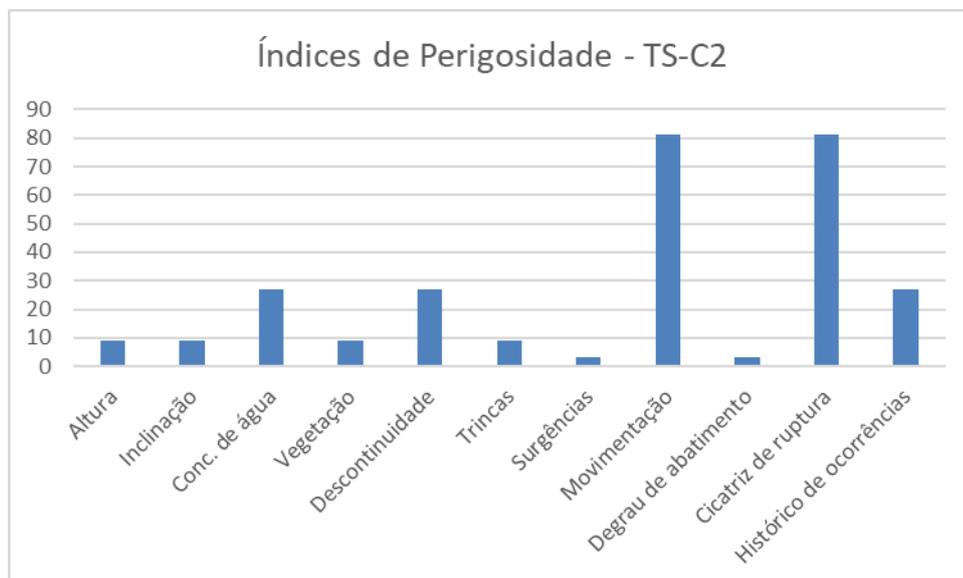


Figura 4.38- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-C2

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicos, a concentração de água é o mais significativo, que potencializa também os processos erosivos observados. Ressalta-se que conforme definido no método, foi avaliado este índice em um período chuvoso. De forma particular para este talude, a concentração do escoamento superficial se dá pela ravina.

Já na categoria de indícios de instabilidade dois índices são preponderantes: movimentação na face e base do talude principalmente acumulando material nas bordas do Rio Tinto causando assoreamento, e cicatrizes de ruptura. Para o índice cicatriz de ruptura, foi considerado a ravina pois há indícios de quedas.

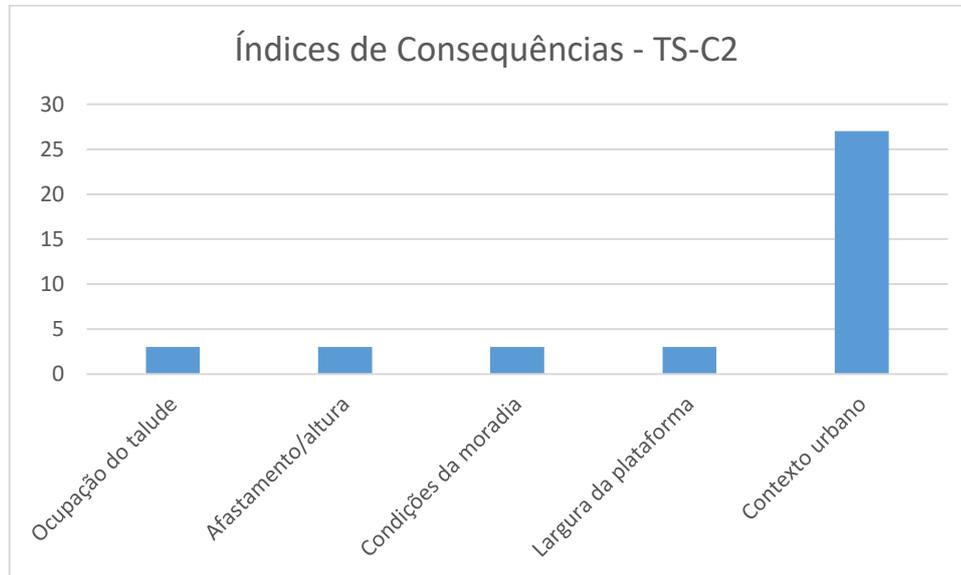


Figura 4.39 Gráfico de índices de consequências para o talude TS-C2

Em relação às consequências, destaca-se o índice relativo ao contexto urbano. Além de ser área de servidão rodoviária, o talude se encontra em área adjacente a cursos de água.

4.4.5. *Revisão e análise crítica*

A partir dos resultados das análises de risco e conhecimento dos índices de perigo e consequências relevantes para o monitoramento, sugere-se o retaludamento e cobertura vegetal. Não foi considerado possíveis impactos na fundação da ponte devido ao processo erosivo e movimentação de solo observados, por acreditar que as bases da ponte estão profundas e adequadas. Contudo, não se pode afirmar. Coloca-se esta questão para ponderação da Proteção Civil, caso considere relevante buscar os projetos da ponte para verificação, e averiguar se há sondagens já realizadas no local.

4.5. Talude Rua do Bacelo, Campanhã (TS-C3)

4.5.1. *Estabelecimento do contexto*

4.5.1.1. **Localização**

O talude em estudo é denominado nesta pesquisa de TS-C3 (talude de solo, em Campanhã, número 3). Localiza-se na freguesia de Campanhã, na zona oriental da cidade, ao sul, próximo a Rotunda do Freixo e Rio Douro, entre R. do Freixo e Bacelo, conforme localização aproximada apresentada na Figura 4.40, coordenadas 41,1591414, -8,5745829. Em vermelho nesta figura, o caminhamento percorrido, e em amarelo o trecho analisado. Esse talude já estava indicado como instável ou potencialmente instável na Carta Geotécnica (PORTO, 2003) e no PDM (PORTO, 2020).

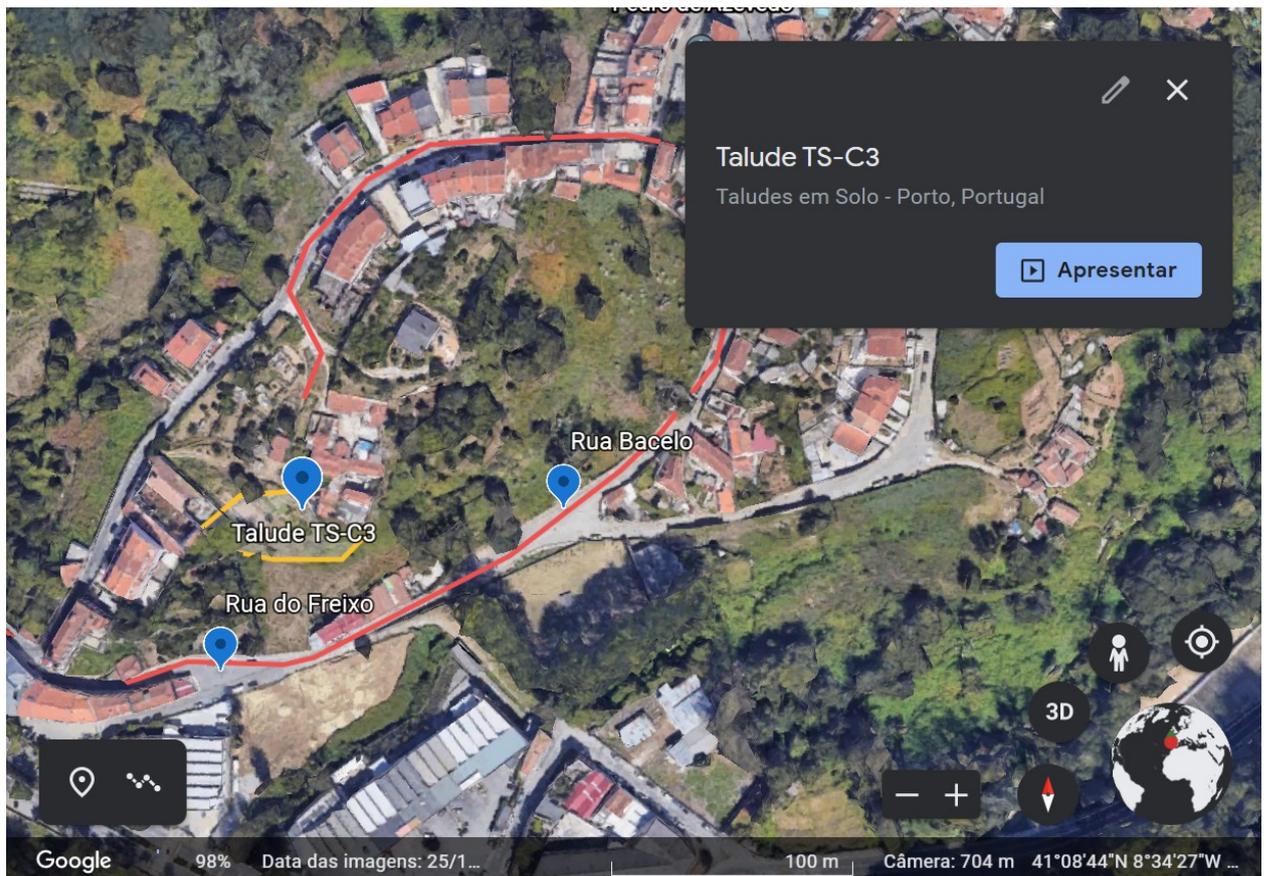


Figura 4.40- Vista da localização do talude TS-C3 (Imagem editada, extraída do Google Earth).

4.5.1.2. Enquadramento no Plano Diretor Municipal

Para verificação do enquadramento do talude TS-C3 no PDM, foram verificadas principalmente as cartas de riscos naturais, condicionantes gerais, qualificação do solo e patrimônio. Verifica-se na Figura 4.41 a localização do talude na carta de riscos naturais, onde o mesmo já estava assinalado como área instável ou potencialmente instável, e sua base em área de inundação do rio Torto. Em relação à carta de condicionantes gerais não há condicionantes, somente uma parte do talude se encontra no limite de uma área mapeada como potencial valor

arqueológico. Quanto à qualificação do solo, trata-se de área de edifícios tipo moradia, contudo em consolidação.

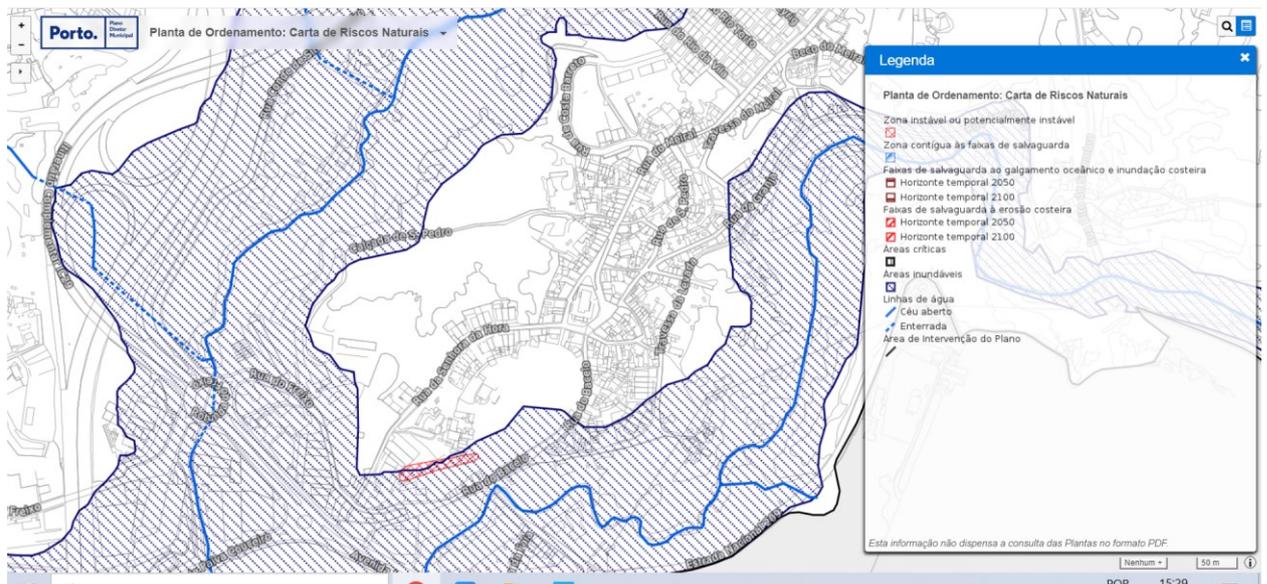


Figura 4.41- Localização do talude TS-C3 na Carta de Riscos Naturais (PORTO, 2003; PORTO, 2020)

4.5.1.3. Caracterização geológico-geotécnica

O talude TS-C3 encontra-se na transição da unidade G4-X, solos residuais medianamente compactos; e G5, solos residuais compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade conforme Figura 4.42. Não foi possível realizar a identificação visual e táctil do talude, nem pela base, pois a área estava cercada; e nem pela crista, pois não foram encontrados os moradores que poderiam permitir o acesso ao topo do talude.

Conforme a carta geotécnica e trabalho de campo no talude TS-C1, a descontinuidade principal desta unidade geotécnica é para leste. Foi verificado em campo, que a orientação da face do talude é para sul. Portanto, as descontinuidades podem não ser o fator condicionante principal de movimentos de massa neste talude.

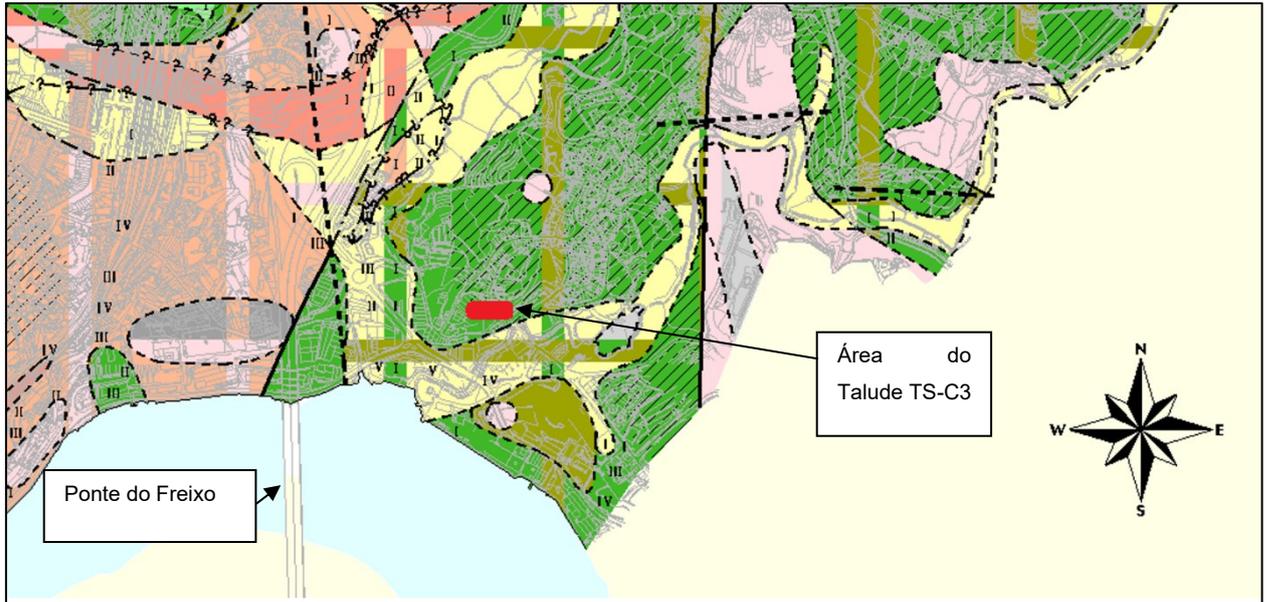


Figura 4.42- Recorte da Carta Geotécnica (PORTO, 2003) com indicação do TS-C3

Apesar de não ter tido acesso direto ao talude, alguns aspectos foram observados quando em caminhada pela R. do Freixo e na Rua S^{ra.} da Hora. A Figura 4.43 apresenta a vista frontal do TS-C3, verticalizado, com altura aproximada de 8m, grande parte coberto por vegetação, com processos erosivos e uma possível cicatriz de ruptura assinalada em vermelho.

Também foram observadas habitações na crista ainda com residentes. No local da possível cicatriz de ruptura observam-se detritos de um muro que fazia parte da construção na crista, conforme apresentado na Figura 4.44, contudo, a habitação parece descaracterizada e sem residentes.



Figura 4.43- Vista geral do talude TS-C3, com sinalização de movimento de massa pretérito.



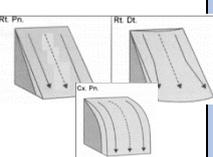
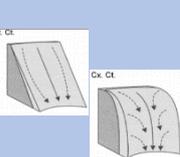
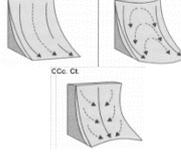
Figura 4.44- Vista de processos erosivos e escorregamento pretérito no talude TS-C3

4.5.2. *Análise e avaliação dos riscos*

Para o trabalho de campo foi preenchida a ficha de avaliação do talude. A seguir, os resultados da análise de perigo, consequências e risco, conforme medidas e informações obtidas em campo.

4.5.2.1. **Análise de perigo do talude TS-C3**

Tabela 4.11- Pontuação da perigo – Talude TS-C3

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I_{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (I_{VG})	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes (não visualizadas)	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm (considere a ravina)
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos (no caso, não visualizadas)	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente (no caso, não visualizadas)	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante (Considere o assoreamento no estreitamento de margens)
	Degrau de abatimento (I_{DG})	Ausente (não visualizado)	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I_{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I_{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 177	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO TALUDE TS-C3

TOTAL DE PONTOS: $5 \times 3 + 3 \times 9 + 2 \times 27 + 1 \times 81 = 177$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA-BAIXA (2)

4.5.2.2. Análise das consequências do talude TS-C3

Tabela 4.12- Pontuação das consequências – Talude TS-C3

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I_{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I_{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se atever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I_{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I_{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I_{CU})	Zonas interditas, e/ou com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências: 279	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO TALUDE TS-C3

TOTAL DE PONTOS: $0 \times 3 + 1 \times 9 + 1 \times 27 + 3 \times 81 = 279$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

4.5.2.3. Matriz de riscos

Com os resultados de perigo Médio-baixo (2) e consequências Acentuada (4) para impactos em saúde e segurança da população, o talude TS-C3 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ELEVADO (cor laranja), conforme Figura 4.45.

MATRIZ DE RISCO PARA SAÚDE E SEGURANÇA DA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)				TS-C3	
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 4.45- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-C3

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo Média-baixa (2), e diminuir as consequências para residual (1) por não haver impacto ou não ser mensurável. Portanto, o risco para o meio ambiente é R1 – RISCO BAIXO (cor verde).

Em relação aos impactos no meio socioeconômico optou-se pelas consequências em nível reduzido pois pode haver alguma perda financeira para reparo emergencial e atendimento a possíveis moradores impactados. Portanto, R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

4.5.3. Estratégias de Prevenção e Mitigação

A partir das análises de risco sugere-se as seguintes estratégias de prevenção e mitigação:

- CM (Controle Mitigatório): Abertura de ocorrência e monitoramento antes e após período chuvoso;

- AM (Ação mitigatória): Informar aos moradores dos possíveis riscos, e avaliar a situação dos mesmos; providências junto aos moradores para se ter acesso ao talude pela crista e base, de forma a melhor investigá-lo;
- AC (Ação corretiva): verificar junto à câmara se há projeto para o local, já que parte da área que está na base do talude encontra-se em área verde lúdico-produtiva conforme a planta de qualificação do solo.

4.5.4. *Monitoramento*

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento, apresenta-se na Figura 4.46 um gráfico com os índices de perigo de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 4.47, o gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos do modo de falha do talude TS-C3.

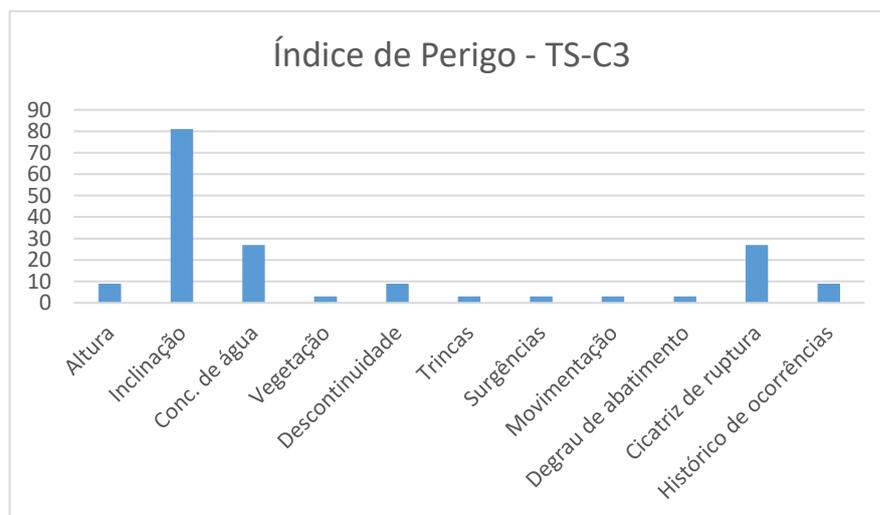


Figura 4.46- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-C3

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicos, a inclinação do talude é o mais significativo, seguido da concentração de água onde se observa uma antiga superfície de ruptura. Em relação aos indícios de instabilidade ressalta-se a cicatriz de ruptura observada.

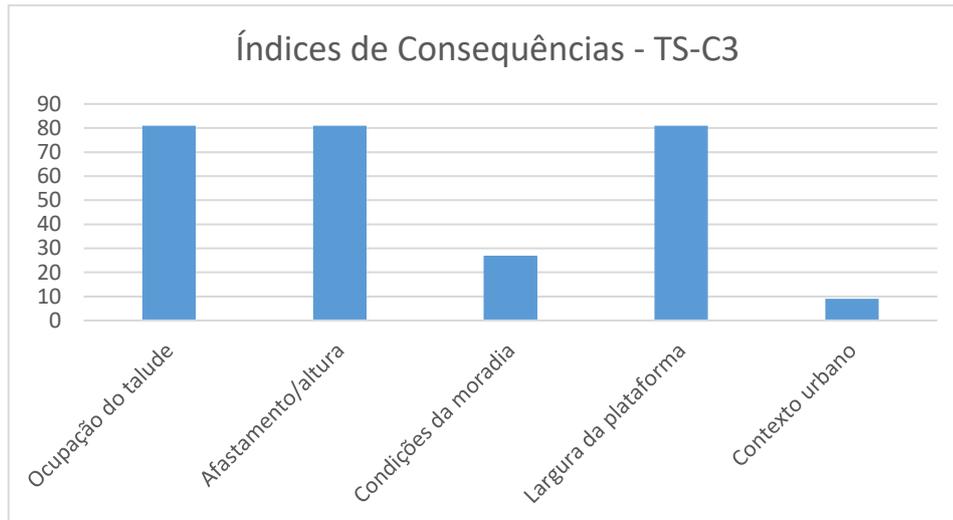


Figura 4.47 Gráfico de índices de consequências para o talude TS-C3

Em relação às consequências, o TS-C3 apresenta-se mais crítico, com três índices com pontuação máxima: ocupação do talude, por haver moradias na crista; afastamento/altura, pois as habitações estão muito próximas ao paredão do talude verticalizado; e largura da plataforma, exatamente por não terem a distância de segurança à crista.

4.5.5. *Revisão e análise crítica*

A partir dos resultados das análises de risco e conhecimento dos índices de perigo e consequências relevantes para o monitoramento, sugere-se a comunicação com os moradores e verificação do planejamento urbano para a área.

4.6. Talude Alameda de Cartes, Campanhã (TS-C4)

4.6.1. *Estabelecimento do contexto*

4.6.1.1. **Localização**

O talude em estudo é denominado nesta pesquisa de TS-C4 (talude de solo, em Campanhã, número 4). Localiza-se na freguesia de Campanhã, na zona oriental da cidade, próximo ao estádio do Dragão conforme localização aproximada apresentada na Figura 4.48, coordenadas 41°09'41.8"N 8°34'28.7"W. Esse talude foi identificado para análise de risco após caminhar na região e aplicação da metodologia para definição de taludes críticos.

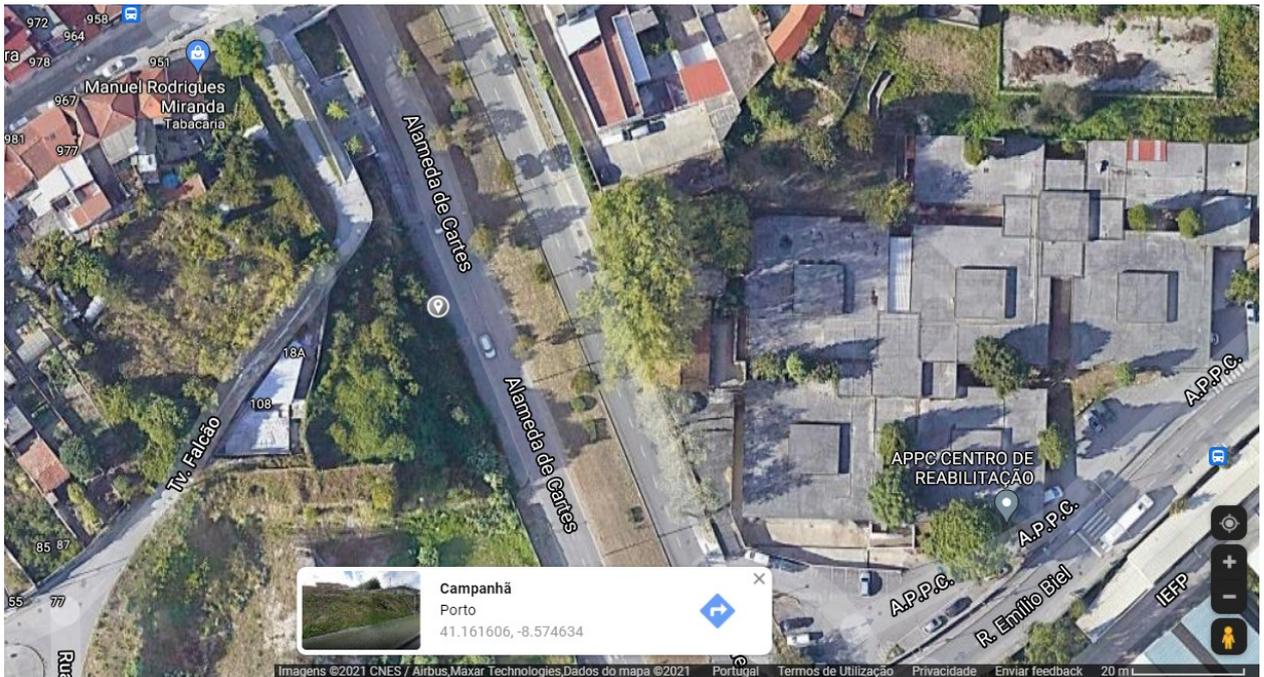


Figura 4.48- Vista da localização do talude TS-C4 (Imagem editada, extraída do Google Maps).

4.6.1.2. Enquadramento no Plano Diretor Municipal

Para verificação do enquadramento do talude TS-C4 no PDM, foram verificadas principalmente as cartas de riscos naturais, condicionantes gerais, qualificação do solo e património. Em relação aos riscos naturais, não há área de instabilidade mapeada. A carta de condicionantes gerais indica que a Alameda de Cartes faz parte do Domínio Hídrico conforme Figura 4.49, pois havia um curso de água no local, antes da urbanização da via. Não há condicionantes relativas à património arquitetónico ou arqueológico.

Em relação à qualificação do solo, o talude se encontra em área de frente urbana contínua do tipo II, que corresponde às áreas estruturadas em quarteirão com edifícios localizados, predominantemente, à face dos arruamentos, em que o espaço público se encontra definido e em que as frentes urbanas edificadas estão em processo de transformação construtiva e de uso, pretendendo-se a manutenção e reestruturação das malhas e a consolidação do tipo de relação do edificado com o espaço público existente, designadamente, a uniformidade da frente urbana (PORTO, 2020)

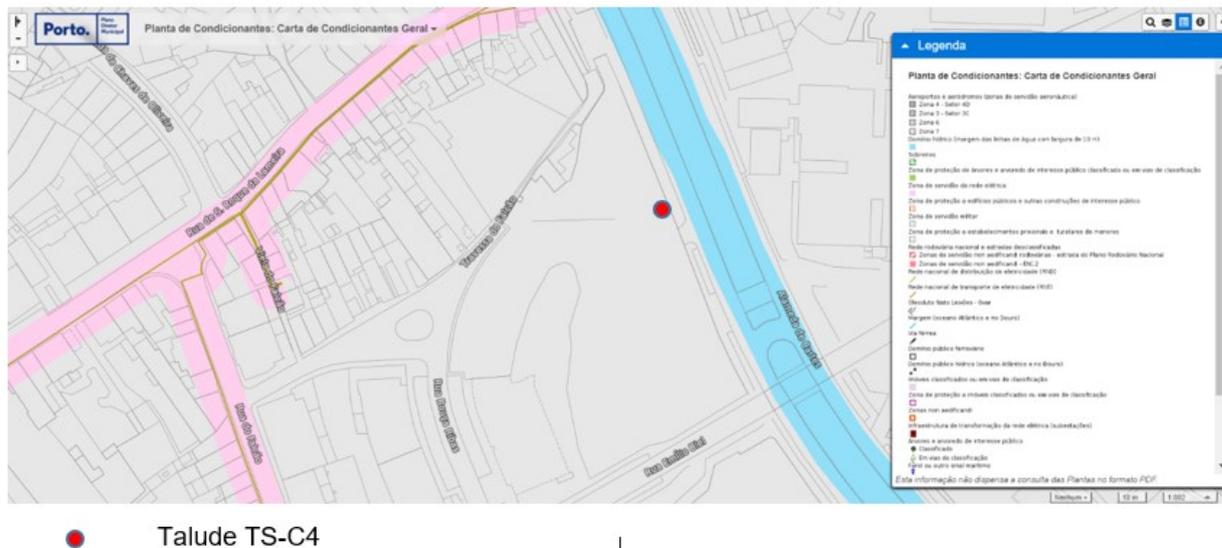


Figura 4.49- Localização do talude TS-C4 na Carta de Condicionantes Gerais do PDM (PORTO, 2003)

4.6.1.3. Caracterização geológico-geotécnica

O talude TS-C4 encontra-se em um local de transição de unidades geotécnicas, as quais pode-se citar a G4-G e G8 – solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados; e G2 - Solos aluvionares e coluvionares. Trata-se de um talude heterogêneo em sua extensão quanto em perfil. Na esquina da Alameda De Cartes com viaduto da Rua São Roque da Lameira observa-se talude de granito, unidade G8, conforme Figura 4.50. Já descendo a Alameda de Cartes, observam-se as unidades de solo residual granítico e maciço rochoso indiferenciados, conforme Figura 4.51, onde observa-se solo residual, material de aterro, trechos indiferenciados de maciço rochoso e uma surgência de água significativa. Neste trecho foram visualizados blocos que podem ser de um antigo muro já totalmente desfeito, bem como terraplenagem executada em bancada superior do talude. Não foi possível diferenciar a presença de colúvio e/ou alúvio junto ao material de aterro. Acredita-se que a parte superior do talude já sofreu ação antrópica mais expressiva, conforme pode-se observar na Figura 4.52.



Figura 4.50- Vista geral do talude TS-C4, próximo à R. São Roque da Lameira.



Figura 4.51- Vista da surgência na face do TS-C4



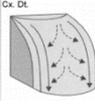
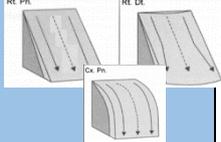
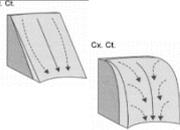
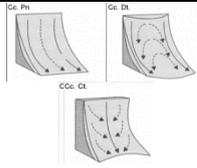
Figura 4.52- Vista superior do talude TS-C4

4.6.2. *Análise e avaliação dos riscos*

Para o trabalho de campo foi preenchida a ficha de avaliação do talude. A seguir, os resultados da análise de perigo, consequências e risco, conforme medidas e informações obtidas em campo.

4.6.2.1. **Análise de perigo do talude TS-C4**

Tabela 4.13- Pontuação de perigo – Talude TS-C4

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I_{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (I_{VG})	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante (Considerarei o assoreamento no estreitamento de margens)
	Degrau de abatimento (I_{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I_{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante (considerarei a ravina)
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I_{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos (visualizada pelo google e em campo)	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 333	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO TALUDE TS-C4

TOTAL DE PONTOS: 3 X 3 + 3 X 9 + 2 X 27 + 3 X 81 = 333 PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA (3)

4.6.2.2. Análise das consequências do talude TS-C4

Tabela 4.14- Pontuação das consequências – Talude TS-C4

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I _{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I _{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I _{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I _{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I _{CU})	Zonas interditas, e/ou com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências: 129	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO TALUDE TS-C4

TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 2 \times 9 + 1 \times 27 + 1 \times 81 = 129$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: MODERADA (3)

4.6.2.3. Matriz de riscos

Com os resultados de perigos médio (3) e consequências Moderada (3) para impactos em saúde e segurança da população, o talude TS-C4 apresenta-se na matriz de risco na classe R2 – RISCO MODERADO (cor amarela), conforme Figura 4.53.

MATRIZ DE RISCO PARA SAÚDE E SEGURANÇA DA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)			TS-C4		
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 4.53- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-C4

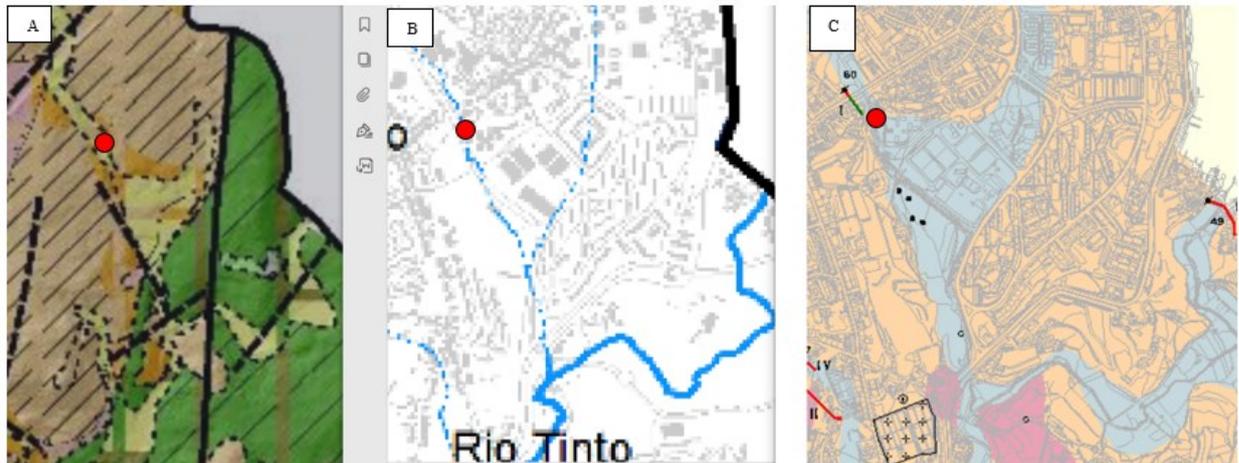
Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter o perigo médio (3), e as consequências Acentuada (4) considerando o impacto significativo no habitat, grande, porém reversível, devido à urbanização com construção de via sobre um curso de água afluente do Rio Tinto, bem como a existência de nascente na área, a qual pode ser a fonte da surgência na face do talude.

Conforme Figura 4.54 A), observa-se o TS-C4 na interface entre unidades geotécnicas G4-G, G8 e G2; em B) recorte do mapa de bacias hidrográficas onde o talude está sobre ou próximo de um curso de água afluente do Rio Tinto, que hoje está sotoposto à Alameda De Cartes; em C) apresenta-se a carta hidrogeológica (PORTO, 2003) com indicação de uma nascente à montante do talude, próximo ao cruzamento de Alameda De Cartes e R. São Roque da Lameira.

Conforme PORTO (2003), que obteve dados de SMAS – Águas do Porto, a nascente possui identificação nº 60 e designação “Manacial das Bicas”, com profundidade de cerca de 5m, ativa em 2003 e abastece lavadouros, com mina em galeria. A Figura 4.54 C) indica à

jusante da nascente certa extensão de água de nascente em galeria e posteriormente em tubulação.

Caso se confirme a hipótese que a surgência observada na face do talude é proveniente da nascente, as movimentações no talude impactam esta importante fonte hídrica, portanto o risco é R3 – RISCO ELEVADO (cor laranja), para o sistema meio ambiente.



● Localização aproximada do TS-C4

Figura 4.54- Recorte da carta temáticas com indicação do TS-C4. A) Carta Geotécnica (PORTO, 2003); B) Mapa de Bacias Hidrográficas (PORTO, 2018); C) Carta Hidrogeológica (PORTO, 2003).

Em relação aos impactos no meio socioeconômico optou-se pelas consequências em nível reduzido pois pode haver alguma perda financeira para reparo emergencial, caso o volume de material depositado às margens da via aumente, ou a água proveniente da surgência impacte de alguma forma o trânsito. Portanto, R2 – RISCO MODERADO (cor amarela), para o sistema socioeconômico.

Logo após a identificação do TS-C4 em campo, a Proteção Civil informou para a autora que recebeu um chamado de vistoria para o local, pois o clima estava frio e a água proveniente da surgência criou uma película congelada escorregadia na via. Algumas providências já foram tomadas pela CMP e serão relatadas na planilha de síntese da análise de risco (planilha FMEA).

4.6.3. *Estratégias de Prevenção e Mitigação*

A partir das análises de risco sugere-se as seguintes estratégias de prevenção e mitigação:

- CM (Controle Mitigatório): Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos, bem como das surgências;

- AM (Ação mitigatória): implantação de drenagem superficial para direcionamento da água das surgências e água pluvial;
- AC (Ação corretiva): Os pequenos movimentos de massa observados podem estar relacionados com as surgências (aumento de poropressão em pontos específicos com correspondente escorregamento). Sugere-se o desenvolvimento de projeto, embasado por investigações geotécnicas, pois os escorregamentos neste talude são classificados como complexos, devido à heterogeneidade do mesmo, onde observam-se quedas de fragmentos de rocha e solo, carreamento de finos pelas surgências com escorregamentos de pequena magnitude. A sobrecarga do aterro na crista deve ser considerada. Sugere-se também investigações geofísicas, que podem associar o método de GPR ou eletrorresistividade, bem como potencial espontâneo para identificar a nascente e sentido de fluxo.

4.6.4. *Monitoramento*

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento, apresenta-se na Figura 4.55 um gráfico com os índices de perigo de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 4.56 um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos do modo de falha do talude TS-C4 para a saúde e segurança da população.

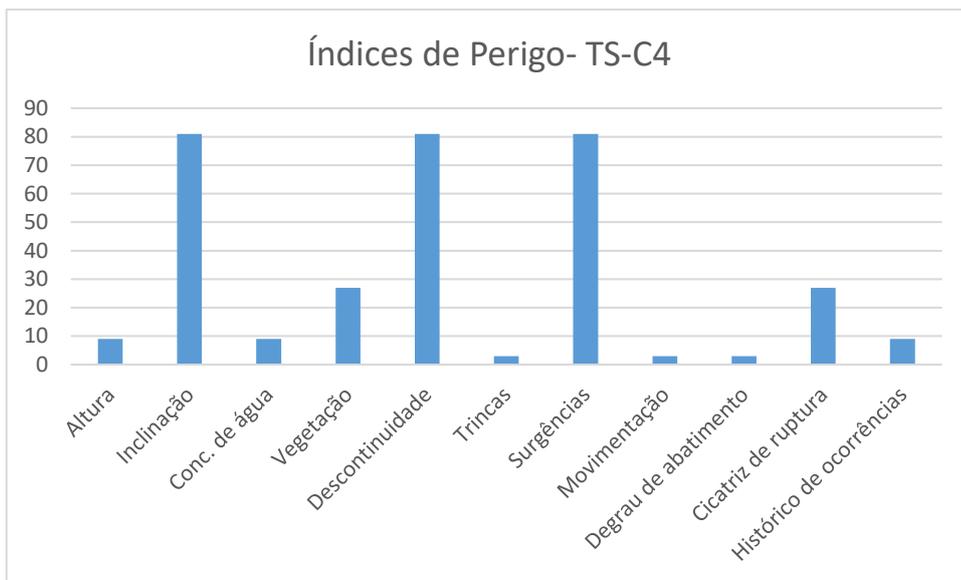


Figura 4.55- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-C4

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicos, a inclinação é o mais significativo, com ângulo médio de 60°. Também as descontinuidades, principalmente no trecho com a unidade G8, e a falta de vegetação benéfica.

Já na categoria de indícios de instabilidade o índice de surgências possui grande destaque, por se tratar do possível gatilho para os processos identificados em campo. As cicatrizes ou indícios de cicatrizes de ruptura estão na segunda colocação. Em relação às consequências, destaca-se a ocupação do talude em área habitacional e seu posicionamento adjacente à via, pois há relatos de impactos no trânsito no inverno de 2020.

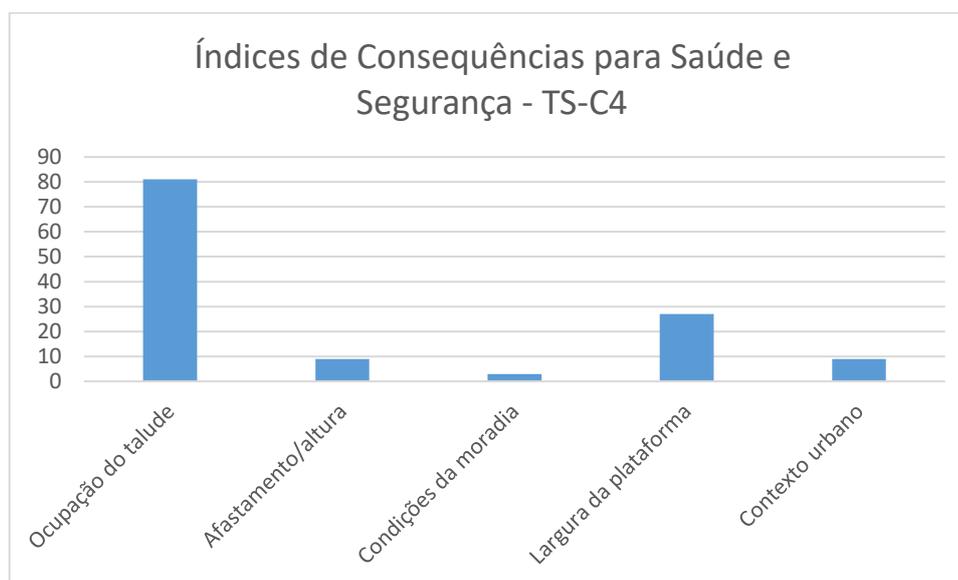


Figura 4.56 Gráfico de índices de consequências para o talude TS-C4

4.6.5. *Revisão e análise crítica*

A partir dos resultados das análises de risco, análises de estabilidade e conhecimento dos índices de perigo e consequências relevantes para o monitoramento, sugere-se as ações mitigadoras e corretivas já listadas. Coloca-se como sugestão a realização de estudos hidrogeológicos detalhados da região, a fim de conservar possível nascente ainda existente nas proximidades do TS-C4.

4.7. Talude Rua Virgínia Moura, Campanhã (TS-C5)

4.7.1. *Estabelecimento do contexto*

4.7.1.1. **Localização**

O talude em estudo é denominado nesta pesquisa de TS-C5 (talude de solo, em Campanhã, número 5). Localiza-se na freguesia de Campanhã, na zona oriental da cidade, ao norte, próximo à estação de metrô Nau Vitória, e divisa com Gondomar, conforme localização aproximada apresentada na, coordenadas $41^{\circ}10'29.9''N$ $8^{\circ}34'21.5''W$. Esse talude foi identificado para análise de risco após estudo de bibliografia com indicação de área de aterro/entulheiras no local, além de caminhamento na região e aplicação da metodologia para definição de taludes críticos.

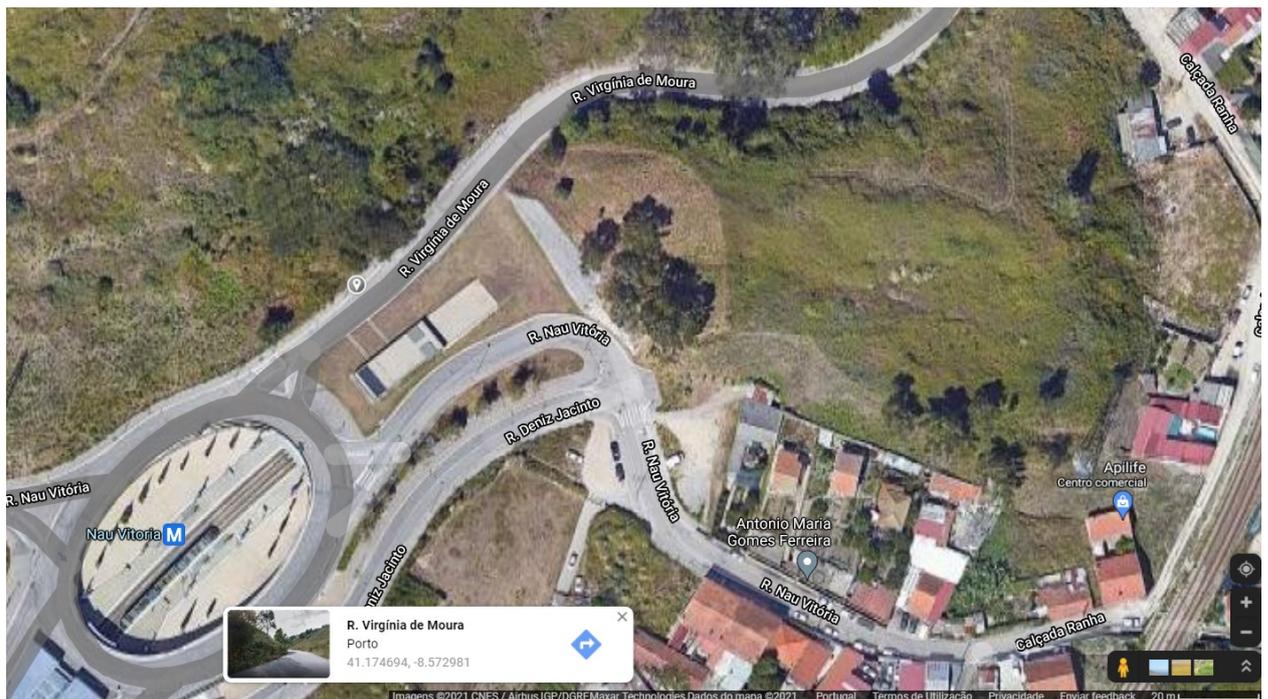


Figura 4.57- Vista da localização do talude TS-C5 (Imagem editada, extraída do Google Maps).

4.7.1.2. Enquadramento no Plano Diretor Municipal

Para verificação do enquadramento do talude TS-C5 no PDM, foram verificadas principalmente as cartas de riscos naturais, condicionantes gerais, qualificação do solo e património, conforme Figura 4.58. Em relação aos riscos naturais (Figura 4.58 C), não há área de instabilidade mapeada, somente área de inundação nas proximidades, ao sul da estação de Nau Vitória. A carta de condicionantes gerais (Figura 4.58 D) indica que há área de sobreiros a preservar no local do talude e próximo, bem como a carta de património arqueológico (Figura 4.58 A) indica APA – área de potencial valor arqueológico. Em relação à qualificação do solo, o talude se encontra em área verde de fruição coletiva (Figura 4.58 B), entre uma área de moradia e outra de atividades econômicas.

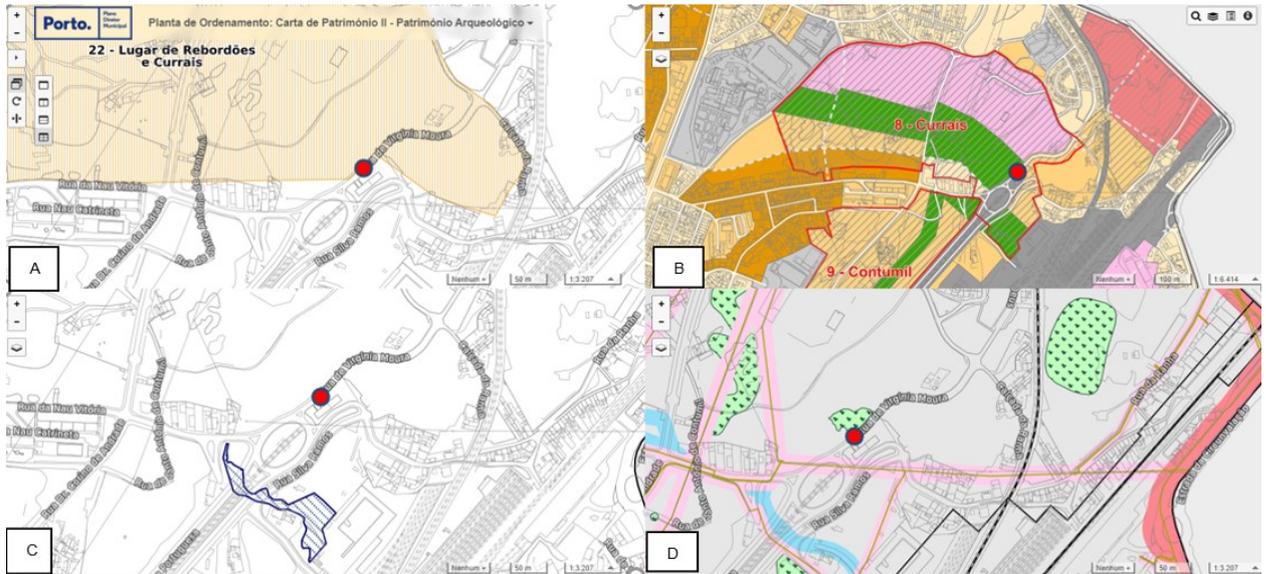


Figura 4.58- Recortes de mapas temáticos do PDM e localização do talude TS-C5. A) Carta de Condicionantes Gerais; B) Qualificação do Solo; C) Riscos Naturais; D) Carta de Condicionantes Gerais (PORTO, 2020).

4.7.1.3. Caracterização geológico-geotécnica

O talude TS-C5 encontra-se em um local de transição de unidades geotécnicas, as quais pode-se citar a G4-G e G8 – solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados; e G1 – Aterros e entulheiras. Há vegetação em quase a totalidade da área o que dificultou a investigação, conforme Figura 4.59. Trata-se de um talude heterogêneo, com maciço rochoso de granito observado em alguns pontos da base (Figura 4.60), e solo residual e aterro nas camadas superiores.



Figura 4.59- Vista geral do talude TS-C5.



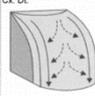
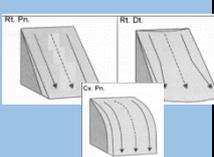
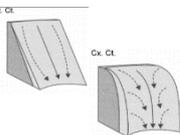
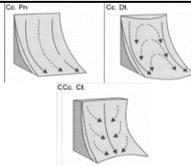
Figura 4.60- Vista de saprolito e maciço rochoso na base do talude TS-C5

4.7.2. *Análise e avaliação dos riscos*

Para o trabalho de campo foi preenchida a ficha de avaliação do talude. A seguir, os resultados da análise de perigo, consequências e risco, conforme medidas e informações obtidas em campo.

4.7.2.1. *Análise de perigo do talude TS-C5*

Tabela 4.15- Pontuação de perigo – Talude TS-C5

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I_{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (I_{VG})	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha	
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante (Considerarei o assoreamento no estreitamento de margens)
	Degrau de abatimento (I_{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I_{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante (considerarei a ravina)
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos (visualizada pelo google e em campo)	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano	
Total de perigo: 147	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO TALUDE TS-C5

TOTAL DE PONTOS: 4 X 3 + 6 X 9 + 1 X 81 = 147 PONTOS

CLASSE DE PERIGO: BAIXA (1)

4.7.2.2. Análise das consequências do talude TS-C5

Tabela 4.16- Pontuação das consequências – Talude TS-C5

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I _{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I _{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I _{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I _{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I _{CU})	Zonas interditas, e/ou com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências: 75	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO TALUDE TS-C5

TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 2 \times 9 + 2 \times 27 = 75$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: REDUZIDA (2)

4.7.2.3. Matriz de riscos

Com os resultados de perigo Baixo (1) e consequências Reduzida (2) para impactos em saúde e segurança da população, o talude TS-C5 apresenta-se na matriz de risco na classe R1 – RISCO BAIXO (cor verde), conforme Figura 4.61.

MATRIZ DE RISCO PARA SAÚDE E SEGURANÇA DA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)					
	baixa (1)		TS-C5			
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 4.61- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-C5

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter o perigo Baixo (1), e as consequências Reduzida (2) devido à existência de sobreiros e ser área de fruição coletiva; assim como manteve-se a mesma matriz para impactos econômicos.

4.7.3. Estratégias de Prevenção e Mitigação

A partir das análises de risco sugere-se as seguintes estratégias de prevenção e mitigação:

- CM (Controle Mitigatório): Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos, surgências e carreamento de finos para a via.

4.7.4. Monitoramento

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento, apresenta-se na Figura 4.62 um gráfico com os índices de perigo

de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 4.63 um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos do modo de falha do talude TS-C5 para a saúde e segurança da população.

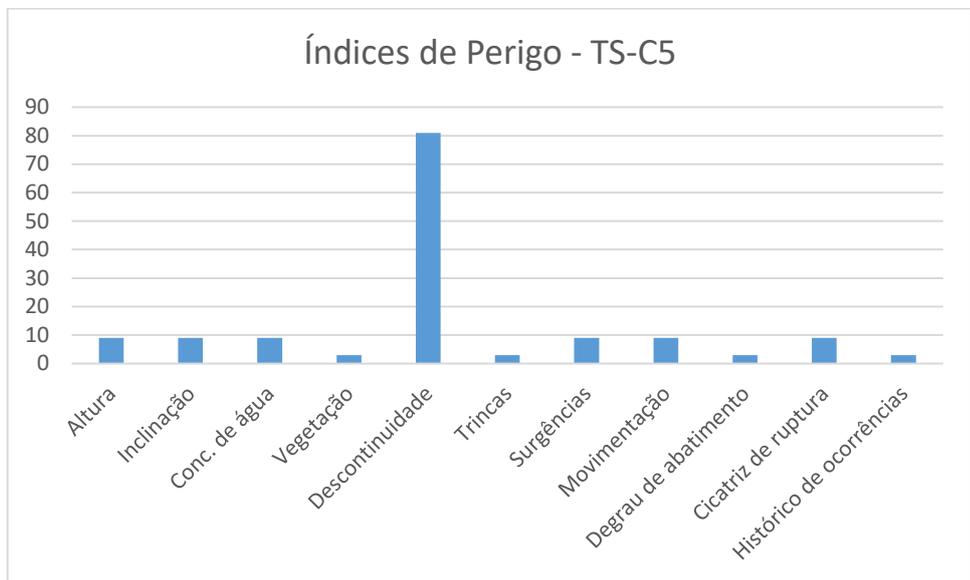


Figura 4.62- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-C5

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicos, as descontinuidades vistas nos trechos com a presença do maciço rochoso granítico na base do talude é o mais significativo.

Já na categoria de indícios de instabilidade houve uma certa homogeneidade na distribuição de pontos, não sendo tão relevantes para o TS-C5.

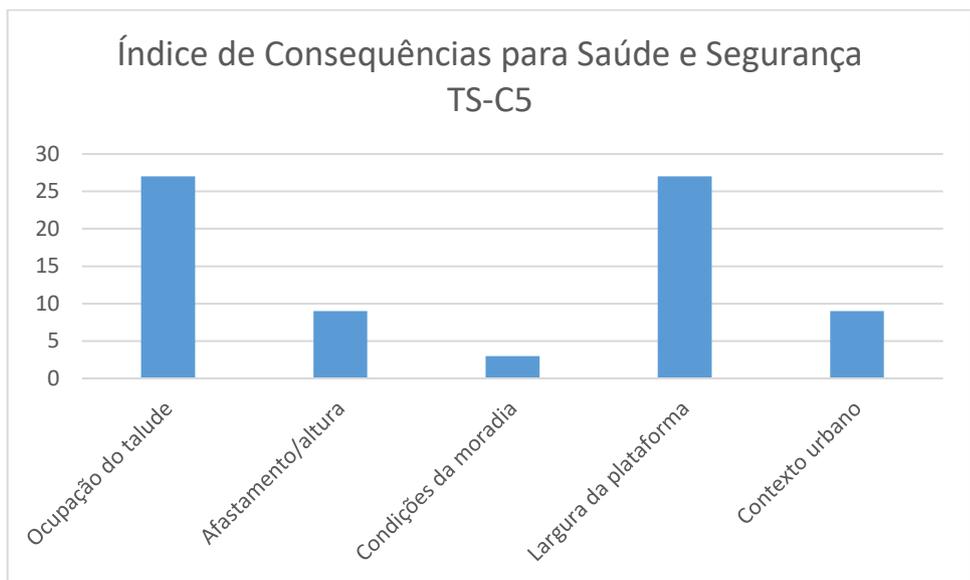


Figura 4.63 Gráfico de índices de consequências quanto à saúde e segurança do talude TS-C5

Em relação às consequências, destaca-se a ocupação do talude em área habitacional e seu posicionamento adjacente à via, pois foi observado poucos detritos em área de passeio, contudo em maioria proveniente de processos erosivos e carreamento de finos em períodos chuvosos.

4.7.5. *Revisão e análise crítica*

A partir dos resultados das análises de risco e conhecimento dos índices de perigo e consequências relevantes para o monitoramento, sugere-se visitas de inspeção ao local antes e após o período chuvoso.

Recomenda-se a análise de risco de taludes rochosos observados na região, com aplicação da metodologia sugerida por BORGES (2017). Foram observados, principalmente na Rua Dr. Corino de Andrade, taludes rochosos com grau de alteração que varia de W2 a W4, e grau de fraturamento também heterogêneo, de descontinuidades afastadas a próximas (F2 a F4). Por vezes, as descontinuidades estavam preenchidas com vegetação e foram observadas surgências de água nos trechos superiores do talude. A Figura 4.64 ilustra um trecho da referida rua, com maciço rochoso alterado e cobertura vegetal, e um recorte de trecho com espaçamentos entre descontinuidades mais próximos. A Figura 4.65 apresenta um trecho da referida rua com talude ao fundo e moradia a frente.



Figura 4.64- Vista do talude rochoso da R. Dr. Corino de Andrade, no lado direito de quem desce em direção à R. Nau Vitória, e um detalhe do grau de fraturamento.

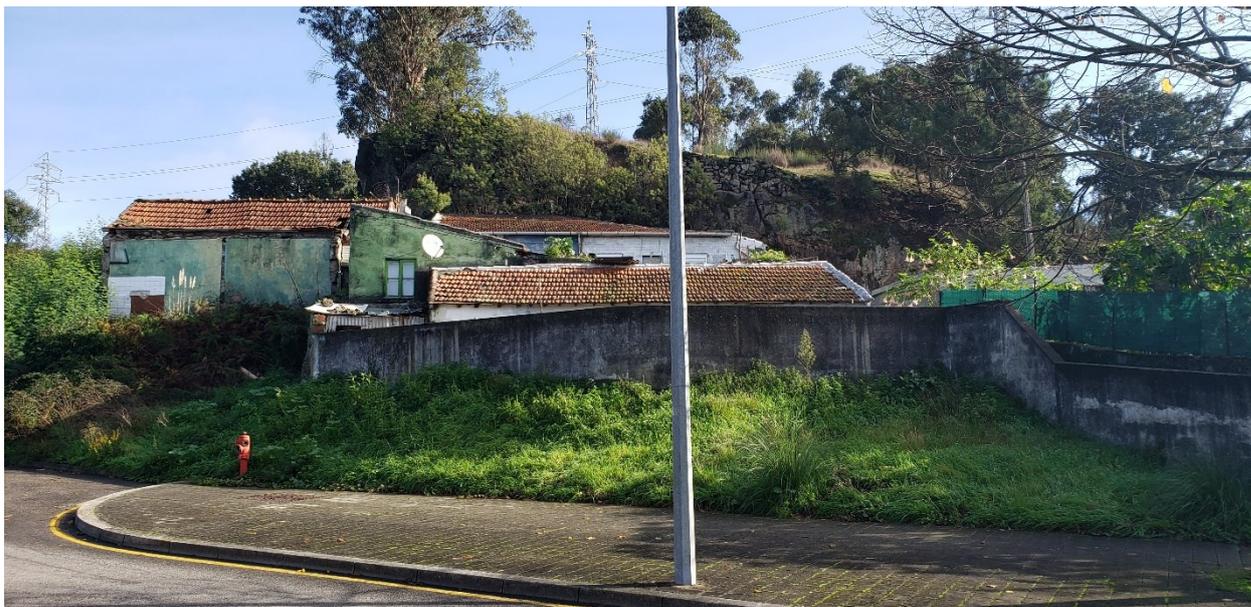


Figura 4.65 - Vista de talude rochoso ao fundo de moradias da R. Dr. Corino de Andrade, no lado esquerdo de quem desce em direção à R. Nau Vitória.

4.8. Talude Praça Pedra Verde, Aldoar (TS-A1)

4.8.1. *Estabelecimento do contexto*

4.8.1.1. Localização

O talude em estudo é denominado nesta pesquisa de TS-A1 (talude de solo, em Aldoar, praça Pedra Verde). Localiza-se na junta de freguesias de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde, na zona ocidental da cidade, ao norte, coordenadas $41^{\circ}10'20.9''N$ $8^{\circ}39'43.4''W$ conforme Figura 4.66. Este talude foi identificado para análise de risco a partir de indicação da Proteção Civil, pois já havia ocorrência registrada para o local.

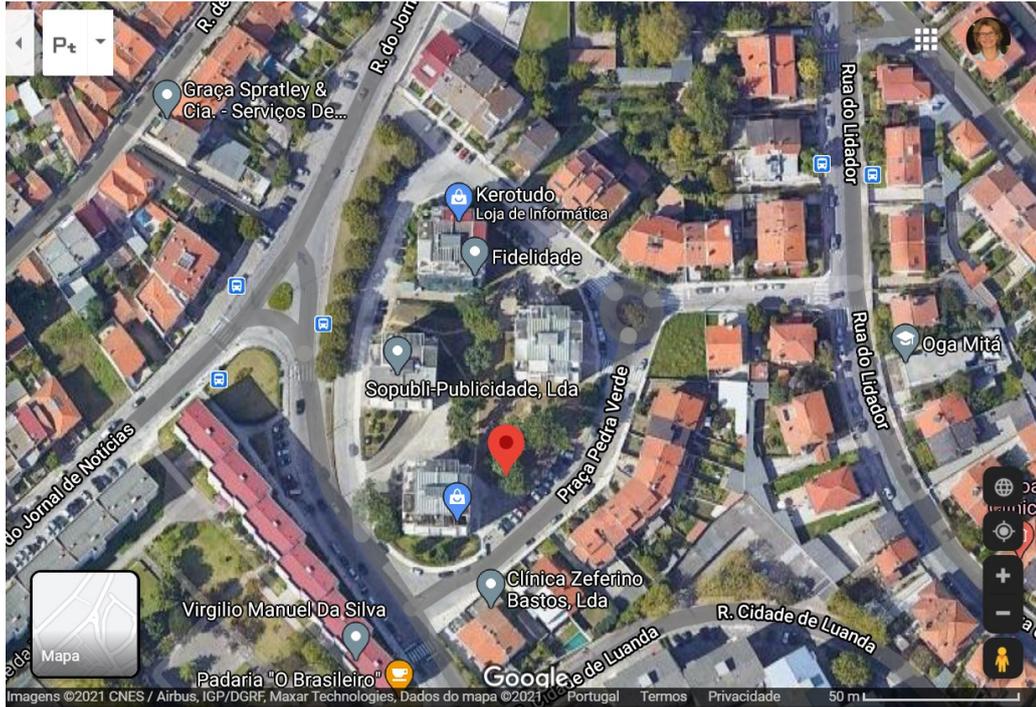


Figura 4.66- Vista da localização do talude TS-A1 na Praça Pedra Verde em Aldoar (Imagem extraída do Google Maps).

4.8.1.2. Enquadramento no Plano Diretor Municipal

Para verificação do enquadramento do talude TS-A1 no PDM, foram analisadas as cartas de riscos naturais, condicionantes gerais, qualificação do solo e património. Não foi identificado nenhum condicionante do contexto urbanístico, e a ocupação do local é habitacional.

4.8.1.3. Caracterização geológico-geotécnica

O talude TS-A1 encontra-se em um local de transição de unidades geotécnicas, as quais pode-se citar a G4-G e G8 – solos residuais graníticos medianamente compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade indiferenciados. No local havia um muro que parcialmente rompeu junto com o solo e fragmentos de rocha. Foram observados *guardrails* para proteção e impedimento de acesso ao local da ruptura, e uma árvore de médio/grande porte na crista e com raízes expostas. Por hipótese, trata-se de um modo de falha de movimento de massa tipo complexo, devido à heterogeneidade do material, podendo ter ocorrido devido ao excesso de poropressão nas proximidades das raízes da árvore, a qual foi impedida de ser dissipada devido à existência de muro. Com o aumento da poropressão no contato solo-fragmentos de rocha-

muro, pode ter ocorrido a desagregação e fluxo do material. A Figura 4.67 apresenta a vista geral do talude com trecho rompido e *guardrails*, bem como uma vista da crista do talude, com a árvore que permanece com raízes expostas na face do talude. Figura 4.68 ilustra a heterogeneidade do material do talude e um detalhe do imbricamento das raízes no solo e e descontinuidades.

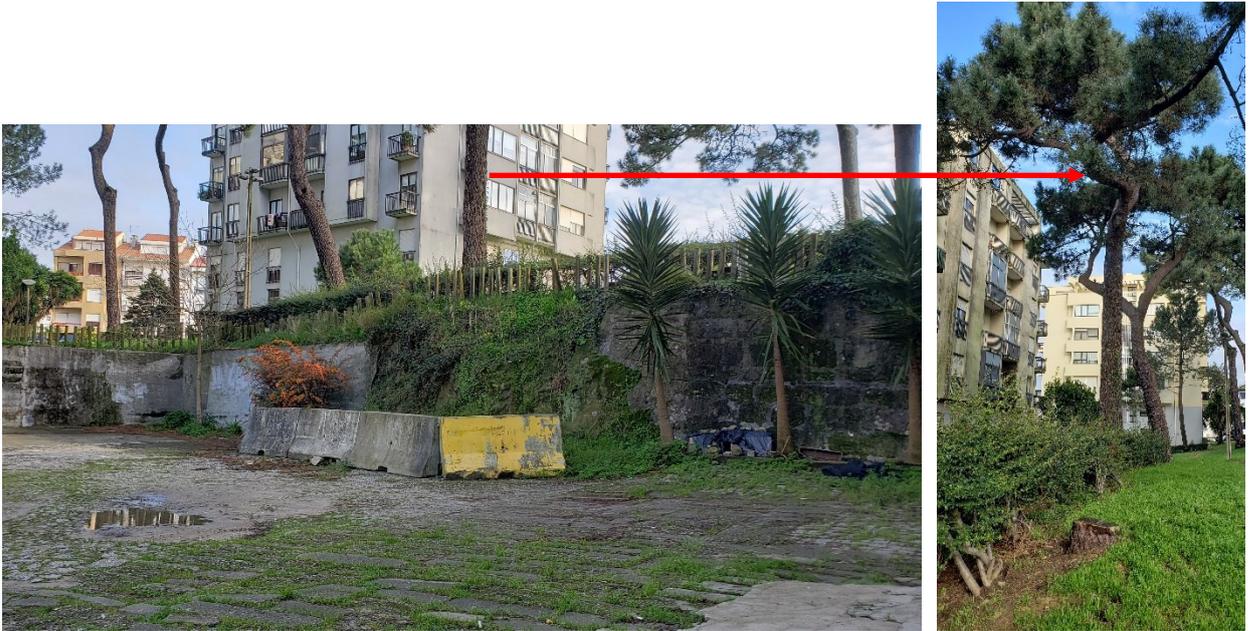


Figura 4.67- Vista geral do talude TS-A1, sendo à direita uma foto da crista, com indicação da árvore no local de ruptura.



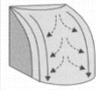
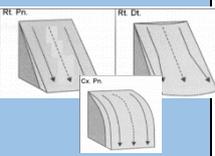
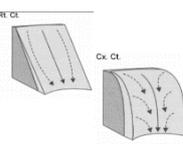
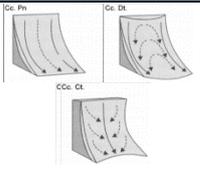
Figura 4.68- Vista da superfície de ruptura com fragmentos de rocha e solo indiferenciados, bem como detalhe das raízes da árvore e vegetação rasteira embricadas no solo e descontinuidades do TS-A1.

4.8.2. *Análise e avaliação dos riscos*

Para o trabalho de campo foi preenchida a ficha de avaliação do talude. A seguir, os resultados da análise de perigo, consequências e risco, conforme medidas e informações obtidas em campo.

4.8.2.1. Análise de perigo do talude TS-A1

Tabela 4.17- Pontuação de perigo – Talude TS-A1

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I_{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (I_{VG})	Existente área $>75\%$ e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente $50\% < \text{área} < 75\%$ e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente $25\% < \text{área} < 50\%$ e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área $< 25\%$. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias (I_{DE})	Sem descontinuidade s visíveis e/ou conhecidas	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante (Considerarei o assoreamento no estreitamento de margens)
	Degrau de abatimento (I_{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I_{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante (considerarei a ravina)
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I_{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 261	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO TALUDE TS-A1

TOTAL DE PONTOS: $4 \times 3 + 5 \times 9 + 1 \times 27 + 1 \times 81 = 165$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA-BAIXA (2)

4.8.2.2. Análise das consequências do talude TS-A1

Tabela 4.18- Pontuação das consequências – Talude TS-A1

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I_{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I_{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se atever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I_{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I_{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I_{CU})	Zonas interditas, e/ou com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:171	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO TALUDE TS-A1

TOTAL DE PONTOS: $2 \times 9 + 2 \times 27 + 1 \times 81 = 153$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: MODERADA (3)

4.8.2.3. Matriz de riscos

Com os resultados de perigo médio-baixo (2) e consequências Moderada (3) para impactos em saúde e segurança da população, o talude TS-A1 apresenta-se na matriz de risco na classe R2 – RISCO MODERADO (cor amarela), conforme Figura 4.69.

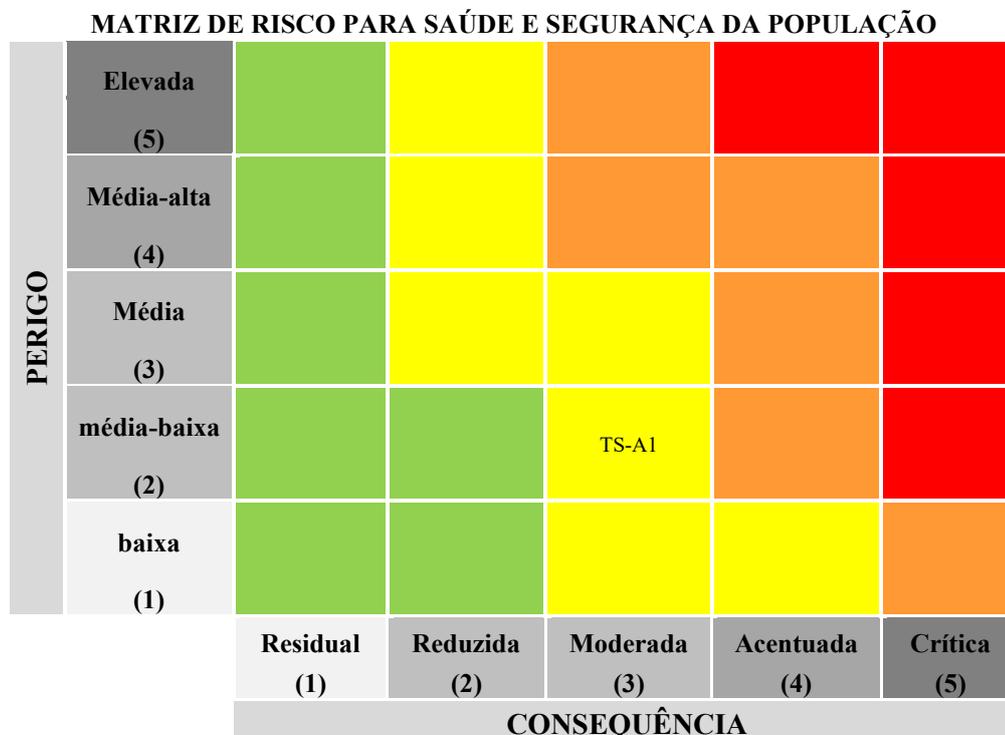


Figura 4.69- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-A1

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter o perigo médio-baixo (2), e diminuir as consequências para residual (1) por não haver impacto no ambiente, ou não ser mensurável. Desta forma o risco é BAIXO R1 (cor verde).

Já para impactos socioeconômicos, manteve-se a classe de perigo média-baixa (2) e consequências moderada (3), pela possibilidade de queda de árvore de um próximo movimento de massa atingir um carro, ou pessoas, com alguma perda financeira, sendo, portanto, o RISCO MODERADO R2 (cor amarela).

4.8.3. Estratégias de Prevenção e Mitigação

A partir das análises de risco sugere-se as seguintes estratégias de prevenção e mitigação:

- CM (Controle Mitigatório): Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos.
- AM (Ação mitigatória): Instruir os moradores para não estacionarem próximo do local, tampouco circular na crista e base.

- AC (Ação corretiva): elaborar projeto de estabilização.

4.8.4. Monitoramento

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento, apresenta-se na Figura 4.70 um gráfico com os índices de perigo de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 4.71 um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos do modo de falha do talude TS-A1 para a saúde e segurança da população.

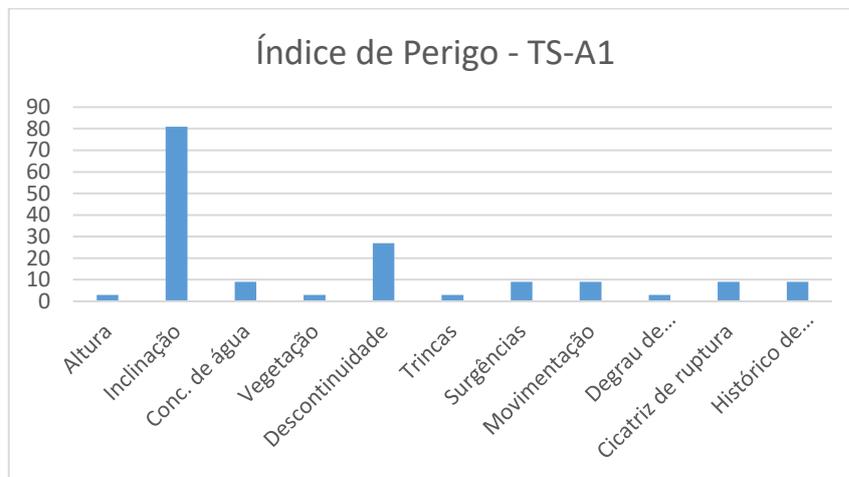


Figura 4.70- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-A1

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicos, a inclinação é o mais significativo, seguido das descontinuidades. Já na categoria de indícios de instabilidade houve uma certa homogeneidade na distribuição de pontos, não sendo tão relevantes para o TS-A1.

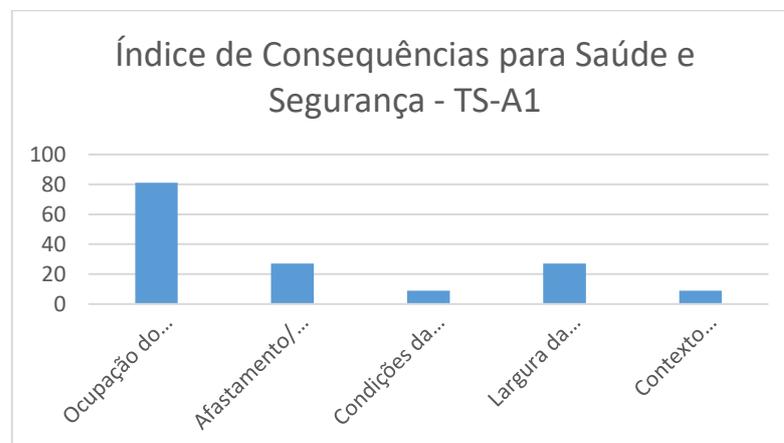


Figura 4.71 Gráfico de índices de consequências quanto à saúde e segurança do talude TS-A1

Em relação às consequências, destaca-se a ocupação do talude em área habitacional e seu posicionamento no estacionamento do conjunto de prédios. Em segundo lugar, o afastamento e largura da plataforma.

4.8.5. *Revisão e análise crítica*

A partir dos resultados das análises de risco e conhecimento dos índices de perigo e consequências relevantes para o monitoramento, sugere-se as ações mitigadoras e corretivas já listadas, e a ação corretiva para o talude verticalizado, com a elaboração de projeto de estabilização, o qual pode ser com a reconstrução do muro de concreto. Recomenda-se que para manter a árvore na crista, deve-se prever a drenagem superficial de crista bem como drenos do tipo barbacãs ao longo do muro, para fins de evitar o acúmulo de água atrás do muro e nas raízes das árvores.

4.9. Talude Rua Henrique Lopes, Foz (TS-F1)

O talude nomeado de TS-F1, está localizado na rua Henrique Lopes de Mendonça, conforme apresentado na Figura 4.72. É uma área de acompanhamento da proteção Civil do Porto, já que houve ocorrência pretérita de escorregamentos planares e em cunha, no solo residual de xisto e no saprolito.

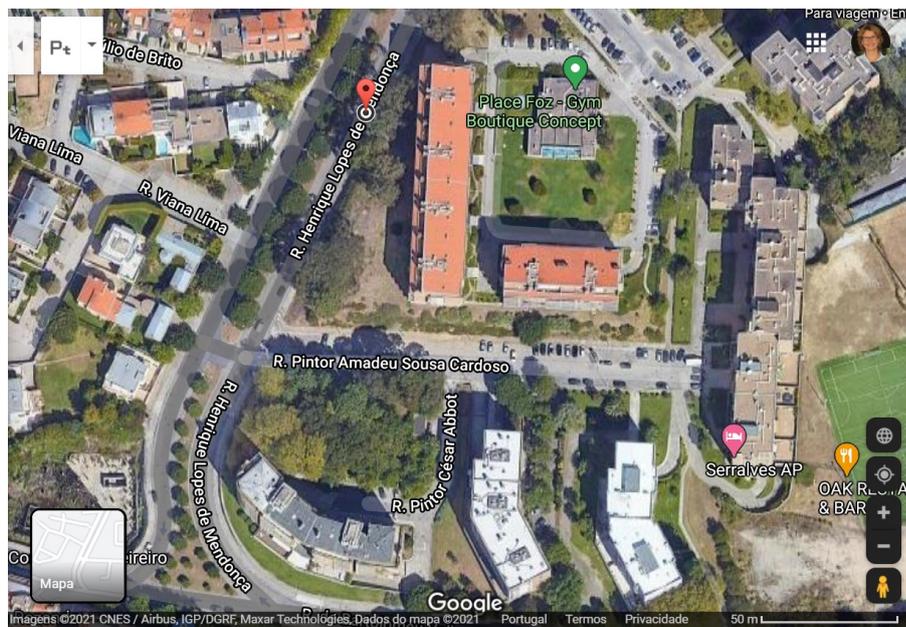
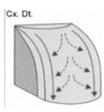
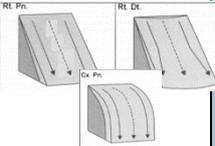
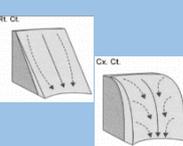
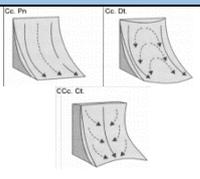


Figura 4.72- Localização do talude TS-F1

4.9.1. Análise de perigo do talude TS-F1

Tabela 4.19- Pontuação de perigo – Talude TS-F1

Perigo	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos	
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I_{AL})	≤5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (I_{VG})	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante (Considerarei o assoreamento no estreitamento de margens)
	Degrau de abatimento (I_{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I_{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I_{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 405	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO TALUDE TS-F1

TOTAL DE PONTOS: $3 \times 3 + 2 \times 9 + 2 \times 27 + 4 \times 81 = 405$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA (3)

4.9.2. Análise das consequências do talude TS-F1

Tabela 4.20- Pontuação das consequências – Talude TS-F1

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I_{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I_{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I_{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I_{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I_{CU})	Zonas interditas, e/ou com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:261	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO TALUDE TS-F1

TOTAL DE PONTOS: $2 \times 9 + 3 \times 81 = 261$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

4.9.3. *Matriz de riscos*

Com os resultados de perigo médio (3) e consequências Acentuada (4) para impactos em saúde e segurança da população, o talude TS-F1 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ELEVADO (cor laranja), conforme Figura 4.73.

MATRIZ DE RISCO PARA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)				TS-F1	
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 4.73- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-F1

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média (3), e diminuir as consequências para residual (1) por não haver impacto no ambiente, ou não ser mensurável. Desta forma o risco é BAIXO R1 (cor verde).

Já para impactos socioeconômicos, manteve-se a classe de perigo média (3) e consequências moderada (3), pela possibilidade de queda de árvore de um próximo movimento de massa atingir um carro, ou pessoas, com alguma perda financeira, sendo, portanto, o RISCO MODERADO R2 (cor amarela).

4.9.4. *Estratégias de Prevenção e Mitigação*

A partir das análises de risco sugere-se as seguintes estratégias de prevenção e mitigação:

- CM (Controle Mitigatório): Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos.
- AC (Ação corretiva): elaborar projeto de estabilização. Gabião pode ser viável, contudo, sugere-se prever e acompanhar os riscos no processo construtivo, pois cortes na base para assentamento do gabião pode desencadear escorregamento.

4.9.5. Monitoramento

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento, apresenta-se na Figura 4.74 um gráfico com os índices de perigo de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 4.75 um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos do modo de falha do talude TS-F1 para a saúde e segurança da população.

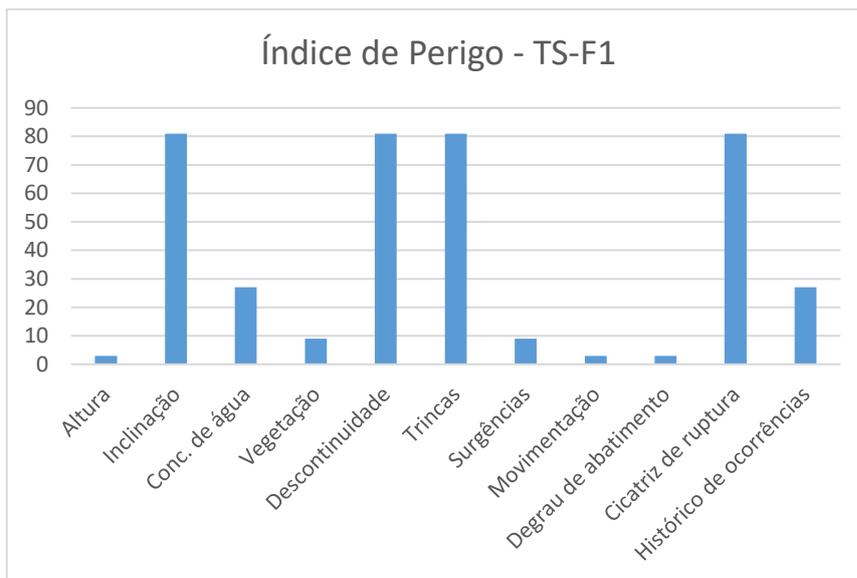


Figura 4.74- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-F1

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicos, a inclinação é o mais significativo, seguido das descontinuidades e trincas nas mesmas. Já na categoria de indícios de instabilidade destaca-se as diversas cicatrizes de ruptura observadas ao longo da extensão do talude, bem como o histórico de ocorrências.

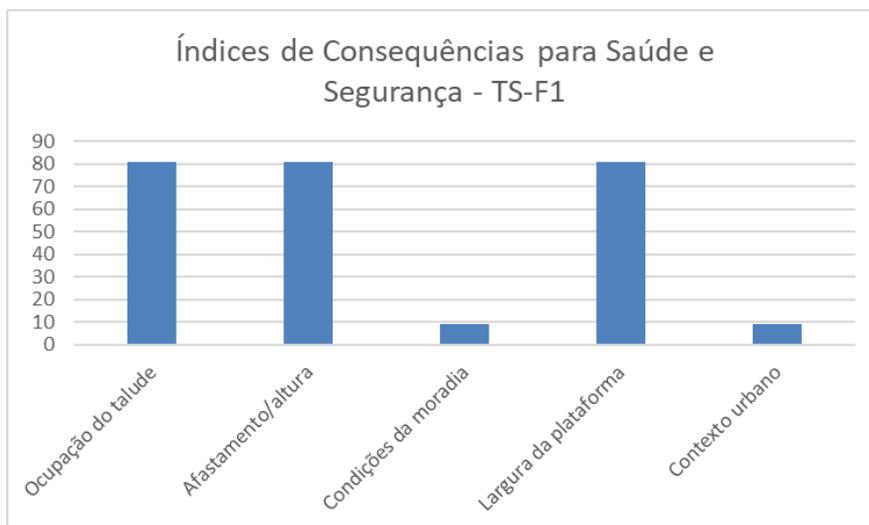


Figura 4.75 Gráfico de índices de consequências para saúde e segurança do talude TS-F1

Em relação às consequências, destaca-se a ocupação do talude em área habitacional e seu posicionamento no estacionamento do conjunto de prédios. Em segundo lugar o afastamento e largura da plataforma.

4.9.6. *Revisão e análise crítica*

A partir dos resultados das análises de risco e conhecimento dos índices de perigo e consequências relevantes para o monitoramento, sugere-se as ações mitigadoras e corretivas já listadas, e a ação corretiva para o talude verticalizado, com a elaboração de projeto de estabilização, o qual pode ser muro em gabião. Recomenda-se controle e acompanhamento da obra para se evitar o aumento dos índices de risco quando da execução da estabilização por cortes na base do talude.

4.10. Talude Rua Amadeu Souza, Foz (TS-F2)

O talude nomeado TS-F2 está localizado na Rua Pintor Amadeu Souza, no mesmo quarteirão que o talude TS-F1, conforme apresentado na Figura 4.76. Da mesma forma que o TS-F1, é uma área de acompanhamento da Proteção Civil do Porto, já que houve ocorrência pretérita de escorregamentos rotacional raso, no solo residual de xisto e metassedimentos.

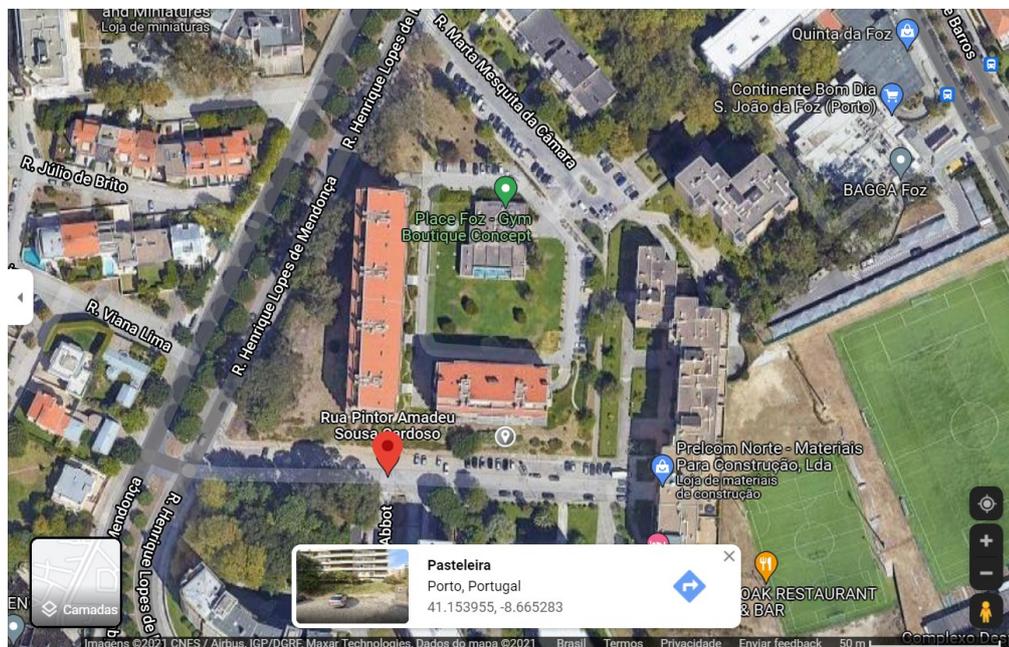
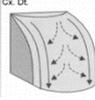
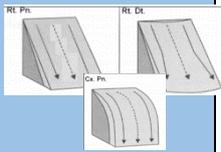
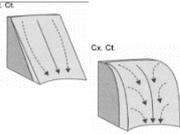
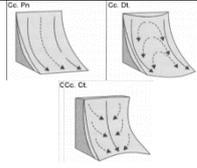


Figura 4.76- Localização do talude TS-F2.

4.10.1. Análise de perigo do talude TS-F2

Tabela 4.21- Pontuação de perigo – Talude TS-F2

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I_{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (I_{VG})	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança	Uma ou mais descontinuidades Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante (Considere o assoreamento no estreitamento de margens)
	Degrau de abatimento (I_{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I_{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I_{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 435	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO TALUDE TS-F2

TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 3 \times 9 + 3 \times 27 + 4 \times 81 = 435$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA-ALTA (4)

4.10.2. Análise das consequências do talude TS-F2

Tabela 4.22- Pontuação das consequências – Talude TS-F2

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I_{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I_{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I_{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I_{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I_{CU})	Zonas interditadas, e/ou com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências: 261	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO TALUDE TS-F2

TOTAL DE PONTOS: $2 \times 9 + 3 \times 81 = 261$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

4.10.3. *Matriz de riscos*

Com os resultados de perigo médio-alto (4) e consequências acentuada (4) para impactos em saúde e segurança da população, o talude TS-F2 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ELEVADO (cor laranja), conforme Figura 4.77.

MATRIZ DE RISCO PARA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)				TS-F2	
	Média (3)					
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 4.77- Matriz de risco para saúde e segurança – Talude TS-F2

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média-alta (4), e diminuir as consequências para residual (1) por não haver impacto no ambiente, ou não ser mensurável. Desta forma o risco é BAIXO R1 (cor verde).

Já para impactos socioeconômicos, manteve-se a classe de perigo média-alta (4) e consequências moderada (4), pela possibilidade de escorregamento circular a partir do degrau de abatimento visualizado em campo, o qual pode afetar a fundação do edifício, ou necessitar obras para evitar impactos no prédio. Portanto com alguma perda financeira, e o RISCO ELEVADO R3 (cor laranja).

4.10.4. *Estratégias de Prevenção e Mitigação*

A partir das análises de risco sugere-se as seguintes estratégias de prevenção e mitigação:

- CM (Controle Mitigatório): Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos.

- AM (Ações Mitigatórias): Tamponar a trinca de tração observada na crista, e evitar o preenchimento da mesma com água, em períodos chuvosos, até a execução da obra.
- AC (Ação corretiva): elaborar projeto de estabilização. Gabião pode ser viável, contudo, sugere-se prever e acompanhar os riscos no processo construtivo, pois cortes na base para assentamento do gabião pode desencadear escorregamento.

4.10.5. *Monitoramento*

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento, apresenta-se na Figura 4.78 um gráfico com os índices de perigo de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 4.79 um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos do modo de falha do talude TS-F2 para a saúde e segurança da população.

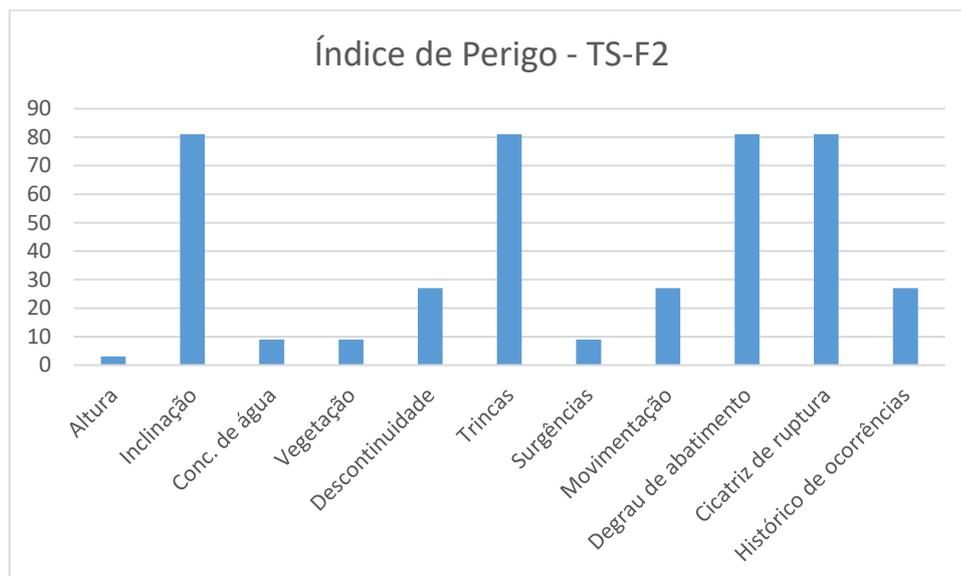


Figura 4.78- Gráfico de índices de perigo para o talude TS-F2

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicos, a inclinação é o mais significativo, seguido das descontinuidades. Já na categoria de indícios de instabilidade destaca-se as trincas visualizadas na crista; degrau de abatimento que apesar de pequena magnitude já se observa o deslocamento vertical na região, e cicatrizes de ruptura.

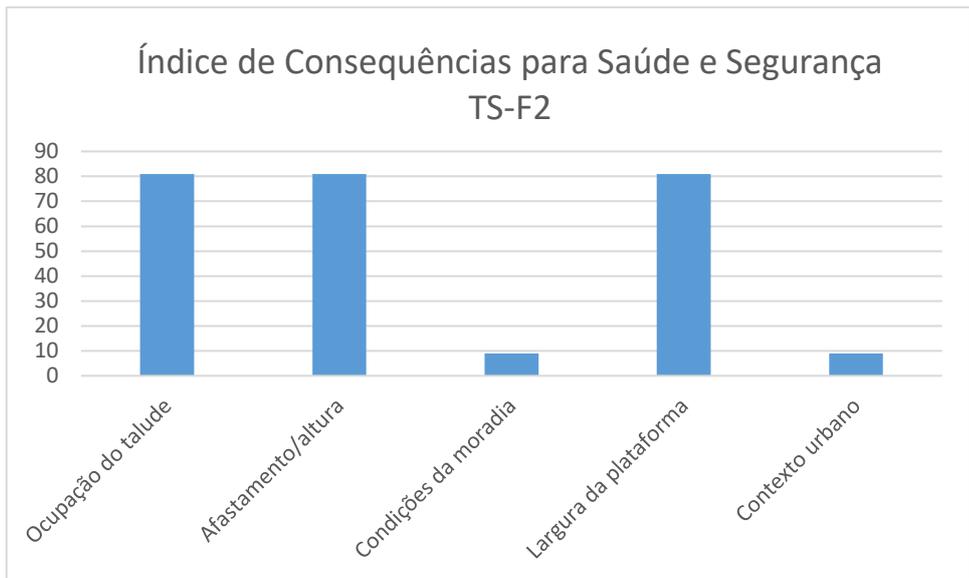


Figura 4.79 Gráfico de índices de consequências quanto à saúde e segurança do talude TS-F1

Em relação às consequências, destaca-se a ocupação do talude em área habitacional e seu posicionamento no estacionamento do conjunto de prédios. Em segundo lugar, o afastamento e largura da plataforma.

4.10.6. Revisão e análise crítica

A partir dos resultados das análises de risco e conhecimento dos índices de perigo e consequências relevantes para o monitoramento, sugere-se as ações mitigadoras e corretivas já listadas, com a elaboração de projeto de estabilização, o qual pode ser muro em gabião ou pedra. Recomenda-se controle e acompanhamento da obra para se evitar o aumento dos índices de risco quando da execução da estabilização por cortes na base do talude.

APÊNDICE B – Contextualização e estudos de caso em Contagem, MG

RESUMO

Neste APÊNDICE B apresenta-se a síntese fisiográfica, geológica e geotécnica do município de Contagem, bem como breve descrição das áreas e análises de risco, que contemplam o preenchimento das fichas de perigo e consequências, além da matriz de risco. Contudo, a síntese dos resultados, gráficos com os índices de risco e conclusões estão apresentados no volume principal da pesquisa. Foram selecionadas 12 áreas localizadas na Regional Vargem das Flores, que tiveram o risco analisado no Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR), entregue em 2017 (CONTAGEM, 2017) e que foram revisitadas pela autora. Também são referências para este apêndice, o Plano Diretor Municipal (CONTAGEM, 2018) e o levantamento de suscetibilidades realizado pelo CPRM (BRASIL, 2012).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1- Organograma da Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Contagem segundo Decreto Nº 459, de 28 de março de 2018.....	346
Figura 2.1- Mapa Geológico de Contagem (CPRM, 2015 < https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14926 >)	347
Figura 2.2- Relevos de Contagem (CPRM, 2015 < https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14926 >)	349
Figura 2.3- Altitudes em Contagem (CPRM, 2015< https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14926 >)	349
Figura 2.4- Índice pluviométrico em Contagem (CPRM, 2015 < https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14926 >)	350
Figura 2.5- Identificação dos riscos para o Setor 1 (CPRM, 2012)	352
Figura 4.1- Macrozoneamento de Contagem (CONTAGEM, 2018b < http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/legislacao/lec002482017_anexos-20180112090505.pdf >)	360
Figura 4.2- Áreas de Espacial Interesse Social (CONTAGEM, 2018b < http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/legislacao/lec002482017_anexos-20180112090505.pdf >)	361
Figura 5.1- Distribuição de tipos de ocorrências de risco na Regional Vargem das Flores.....	362
Figura 5.2- Ocorrência de escorregamento associada a queda de estrutura precária, em Contagem, em 09/03/2018 (https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/chuva-deixa-fam%C3%ADlias-desalojadas-em-contagem-1.604870).....	363
Figura 5.3- Imagem da tela do Georiscos Contagem com áreas de risco da Vila Bastilha (Adaptado de CONTAGEM, 2017)	365
Figura 5.4- Moradia na R. Beira Campo, 26, no pé do talude Beira Campo. (Foto: autora e equipe)	368
Figura 5.5- Moradia por onde a equipe teve acesso à crista do talude Beira Campo. (Foto: autora e equipe)	368
Figura 5.6- Vista da moradia da R. Beira Campo, a partir da crista do talude. (Foto: autora e equipe)	368
Figura 5.7- Muros danificados, e moradias na crista do talude. (Foto: autora e equipe).....	368
Figura 5.8- Vista da crista do talude. (Foto: autora e equipe)	369
Figura 5.9: Vista superior do talude. (Foto: autora e equipe)	369
Figura 5.10- Entulho e lixo presente no talude. (Foto: autora e equipe).....	369
Figura 5.11- Vista superior do talude. (Foto: autora e equipe)	369
Figura 5.12- Vista do pé do talude. (Foto: autora e equipe).....	370
Figura 5.13- Vista do afastamento da edificação ao talude. (Foto: autora e equipe).....	370

Figura 5.14- Fachada imóvel, rua Beira Campo, 295. (Foto: autora e equipe).....	371
Figura 5.15- Fachada imóvel, rua Beira Campo, 285. (Foto: autora e equipe).....	371
Figura 5.16: Vista frontal do talude, tirada do campo. (Foto: autora e equipe).....	372
Figura 5.17: Vista frontal do talude com superfície ocupada. (Foto: autora e equipe).....	372
Figura 5.18: Vista do talude ao lado do vestiário do campo, com cobertura vegetal. (Foto: autora e equipe).....	372
Figura 5.19: Vista do talude em área com maior cobertura vegetal. (Foto: autora e equipe).....	372
Figura 5.20- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A58-S1.....	375
Figura 5.21- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A58-S2.....	378
Figura 5.22- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A58-S3 (S3-R2 DES).....	381
Figura 5.23- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A58-S4.....	384
Figura 5.24- Gráfico de índices de perigo para o setor A58-S1.....	388
Figura 5.25- Gráfico de índices de consequências para o setor A58-S1.....	388
Figura 5.26- Gráfico de índices de perigo para o setor A58-S2.....	389
Figura 5.27- Gráfico de índices de consequências para o setor A58-S2.....	389
Figura 5.28- Gráfico de índices de perigo para o setor A58-S3.....	390
Figura 5.29- Gráfico de índices de consequências para o setor A58-S3.....	391
Figura 5.30- Gráfico de índices de perigo para o setor A58-S4.....	391
Figura 5.31- Gráfico de índices de consequências para o setor A58-S4.....	392
Figura 5.32: Vista da cicatriz de ruptura. (Foto: autora e equipe).....	394
Figura 5.33: Vista da proximidade da moradia na base do talude. (Foto: autora e equipe).....	394
Figura 5.34: Outro ângulo da crista. (Foto: autora e equipe).....	394
Figura 5.35: Residências na base do talude. (Foto: autora e equipe).....	394
Figura 5.36- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A61-S1.....	396
Figura 5.37- Setor A61-S2 (Foto: Leonardo Souza, CONTAGEM, 2017).....	398
Figura 5.38- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A61-S1.....	400
Figura 5.39- Setor A61-S3 (Foto: Leonardo Souza, CONTAGEM, 2017).....	401
Figura 5.40- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A61-S3.....	403
Figura 5.41: Vista da voçoroca para norte. (Foto: autora e equipe).....	404
Figura 5.42: Vista da voçoroca para sul (Foto: autora e equipe).....	404
Figura 5.43: Vista da voçoroca para noroeste. (Foto: autora e equipe).....	404
Figura 5.44: Talude lateral. (Foto: autora e equipe).....	405
Figura 5.45: Corredor lateral da moradia. (Foto: autora e equipe).....	405
Figura 5.46: Vista da moradia da parte posterior da residência. (Foto: autora e equipe).....	405

Figura 5.47- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A63-S1	407
Figura 5.48: Vista das ocupações próximo a encosta. (Foto: autora e equipe).....	408
Figura 5.49: Vista da Voçoroca. (Foto: autora e equipe).....	408
Figura 5.50- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A57-S1	410
Figura 5.51- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A69-S1	413
Figura 5.52: Presença de entulhos constatando remoções de imóveis. (Foto: autora e equipe) .	415
Figura 5.53: Vista de um imóvel vistoriado que possui RO. (Foto: autora e equipe).....	415
Figura 5.54 Vista do Beco Divino Cardoso. (Foto: autora e equipe).....	415
Figura 5.55- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A125-S1	417
Figura 5.56- Talude com vegetação. Figura 5.57-Vista de moradia ao pé do talude.....	419
Figura 5.58- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A125-S2	421

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Resumo do trabalho da CPRM de 2012 quanto à setorização de riscos à movimentos de massa	353
Tabela 3.1- Classificação de riscos segundo o PMRR.....	355
Tabela 3.2- Classificação de risco para a Regional Vargem das Flores conforme PMRR	356
Tabela 5.1- Tabela de setores de risco na Área 58 - Vila Bastilha conforme PMRR.....	364
Tabela 5.2- Roteiro de monitoramento na Área 58 - Vila Bastilha.....	364
Tabela 5.3- Pontuação de perigo – A58-S1.....	373
Quadro 5.4- Pontuação das consequências – A58-S1	374
Tabela 5.5- Pontuação de perigo – A58-S2.....	376
Tabela 5.6- Pontuação das consequências – A58-S2	377
Tabela 5.7- Pontuação de perigo – A58-S3.....	379
Tabela 5.8- Pontuação das consequências – A58-S3	380
Tabela 5.9- Pontuação de perigo – A58-S4.....	382
Tabela 5.10- Pontuação das consequências – A58-S4	383
Tabela 5.11- Propostas de ações estruturantes e não estruturantes a partir da análise dos índices de perigo e consequência	385
Tabela 5.12- Pontuação de perigo A61-S1.....	395
Tabela 5.13- Pontuação das consequências A61-S1	396
Tabela 5.14- Pontuação de perigo A61-S2.....	398
Tabela 5.15- Pontuação das consequências A61-S2	399
Tabela 5.16- Pontuação de perigo A61-S3.....	401
Tabela 5.17- Pontuação das consequências A61-S3	402
Tabela 5.18- Pontuação de perigo A63-S1.....	406
Tabela 5.19- Pontuação das consequências A63-S1	407
Tabela 5.20- Pontuação de perigo A57-S1.....	409
Tabela 5.21- Pontuação das consequências A57-S1	410
Tabela 5.22- Pontuação de perigo A69-S1.....	412
Tabela 5.23- Pontuação das consequências A69-S1	413
Tabela 5.24- Pontuação de perigo A125-S1.....	416
Tabela 5.25- Pontuação das consequências A69-S1	417
Tabela 5.26- Pontuação do perigo A125-S2	420
Tabela 5.27- Pontuação das consequências A125-S2	421

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANPC - Autoridade Nacional de Proteção Civil

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

Cc – Índice de compressibilidade

Cr – Índice de recompressão

CDOT – *Colorado Department of Transportation.*

CLHRS – *Colorado Landslides Hazard Rating System*

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

CMFD - Complexo Metamórfico da Foz do Douro

CXG - Complexo Xisto-Grauváquico

DMPC - Departamento Municipal de Proteção Civil

$e_{inicial}$ – Índice de vazios inicial do solo

FS – Fator

FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*

FMECA - *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*

K_{cc} – Coeficiente de permeabilidade a carga constante

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo digital do Terreno

N_{SPT} – Número de Golpes no ensaio SPT

RHRS – *Rockfall Hazard Rating System*

RQD – *Rock Quality Designation*

ONU - Organização das Nações Unidas

PDM - Plano Diretor Municipal

UOPG – Unidade Operacional de Planejamento e Gestão

URBEL – Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte

USCS - *Unified Soil Classification System*

δ_d – Peso específico aparente seco do solo

δ_{nat} – Peso específico na umidade natural do solo na amostra coletada

δ_s – Peso específico dos sólidos

SUMÁRIO

1. A DEFESA CIVIL DE CONTAGEM.....	344
1.1. A Parceria com a Pesquisa	344
1.2. Legislação Aplicável	344
2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS	346
2.1. Geologia e Pedologia	346
2.2. Relevo e Clima	348
2.3. Movimentos de Massa e Processos Correlatos	350
3. PMRR - PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCOS DE CONTAGEM.....	354
3.1. Documentos que compõem o PMRR	354
3.2. Critérios de classificação de risco pelo PMRR	355
3.3. Áreas de risco e sua classificação segundo PMRR	356
4. PDM - PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE CONTAGEM	358
5. ESTUDOS DE CASO	362
5.1. Monitoramento de ocorrências.....	362
5.2. Área 58 – Vila Bastilha	363
5.2.1. Etapa 1 – Estabelecimento do contexto	363
5.2.2. Etapa 2 – Identificação dos riscos.....	367
5.2.2.1.A58-S1	367
5.2.2.2.A58-S2	368
5.2.2.3.A58-S3	370
5.2.2.4.A58-S4	371
5.2.3. Etapa 3 – Análise e avaliação dos riscos.....	372
5.2.3.1.Análise de perigo do setor A58-S1	372
5.2.3.2.Análise das consequências do setor A58-S1.....	374
5.2.3.3.Matriz de riscos A58-S1	375
5.2.3.4.Análise de perigo do setor A58-S2	376
5.2.3.5.Análise das consequências do setor A58-S2.....	377
5.2.3.6.Matriz de riscos A58-S2	377
5.2.3.7.Análise de perigo do setor A58-S3	378
5.2.3.8.Análise das consequências do setor A58-S3.....	380
5.2.3.9.Matriz de riscos A58-S3	380
5.2.3.10.Análise de perigo do setor A58-S4	381
5.2.3.11.Análise das consequências do setor A58-S4.....	383

5.2.3.12. Matriz de riscos A58-S4	383
5.2.4. Etapa 4 – Estratégias de prevenção e mitigação dos riscos	385
5.2.5. Etapa 5 – Monitoramento.....	387
5.2.5.1. Índices de perigo e consequência para A58-S1	387
5.2.5.2. Índices de perigo e consequência para A58-S2	388
5.2.5.3. Índices de perigo e consequência para A58-S3	390
5.2.5.4. Índices de perigo e consequência para A58-S4	391
5.2.6. Etapa 6 – Revisão e análise crítica.....	392
5.3. Área 61 – Vila Estaleiro I.....	393
5.3.1. A61-S1 – Análise de riscos	393
5.3.2. A61-S2 – Análise de riscos	397
5.3.3. A61-S3 – Análise de riscos	400
5.4. Área 63 – Vila Feliz	404
5.4.1. A63-S1 – Análise de riscos	404
5.5. Área 57 – Vila Barroquinha	408
5.5.1. A57-S1 – Análise de riscos	408
5.6. Área 69 – Vila Soledade.....	411
5.6.1. A69-S1 – Análise de riscos	411
5.7. Área 125 - Beco Divino Cardoso e R. Maria José Chiodi	414
5.7.1. A125-S1 – Análise de riscos	414
5.7.2. A125-S2 – Análise de riscos	418

1. A DEFESA CIVIL DE CONTAGEM

1.1. A Parceria com a Pesquisa

A Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Contagem (COMPDEC) foi contactada pela autora desta pesquisa, na pessoa do Coordenador de Defesa Civil em 2017, Sr. Samuel Martins Lara, para o convite à parceria. O Sr. Coordenador informou que as colaborações com universidades para pesquisa e extensão são bem vindas, e durante o período de 2017 a 2020 disponibilizou informações necessárias e concedeu permissão para a autora acompanhar as vistorias e desenvolver sua pesquisa para desenvolvimento de metodologia de gestão de riscos no âmbito municipal, bem como para elaborar procedimentos operacionais como para a ficha de campo, que otimizassem as tarefas de agentes da Defesa Civil, no âmbito de prevenção, mitigação, análise de riscos e comunicação.

Em paralelo, a autora da pesquisa orientou um grupo de extensionistas da PUC Minas, que tinham o objetivo de acompanhar o atendimento da Defesa Civil nas vistorias de campo, junto com os agentes dessa instituição, e participar de ações como Defesa Civil nas Escolas e treinamento para o PAE – Plano de Atendimento de Emergências.

1.2. Legislação Aplicável

No âmbito federal, a Política Nacional PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012) veio instituir diretrizes para ações estaduais e municipais que contemplem prevenção e mitigação de riscos, preparação, resposta e recuperação após desastres. Dentre deveres e direitos de todos os entes envolvidos no tema, e detalhados nessa norma, destacam-se de forma resumida as obrigações dos municípios cadastrados que possuem riscos geológico-geotécnicos e/ou hidrológicos:

- Elaborar mapeamentos de suscetibilidade a processos geológicos, hidrológicos e correlatos;
- Elaborar Plano de Contingência para atendimento a emergências e desastres;
- Elaborar plano de implantação de obras e serviços para a redução de riscos de desastre;
- Criar mecanismos de controle para evitar edificações em áreas suscetíveis a desastres;

- Elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, com diretrizes urbanísticas voltadas para segurança da população em novas áreas.

Nesta norma também está previsto que o governo federal irá monitorar áreas suscetíveis e publicará, periodicamente, informações sobre a evolução das ocupações, sem prejuízo das ações no âmbito municipal e estadual.

Em relação à normas e leis municipais, a Lei nº 4623, de 15 de outubro de 2013, cria o Conselho Municipal de Proteção e Defesa Civil, e institui o Fundo Municipal de Proteção e Defesa Civil e dá outras providências. Algumas funções desse conselho são apresentadas de forma resumida:

- Planejar ações que resultem na prevenção e melhoria da qualidade de vida dos munícipes, junto com a COMPDEC;
- Viabilizar o monitoramento e reestruturar áreas de risco naturais ou provocados pelo homem, junto com a COMPDEC;
- Propor programas e divulgação de ações de autoproteção e monitoramento às comunidades, inclusive estabelecendo parcerias, visando à criação de projetos e realização de campanhas educativas de interesse da redução de desastre;
- Recomendar eventos que fomentem a conscientização e participação comunitária nos assuntos de proteção e defesa civil;
- avaliar e opinar sobre: a) o Plano Diretor Municipal de Proteção e Defesa Civil, considerando as diretrizes básicas fixadas na respectiva política municipal; b) os Planos de Contingência que visem o monitoramento e redução dos desastres no Município; c) os instrumentos de estímulo ao desenvolvimento das ações de Proteção e Defesa Civil; d) os programas/projetos a serem implantados pelo Poder Executivo relacionados à área de Proteção e Defesa Civil.

Já o Decreto Nº 459, de 28 de março de 2018, “dispõe sobre a estrutura organizacional da Secretaria Municipal de Defesa Social, as competências e atribuições de suas unidades, as definições e normas sobre seu quadro de pessoal e cargos e dá outras providências”. Extraindo desse decreto somente a estrutura da Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Contagem, tem-se o organograma apresentado na Figura 1.1.

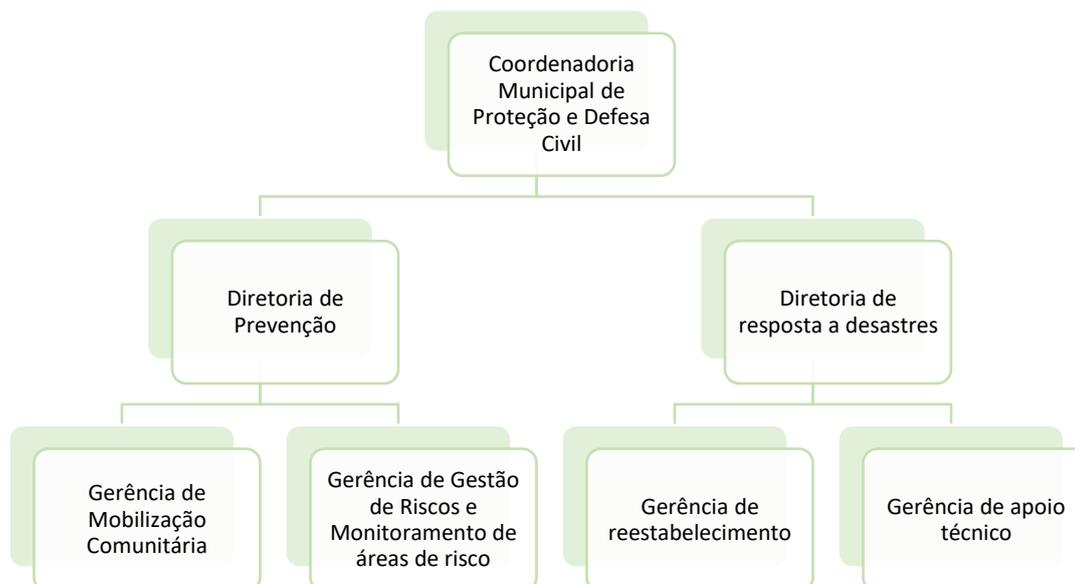


Figura 1.1- Organograma da Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Contagem segundo Decreto Nº 459, de 28 de março de 2018

Observa-se que a gestão e monitoramento de áreas de risco é escopo de uma gerência que está enquadrada na Diretoria de Prevenção. Outra gerência desta diretoria de prevenção, que trabalha em paralelo com a gestão de riscos, é a mobilização comunitária. A interação da autora desta pesquisa se deu com os responsáveis pela Diretoria de Prevenção e Gerência de Gestão e Monitoramento de Riscos.

2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

2.1. Geologia e Pedologia

Segundo SILVA et al (1995), na elaboração da primeira Carta Geotécnica de Belo Horizonte, PARIZZI (2004) e REIS JÚNIOR (2016), a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é caracterizada por uma grande variedade de tipos de rochas e coberturas sedimentares. Seu arcabouço geológico constitui-se de complexos granito-gnáissicos de idades mesoarqueanas (Complexos Belo Horizonte e Caeté), na parte mais plana da região.

O Domínio de Rochas do Complexo Belo Horizonte é predominante em Contagem, ocupando quase a totalidade de sua área. Na Figura 2.1 apresenta-se o mapa geológico de Contagem, com litologia única formada por gnaisses, granodiorito e migmatito.

Para o município de Belo Horizonte este Domínio está caracterizado e constituído por gnaiss tipo bandado (litotipo mais comum), gnaiss milonitizado e gnaiss de granulação grossa.

Segundo PARIZZI (2004), os tipos de ruptura mais comuns são: planar nos horizontes A e B de solo residual, e rupturas circulares maiores que alcançam o horizonte C, caso haja ocorrência de chuvas intensas e este horizonte esteja exposto. Os condicionantes às rupturas são feições erosivas, onde geralmente se iniciam as rupturas. Ações antrópicas, como o desmatamento e cortes, expõem o horizonte C tornando-o mais suscetível a escorregamentos.

Além da referência do CPRM (2015) pode-se citar outras fontes de consulta para informações geológicas, como o IPT (2015), PARIZZI (2010), CONTAGEM (2017).

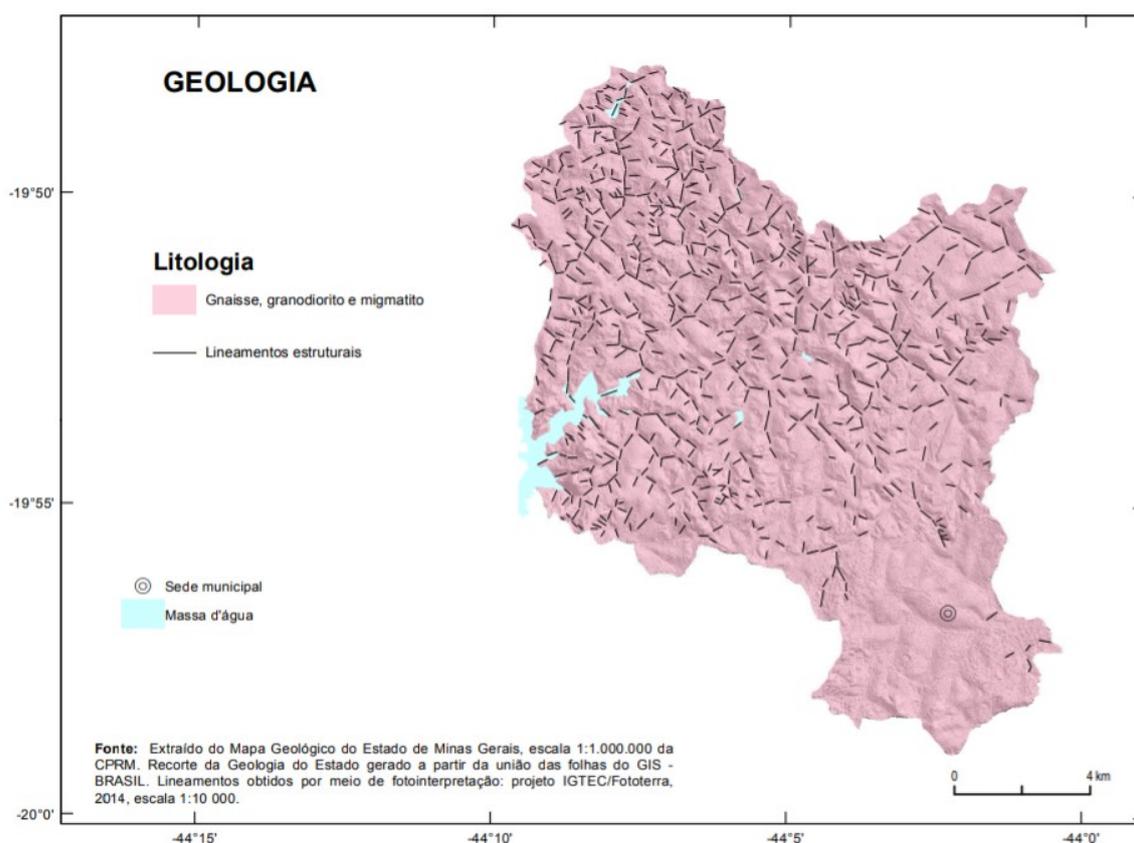


Figura 2.1- Mapa Geológico de Contagem (CPRM, 2015
<<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14926>>)

Em relação à pedologia, o argissolo vermelho-amarelo e o latossolo vermelho-amarelo são os tipos de solo predominantes na unidade geológica dos gnaisses, na região de Contagem. Os argissolos são grupamentos de solos com o horizonte B textural, com atividade dos minerais argílicos ou não. Já os latossolos são grupamentos de solos com horizonte B latossólico bem desenvolvido (EMBRAPA, 2006). Os latossolos apresentam maior desenvolvimento pedogenético, por isso mais profundos e com predominância de areia e argila e presentes em

terrenos planos a ondulados. Podem ter sua fração argila floculada o que aumenta a suscetibilidade a processos erosivos. Os argissolos tem intenso desenvolvimento pedogenético, mas menor que os latossolos. São mais coesos e plásticos, mas ainda suscetíveis a processos erosivos. Ocorrem em terrenos mais acidentados do que áreas de latossolo (SOUZA & LOBATO, 2017). REIS JUNIOR (2016) apresenta o mapa de solos da RMBH, onde o município de Contagem está posicionado em região com predominância de argissolo vermelho-amarelo.

2.2. Relevo e Clima

O relevo do município apresenta região com traços acidentados. A altitude máxima é de 1047 m, no pico do Morro Vermelho, e altitude mínima de 879 m próximo ao Ribeirão Betim. No ponto central da cidade tem-se altitude de 902 m. A área de Contagem está situada na grande unidade de relevo denominada "Depressão Sanfranciscana" (IGA, 1977), recebendo o nome de Depressão Periférica de Belo Horizonte (BARBOSA, 1967), que é um arranjo particular de relevo. A Depressão Periférica de Belo Horizonte é limitada ao sul por um extenso alinhamento de cristas, desde Caeté até Itatiaiuçu. Estas cristas fazem parte do Quadrilátero Ferrífero, que tem como formas de relevo predominante colinas convexo côncavas. O desenvolvimento da Depressão Periférica de Belo Horizonte, que é a área rebaixada entre as cristas, é consequência do trabalho erosivo dos rios, principalmente dos três eixos de drenagem: ribeirão Arrudas e ribeirão do Onça para leste, bacia do rio das Velhas, e ribeirão Betim para oeste, e bacia do rio Paraopeba. Em relação à distribuição das formas de relevo, segundo CONTAGEM (2009), 20% da área do município possui relevo plano, 30% ondulado, e 50% montanhoso. Na Figura 2.2 apresenta-se o mapa de relevo de Contagem segundo CPRM (2015), com predominância de colinas, morros baixos e morrotes. Na região de Vargem das Flores concentram-se os morros altos. Na Figura 2.3 apresenta-se a distribuição das altitudes no município e observam-se altitudes mais elevadas (próximo de 1500 m) concentradas no sul do município, mas não somente nesta área, como também na região de morros altos em Vargem das Flores dentre outras.

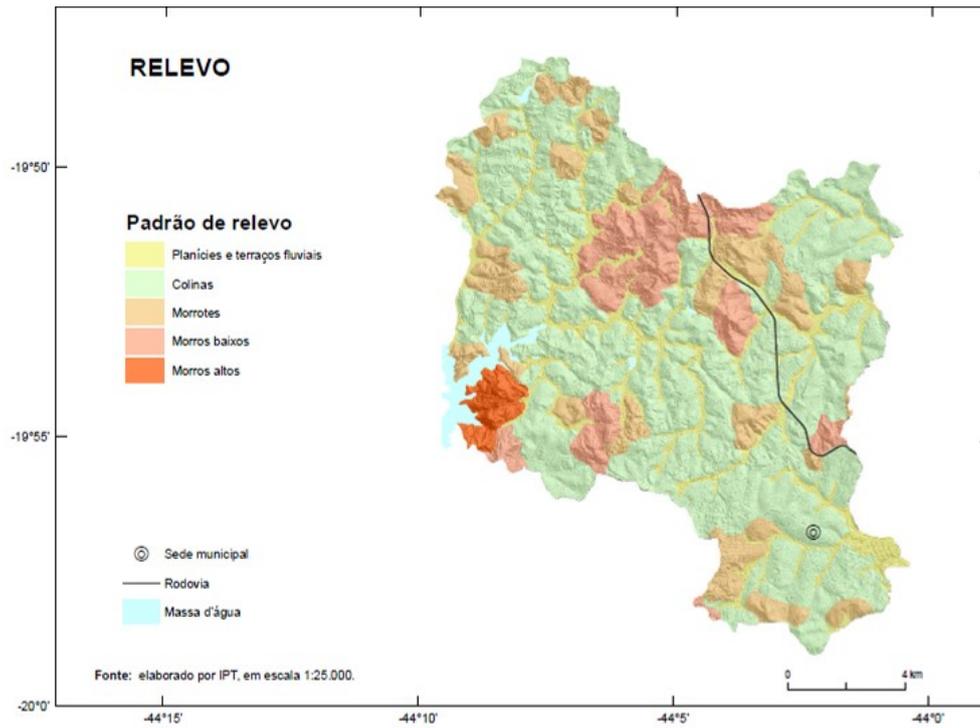


Figura 2.2- Relevo de Contagem (CPRM, 2015
<<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14926>>)

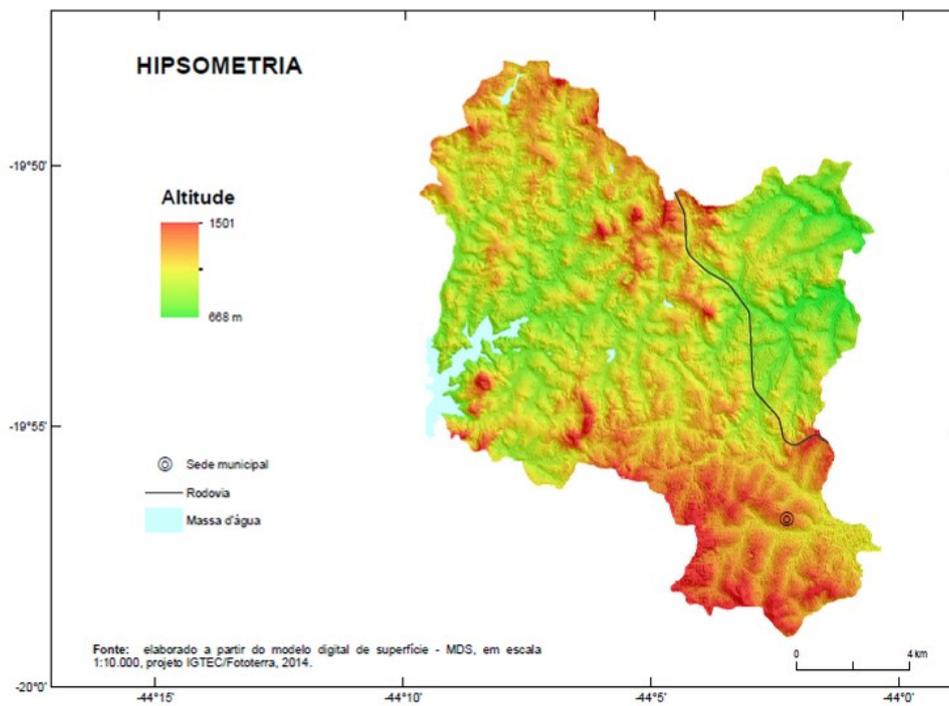


Figura 2.3- Altitudes em Contagem (CPRM,
2015<<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14926>>)

Em relação ao clima, Contagem possui sazonalidade térmica e pluviométrica importante, fato que classifica o regime climático como Clima Tropical de Altitude, com temperatura mínima reduzida no inverno, em torno de 16,7° em julho, época em que mostra a estiagem mais pronunciada. No verão, médias de temperaturas de até 27,1°C podem ser registradas, sendo também período chuvoso. O índice pluviométrico médio é de 1497,3 mm anual. (CONTAGEM, 2009).

Observa-se na Figura 2.4, a altura pluviométrica média mensal, sendo janeiro e dezembro os meses mais chuvosos: 330,5 mm e 327,4 mm respectivamente.

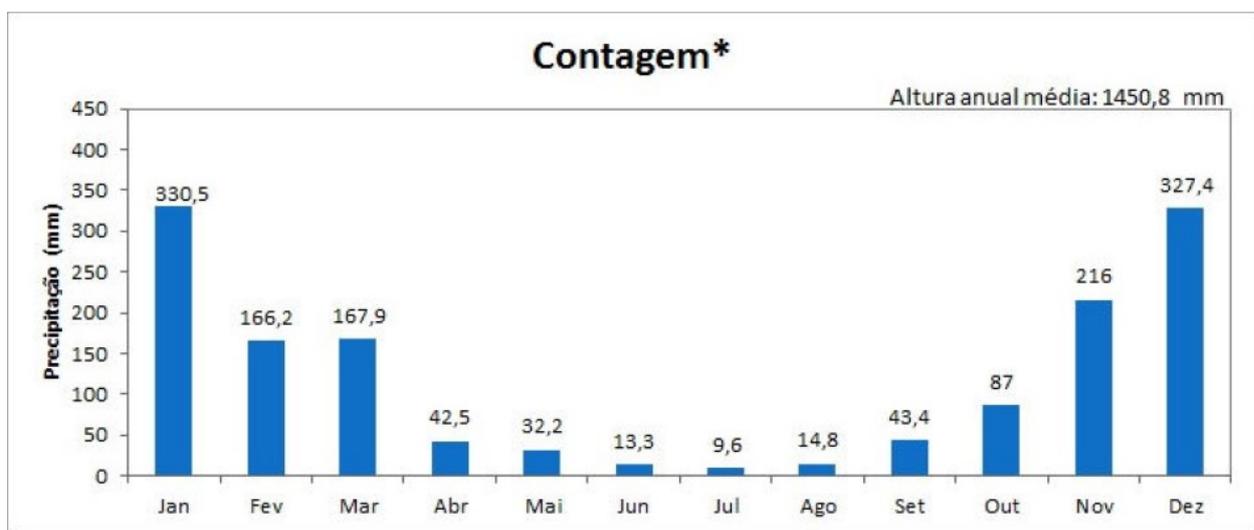


Figura 2.4- Índice pluviométrico em Contagem (CPRM, 2015
 <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14926>>)

2.3. Movimentos de Massa e Processos Correlatos

Estudos geológicos e geotécnicos dos condicionantes e mecanismos de ruptura dos solos locais, avaliação do risco e suscetibilidade e possíveis danos ocasionados pelos acidentes em taludes, possibilitam ao poder público o planejamento de ações preventivas e mitigadoras destes acidentes, bem como a elaboração de planos de contingência.

Em relação aos condicionantes e mecanismos de ruptura de taludes típicos de Belo Horizonte, segundo PARIZZI (2004), os solos residuais de gnaiss predominantes no Complexo Belo Horizonte têm como mecanismo de ruptura escorregamentos planares nos horizontes A e B condicionados pela retirada da vegetação, cortes e erosões, e desencadeados por chuvas moderadas a intensas. Cortes acentuados que expõe o horizonte C, que é predominantemente mais arenoso,

associado às erosões e chuvas intensas podem ocasionar rupturas circulares mais profundas. CPRM (2015) apresenta uma carta de suscetibilidade a movimentos de massa e inundações do município de Contagem, conforme pode-se visualizar no link <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14926>.

Anteriormente a este mapa, o Serviço Geológico do Brasil fez um estudo para setorização dos riscos do município de Contagem e obteve como resultado 28 regiões de risco mapeadas. Cada região foi apresentada em um desenho conforme ilustrado na Figura 2.5. Os 28 arquivos gerados por CPRM foram analisados e apresenta-se na Tabela 2.1 o resumo dos resultados obtidos. Observam-se processos geodinâmicos predominantes do tipo escorregamentos e erosões para a maioria dos casos, e em menor ocorrência, corridas de lama, queda e rolamento de blocos.

As soluções propostas pela equipe da CPRM para a mitigação e ou erradicação dos riscos foram a execução de sistema de drenagem superficial, coleta de águas servidas, execução de contenções em encostas íngremes, fiscalização das áreas para evitar mais ocupações irregulares, coibir a execução de cortes verticalizados, e em casos de risco iminente de ruptura de taludes ou processos correlatos, a remoção das famílias. Ressalta-se que a CPRM fez a indicação do número de moradias em risco, bem como do número de pessoas atingidas no caso do risco se concretizar, porém, fez uma ressalva que este número deve ser levantado de forma exata pela Defesa Civil Municipal. Este trabalho foi um grande passo para o início da gestão de riscos no município baseada em levantamentos detalhados de campo. Em 2017, mais uma importante contribuição foi a entrega do Plano Municipal de Redução de Riscos (CONTAGEM, 2017).



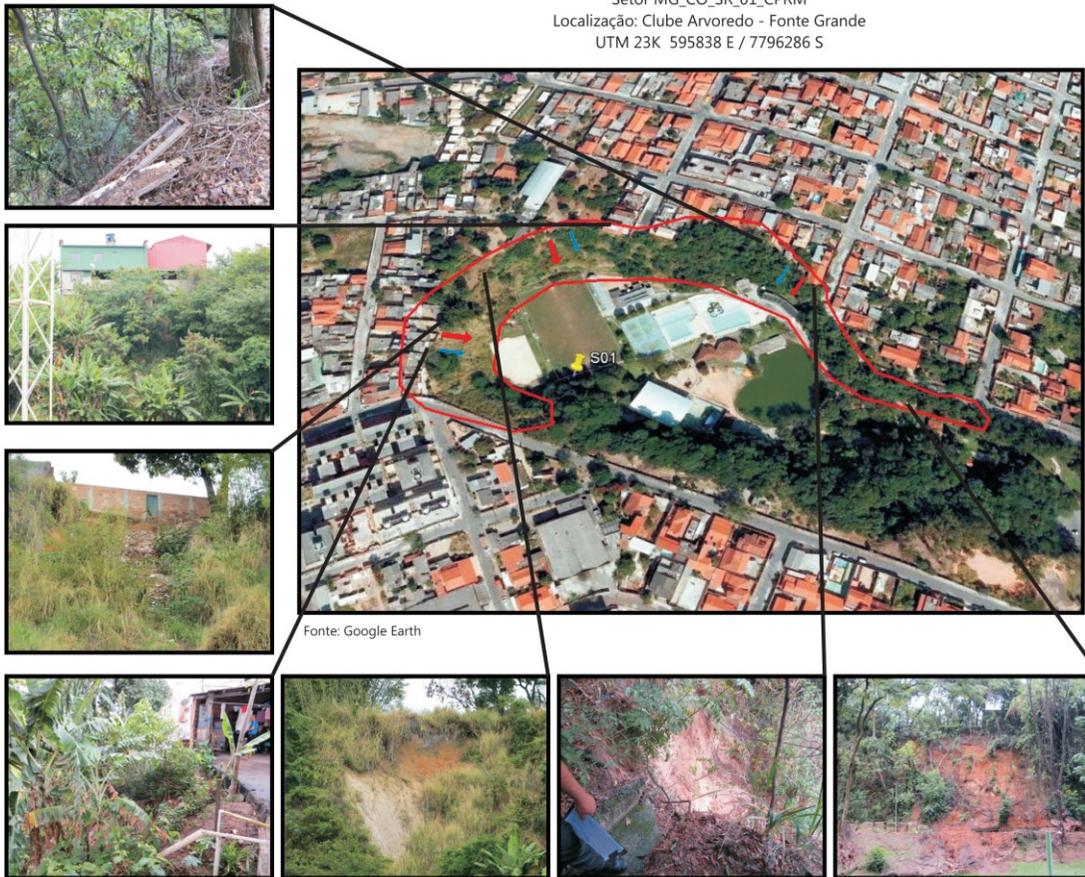
AÇÃO EMERGENCIAL PARA RECONHECIMENTO DE ÁREAS DE ALTO E MUITO ALTO RISCO A MOVIMENTOS DE MASSAS E INUNDAÇÃO



Contagem - Minas Gerais

Nov/2012

Setor MG_CO_SR_01_CPRM
Localização: Clube Arvoredo - Fonte Grande
UTM 23K 595838 E / 7796286 S



Fonte: Google Earth

Descrição: Encostas sujeitas a deslizamentos. Trata-se de encosta de amplitudes em torno de 15mts, com declividade superior a 45 graus, em solo residual siltico-arenoso. É possível observar pequenos deslizamentos ao longo de toda a encosta. Observa-se também ausência de drenagens superficiais e despejos de águas servidas, lixos e entulhos diretamente na encosta. Algumas residências localizadas na crista, principalmente as da rua Coqueiros, apresentam rachaduras e trincas, evidenciando instabilidade na encosta. Apesar de possuir drenagens de montante no flanco esquerda da encosta, a boca de lobo que recebe as águas captadas transborda em períodos de alta pluviosidade, saturando o solo e provocando deslizamentos atrás da academia. Recomenda-se a não utilização da academia em períodos chuvosos até que medidas de contenção e redimensionamento do sistema de drenagens sejam realizadas.

Moradias em risco: Aprox. 06
Pessoas em risco: Aprox. 24

OBS: O Número de moradias é estimado, devendo a Defesa Civil Municipal fazer o levantamento exato do número de moradias dentro da área de risco.

Sugestões de Intervenções

- Drenagens superficiais de montante adequadas
- Coleta das águas servidas e de telhados.
- Revegetar a encosta em alguns pontos
- Obras de contenção (Gabiões).

Legenda

- Delimitação do setor risco
- Sentido das águas pluviais
- Sentido do movimento de massa

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Técnico(a): Ivan Bispo de Oliveira Filho

Figura 2.5- Identificação dos riscos para o Setor 1 (CPRM, 2012)

Tabela 2.1- Resumo do trabalho da CPRM de 2012 quanto à setorização de riscos à movimentação de massa

DOCUMENTO	LOCALIZAÇÃO	COORDENADAS	ROCHA	SOLO	PROCESSOS GEODINÂMICOS	MORADIAS EM RISCO	FAMÍLIAS EM RISCO	SUGESTÕES
MG_CO_SR_01_CPRM	Clube Arvoredo - Fonte Grande	UTM 23K 595838 E / 7796286 S	GNAISSE	SILTE-ARENOSO	Escorregamentos, erosões	6	24	Drenagem, Rede Esgoto e coleta de água de telhados, revegetação, gabião
MG_CO_SR_02_CPRM	Vila Riachinho - Funcionários	UTM 23K 596878 E / 7797127 S	GNAISSE	SILTE-ARENOSO	Escorregamentos, erosões	45	180	Drenagem, coibir cortes verticalizados, coleta águas servidas, contenções
MG_CO_SR_03_CPRM	Jardim Marrocos - Maria da Conceição	UTM 23K 598046 E / 7796636 S	GNAISSE	SILTE-ARENOSO	Escorregamentos, erosões (sulcos em estado avançado)	60	240	Drenagem, coibir cortes verticalizados, coleta águas servidas, contenções, Remoção de famílias
MG_CO_SR_04_CPRM	Vila Perobas	UTM 23K 598151 E / 7797304 S	GNAISSE	SILTE-ARENOSO	Escorregamentos, erosões	45	180	Drenagem, coibir cortes verticalizados, coleta águas servidas, contenções
MG_CO_SR_05_CPRM	Vila Itália	UTM 23K 595206 E / 7796146 S	GNAISSE	SILTE-ARENOSO	Escorregamentos	35	140	Drenagem, coibir cortes verticalizados, coleta águas servidas, contenções, revegetação
MG_CO_SR_06_CPRM	Vila Bandeirantes	UTM 23K 598934 E / 7791680 S	NI	NI	Erosão (Voçoroca), escorregamentos planares, corridas de lama, rolamentos	220	880	Drenagem, contenção, limpeza e remoção
MG_CO_SR_07_CPRM	Rua Teófilo Otoni - Jequitinhonha - Fonte Grande	UTM 23K 595250 E / 7795973 S	NI	SILTE-ARGILOSO	Escorregamentos, erosão no talvegue	25	100	Remoção
MG_CO_SR_08_CPRM	Boa Vista	UTM 23K 598538 E / 7796723 S	GNAISSE	SILTE-ARENOSO	Erosão, escorregamentos	50	100	Drenagem, coibir cortes, contenção, coleta de águas servidas, remoções
MG_CO_SR_09_CPRM	Morada Nova - Rua 14	UTM 23K 600965 E / 7797185 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Erosão, escorregamentos	40	160	Drenagem, coibir cortes, contenção, coleta de águas servidas, limpeza e revegetação
MG_CO_SR_10_CPRM	Morada Nova - Rua 6	UTM 23K 601130 E / 7797352 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	40	160	Desobstrução da calha do talvegue, contenção, remoções, coleta de águas servidas
MG_CO_SR_11_CPRM	Morro dos Cabritos - Rua 2	UTM 23K 601406 E / 7797727 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Erosão, escorregamentos	90	360	Drenagem, contenção, coleta de águas servidas, revegetar, coibir cortes verticalizados.
MG_CO_SR_12_CPRM	Morro dos Cabritos - Rua D	UTM 23K 601267 E / 7797901 S	GNAISSE	ARENOSO	Erosão, escorregamentos	30	120	Drenagem, contenção, revegetação, coibir cortes
MG_CO_SR_13_CPRM	Morro do Cruzeiro - Rua G	UTM 23K 601073 E / 7797896 S	METABÁSICAS	ARGILOSO	Erosão, escorregamentos	30	120	Drenagem, revegetação, coibir cortes
MG_CO_SR_14_CPRM	Arvoredo 2 - Rua 13, 14 e 15	UTM 23K 602355 E / 7802810 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Erosão, escorregamentos	30	120	Coleta de águas servidas, coibir cortes, revegetação
MG_CO_SR_15_CPRM	Sapolândia	UTM 23K 603005 E / 7791592 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	40	160	Drenagem, contenção, Coleta de águas servidas, coibir cortes
MG_CO_SR_16_CPRM	Beira Campos - Nova Contagem	UTM 23K 588714 E / 7807081 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	90	360	Drenagem, contenção, Coleta de águas servidas, coibir cortes, remoções
MG_CO_SR_17_CPRM	Vila Renascer-VP2/Beco Tiradentes	UTM 23K 588631 E / 7806902 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	120	480	Drenagem, contenção, Coleta de águas servidas, coibir cortes, remoções
MG_CO_SR_18_CPRM	Vila Soledade - Nova Contagem	UTM 23K 588425 E / 7807724 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	100	400	Drenagem, contenção, Coleta de águas servidas, coibir cortes, remoções
MG_CO_SR_19_CPRM	Vila Formosa - Nova Contagem	UTM 23K 589442 E / 7807815 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	110	440	Drenagem, contenção, Coleta de águas servidas, coibir cortes, remoções
MG_CO_SR_20_CPRM	Estaleiro 2	UTM 23K 590424 E / 7808449 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	15	60	Drenagem, contenção, Coleta de águas servidas, coibir cortes, remoções
MG_CO_SR_21_CPRM	Estaleiro 1	UTM 23K 589861 E / 7807449 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	70	280	Drenagem, contenção, Coleta de águas servidas, coibir cortes, remoções
MG_CO_SR_22_CPRM	Bairro Tropical	UTM 23K 593257 E / 7796753 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	20	80	Drenagem, coibir cortes, revegetação
MG_CO_SR_23_CPRM	Erro no arquivo							
MG_CO_SR_24_CPRM	Nossa Sra do Carmo/Vila Panamá, Ruas Sto Antônio e Corumbá	UTM 23K 595027 E / 7796803 S	NI	NI	Erosão, escorregamentos	75	300	Drenagem, contenção, coleta de águas servidas, coibir cortes verticalizados, coibir ocupação, remoções.
MG_CO_SR_25_CPRM	Vila Panamá/ Santa Helena	UTM 23K 594860 E / 7797115 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	25	100	Drenagem, coibir cortes, contenção, remoção
MG_CO_SR_26_CPRM	Vila Barroquinha	UTM 23K 595052 E / 7799927 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	60	240	Drenagem, coibir cortes, contenção, remoção, coleta de águas servidas.
MG_CO_SR_27_CPRM	Rua Malacacheta	UTM 23K 601719 E / 7791599 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	10	40	Drenagem, coibir cortes, contenção, coleta de águas servidas e pluviais, revegetar.
MG_CO_SR_28_CPRM	Campo Ipiranga	UTM 23K 596126 E / 7799125 S	GNAISSE	ARGILO-ARENOSO	Escorregamentos	45	180	Drenagem, coibir cortes, contenção, coleta de águas servidas e pluviais, revegetar.

3. PMRR - PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCOS DE CONTAGEM

O município de Contagem recebeu no ano de 2017 o PMRR – Plano Municipal de Redução de Riscos (CONTAGEM, 2017). Esse produto foi financiado pelo Ministério das Cidades em parceria com GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DE ESTADO DE GESTÃO METROPOLITANA - AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA RMBH, e desenvolvido pela Fundação Israel Pinheiro com apoio do município. O PMRR avaliou 126 áreas de risco, classificados com risco de baixo a muito alto. Em paralelo, a Defesa Civil do município manteve o atendimento de chamadas da população em situação de risco ou desastres, ou na iminência desses eventos, bem como o monitoramento das áreas.

3.1. Documentos que compõem o PMRR

O PMRR é composto por seis volumes, conforme citado a seguir:

- **RELATÓRIO 1 - METODOLOGIA:** descreve os métodos e etapas para elaboração de mapeamento de risco; os critérios para concepção de intervenções que contemplam pelo menos todos os setores de risco alto e muito alto; estratégias para alcançar as fontes de recursos e política municipal de gerenciamento de riscos; diretrizes para audiências públicas; atividades técnico-sociais que serão desenvolvidas para elaboração do plano; dentre outros tópicos.
- **RELATÓRIO 2 – MAPEAMENTO:** apresenta os bairros avaliados no PMRR; os critérios de mapeamento de riscos; os resultados do mapeamento por área e setor e ações para a participação comunitária e mobilização. Junto ao relatório, foram entregues os mapas de risco com todas as áreas delimitadas.
- **RELATÓRIO 3 – INTERVENÇÕES:** este documento apresenta a lista de áreas de risco mapeadas, ressaltando aquelas com risco alto e muito alto, e para cada uma, indica uma intervenção estruturante, seguida de orçamento. As obras indicadas são relativas a retaludamento, cortes e aterros, sistema de drenagem, proteção superficial, muros, cortinas atirantadas e solo grampeado.
- **RELATÓRIO 4 – CAPACITAÇÃO** – apresenta a proposta de estratégia de mobilização comunitária, o planejamento e resultados das oficinas com os técnicos municipais e curso

de capacitação ofertado nos dias 5 e 6 de outubro de 2017, no qual a autora da pesquisa participou.

- **RELATÓRIO 5 - AÇÕES NÃO ESTRUTURAIS:** este documento apresenta a caracterização municipal quanto à gestão do risco, possíveis fontes de recursos para os programas, e sugestões de medidas de estruturação institucional, como gestão participativa, sistema de monitoramento pluviométrico, melhorias no atendimento telefônico, atividades socioeducativas, formação de NUPDECs, elaboração de procedimentos e monitoramento constante de riscos.
- **RELATÓRIO 6 - AUDIÊNCIA PÚBLICA:** apresenta o planejamento, forma de divulgação e resultados da audiência pública para validação e entrega do Plano Municipal de Redução de Riscos, que ocorreu em 19 de outubro de 2017.

3.2. Critérios de classificação de risco pelo PMRR

O PMRR adota a classificação de riscos qualitativa, conforme apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Classificação de riscos segundo o PMRR

R1- Risco Baixo a inexistente	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Não se observa(m) evidência(s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, <i>não se espera</i> a ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
R2- Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é <i>reduzida</i> a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R3- Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. Mantidas as condições existentes, é <i>possível</i> a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R4- Muito alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de muito alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo impossível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é <i>muito provável</i> a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

Os critérios qualitativos adotados para o PMRR são similares com o proposto para análise de perigo nesta pesquisa: avaliar condicionantes e agentes potencializadores, indícios de instabilidade e possibilidade de ocorrência. Esse autor também propõe uma ficha de campo, contudo, com descrição qualitativa textual dos parâmetros observados, além de, na própria ficha, indicar soluções.

3.3. Áreas de risco e sua classificação segundo PMRR

Na Tabela 3.2 apresentam-se os resultados da classificação de risco das áreas mapeadas pelo PMRR (CONTAGEM, 2017), especificamente da Regional Vargem das Flores, por serem as analisadas nesta pesquisa. Observam-se nessa tabela linhas sombreadas na cor cinza, para indicar áreas que não tiveram o risco analisado nesta pesquisa por serem margens de córregos, e ou por não apresentarem processos de instabilização.

A consulta dos resultados do PMRR para todas as áreas de risco mapeadas em Contagem pode ser realizada em < <https://israelpinheiro.org.br/2019/06/27/plano-municipal-de-reducao-de-risco-e-plano-diretor-contagem/> >.

Tabela 3.2- Classificação de risco para a Regional Vargem das Flores conforme PMRR

Área	Setor	Processos	Estimativa de domicílios	Grau de risco	Descrição	Indicação de intervenção
58 – Vila Bastilha, carta 58	Baixo a Inexistente	Escorregamentos de solo	139	R1	Taludes verticalizados, mas sem indícios de instabilidade. Moradias com menor vulnerabilidade	Sem indicações
	S1	Escorregamentos de solo	7	R3	Cortes verticalizados, inclinação e altura elevados, desconfinamento da base. Crista e base ocupadas. Entorno urbanizado minimiza escoamento superficial e progressão dos processos	Evitar o lançamentos de água e esgoto, instalar calhas na crista e drenagem adequada água e esgoto; manter proteção superficial, retirando bananeiras; monitoramento, contenção
	S2	Escorregamentos de solo	5	R2	Cortes verticalizados, inclinação e altura elevados, cicatrizes de deslizamento pretéritas. Entorno urbanizado minimiza escoamento superficial e progressão dos processos	Idem S1, com gabião de 11 x 2 m
	S3	Escorregamentos de solo e aterro	2	R2	Cortes verticalizados e estruturas deformadas. Cicatrizes, ruptura parcial de muro.	Contenção (2x) 12 x 2,5 m
	S4	Escorregamentos de solo	4	R3	Cortes verticalizados, inclinação e altura elevados, desconfinamento da base, infraestrutura precária. Cicatrizes, erosão, trincas. Entorno urbanizado minimiza escoamento superficial e progressão dos processos, soma-se vegetação de médio porte e adensamento que protege a encosta.	1 remoção; limpeza e retirada de bananeiras, recomposição da cobertura vegetal, orientação dos moradores para não cortar a base, monitoramento.
59 – Vila Darcy Ribeiro,	S1	Erosão linear, recalque	4	R3	Ocupação recente e desordenada, sem infraestrutura, concentração de escoamento superficial nas vias a	Projeto urbanístico, monitoramento, adequação da infraestrutura.

Área	Setor	Processos	Estimativa de domicílios	Grau de risco	Descrição	Indicação de intervenção
cartas 45 e 46					montante. Erosão acelerada de médio porte, descalçamento de fundações.	
66 – Igreja Quadrangular	S1	Margem de córrego	9	R1	Não foram observados processos de instabilização	A prefeitura já realizou obras de canalização do córrego
68 – Vila Renascer, carta 58	S1	Margem de córrego	194	R1	Não foram observados processos de instabilização	Não indicados
63 – Vila feliz	S1	Escorregamento de solo	6	R3	Construções adjacentes a crista de uma voçoroca ativa. Infraestrutura inexistente. Lançamento de água servida, superficial e de esgotamento sanitário. Indicativos: Trincas no terreno e histórico de movimentos de massa.	- Prolongar lançamento e evitar erosão na crista; - Projeto de estabilização da voçoroca: diques de retenção de sedimentos e reabilitação; - impedir o lançamento de lixo para e contaminação do lençol freático; - Rede água e esgoto; - Impedir o adensamento da ocupação.
90 – Ipê Amarelo/ Via Belém	S1	Não observados	84	R1	Não foram observados processos de instabilização	A prefeitura já realizou urbanização
61 – Vila Estaleiro I	S1	Escorregamento de solo	5	R2	Cortes verticalizados, inclinação e alturas acentuados, desconfinamento da base. Cicatrizes de ruptura.	Monitoramento, contenção, escadaria entre o setor e rua de acesso (40 x 1,5m, orientar moradores para não plantarem bananeiras a meia encosta.
	S2	Escorregamento de solo	1	R3	Corte verticalizado com desconfinamento na base, baixo padrão construtivo, erosões, cicatrizes de deslizamento	- Elaboração de projeto de urbanização para definição do potencial de adensamento da ocupação. - Monitoramento sistemático da área. - Estruturas de contenção. - Adequação da infraestrutura.
	S3	Escorregamento de solo	2	R2	Cortes verticalizados, construções próximas aos taludes sem estruturas de Contenção. Feições erosivas.	- Contenção: 12,0 x 2,7m - Contenção: 10,0 x 2,7m - Retaludamento: 15,0 m3 - Proteção superficial vegetal: 60,0m2 - Orientação aos moradores para que não ocorra o plantio de bananeiras a meia encosta - Não consolidação do local, com inserção de luz, água e esgoto sem estudo prévio de viabilidade da área
60 – Vila Esperança	S1	Não observados	919	R1	Área urbanizada com intervenções executadas pela prefeitura para eliminação do risco.	Não há intervenções recomendadas
66 – Igreja Quadrangular	S1	Margem de córrego	9	R1	Não foram observados processos instabilizadores	Não há intervenções recomendadas
57 – Vila Barroquinha	S1	Escorregamento de solo		R3	Construções entre e sobre os dígitos de uma voçoroca de grande porte. Área de proteção ambiental e sem infraestrutura. Cortes verticalizados com desconfinamento dos taludes. Baixo padrão construtivo. Indicativos: Cicatriz de deslizamento, Sulcos Erosivos. Escoamento superficial de água para moradia no fim do beco. Lixo e esgoto, contaminando lençol freático aflorante.	- Remoção dos domicílios no interior da voçoroca. - Avaliar se o local é ou não área de proteção ambiental em decorrência da existência de nascentes. - Limpeza do talvegue com a remoção do lixo e bananeiras.
65 – Vila Icaivera	S1	Margem de córrego	33	R1	Não foram observados processos instabilizadores	Não há intervenções recomendadas

Área	Setor	Processos	Estimativa de domicílios	Grau de risco	Descrição	Indicação de intervenção
62 – Vila Estaleiro 2	S1	Não observados	251	R1	Área urbanizada com intervenções executadas pela Prefeitura para eliminação do risco geológico e hidrológico.	Não há intervenções recomendadas
69 - Vila Soledade	S1	Escorregamento de solo	4	R3	Cortes verticalizados, Feições erosivas, desconfinamento da base.	- Estruturas de Contenção. - Continuar o monitoramento da área evitando a reconstrução nos trechos onde as famílias já foram removidas
126 – Rua VL 6 com Avenida 2	S1	Margem de córrego	1	R3	Construções nas margens. Erosão de margem, solapamento.	Canalização do córrego
125 - Beco Divino Cardoso	S1	Escorregamento de solo	11	R3	Cortes Verticalizados com alturas superiores a 5,0m. Baixo padrão construtivo. Indicativos: Cicatriz de deslizamento,	Tratamento de toda a encosta: serviço de limpeza / contenção / retaludamento / revegetação e drenagem
125 - Beco Maria José Chiodi	S2 ⁽²⁾	Escorregamento de solo, queda de blocos	1	R1	-	-

Nota (1): linhas sombreadas na cor cinza indicam áreas que não tiveram o risco analisado nesta pesquisa por serem margens de córregos, e ou por não apresentarem processos instáveis.

Nota (2): este setor não está descrito no relatório do PMRR (CONTAGEM, 2017). Contudo, é apresentado nos mapas com risco R1, mas obtido R3 nesta pesquisa.

4. PDM - PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE CONTAGEM

A lei municipal complementar nº 10 de 2012, institui o Plano Diretor do município de Contagem, MG (que já existia em outro formato), e dá outras providências, entre elas, que as intervenções em áreas de risco devem ser priorizadas em conformidade com o PMMR (Plano Municipal de Redução de Riscos), o qual deve ser atualizado a cada 2 anos. O artigo 67 e suas cláusulas, descreve que serão objeto de ação prioritária do Poder Executivo os assentamentos em áreas de risco e devem ser tomadas as seguintes medidas: monitoração permanente das condições destes assentamentos; reassentamento de famílias em risco iminente; adoção de medidas mitigadoras nas áreas propensas a risco geológico como controle de ocupação, contenções, estabilizações quando necessárias e viáveis; orientação periódica das famílias envolvidas em áreas de risco. No parágrafo único tem-se: “O Poder Executivo deverá elaborar um inventário das áreas de risco, que permita identificar a natureza e intensidade do risco em cada área, além de efetuar estudos geológicos e hidrológicos, visando apontar as medidas corretivas e preventivas a serem adotadas para as diversas situações.” Cita em especial áreas carentes como Retiro e Nova Contagem.

Na Figura 4.1 apresenta-se o mapa de macrozoneamento de Contagem, e na Figura 4.2 especificamente o mapa das áreas de interesse social 1 (AIS-1), que são as áreas públicas ou

particulares ocupadas por assentamentos precários de interesse social nos quais haja interesse público em promover a regularização urbanística e fundiária. Pode-se incluir novas áreas de interesse social (AIS-1) por meio de lei de iniciativa do Poder Legislativo ou Executivo. Houve uma revisão destas áreas de interesse social e do Macrozoneamento de Contagem em 2018.

A análise comparativa da Figura 4.1 e Figura 4.2 permite observar que existem muitas vilas e favelas em áreas previstas como expansão urbana. Ainda, a regional Vargem das Flores possui extensa área verde, inclusive em área da APA Vargem das Flores, que foi indicada na revisão atual do macrozoneamento municipal como de expansão urbana.

ANEXO 1: MAPA DE MACROZONEAMENTO
(LEI COMPLEMENTAR Nº 248, DE 11 DE JANEIRO DE 2018)

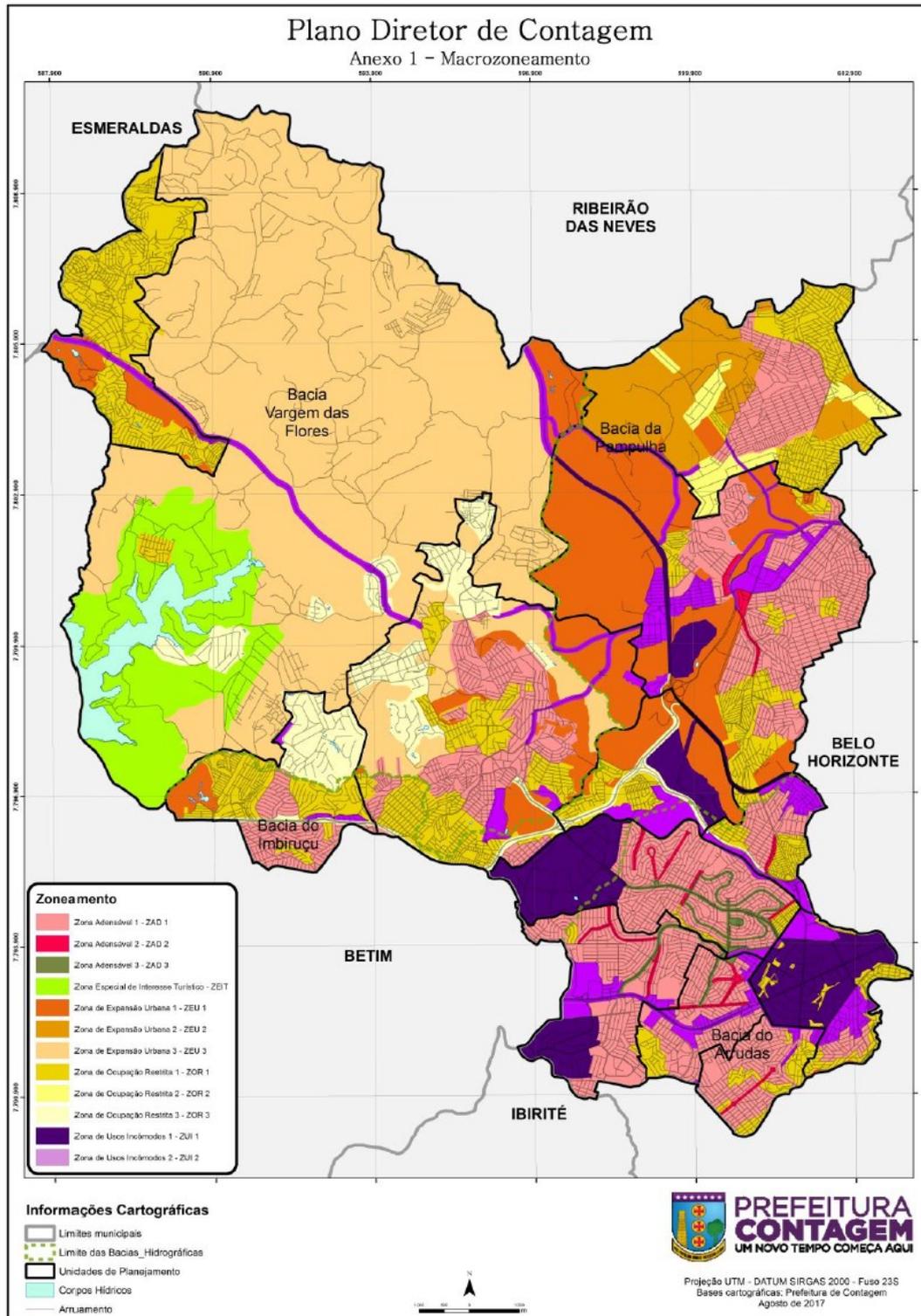


Figura 4.1- Macrozoneamento de Contagem (CONTAGEM, 2018b
 <http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/legislacao/lec002482017_anexos-20180112090505.pdf>

ANEXO 7A: ÁREAS DE ESPECIAL INTERESSE SOCIAL 1 (AIS-1)
(LEI COMPLEMENTAR Nº 248, DE 11 DE JANEIRO DE 2018)

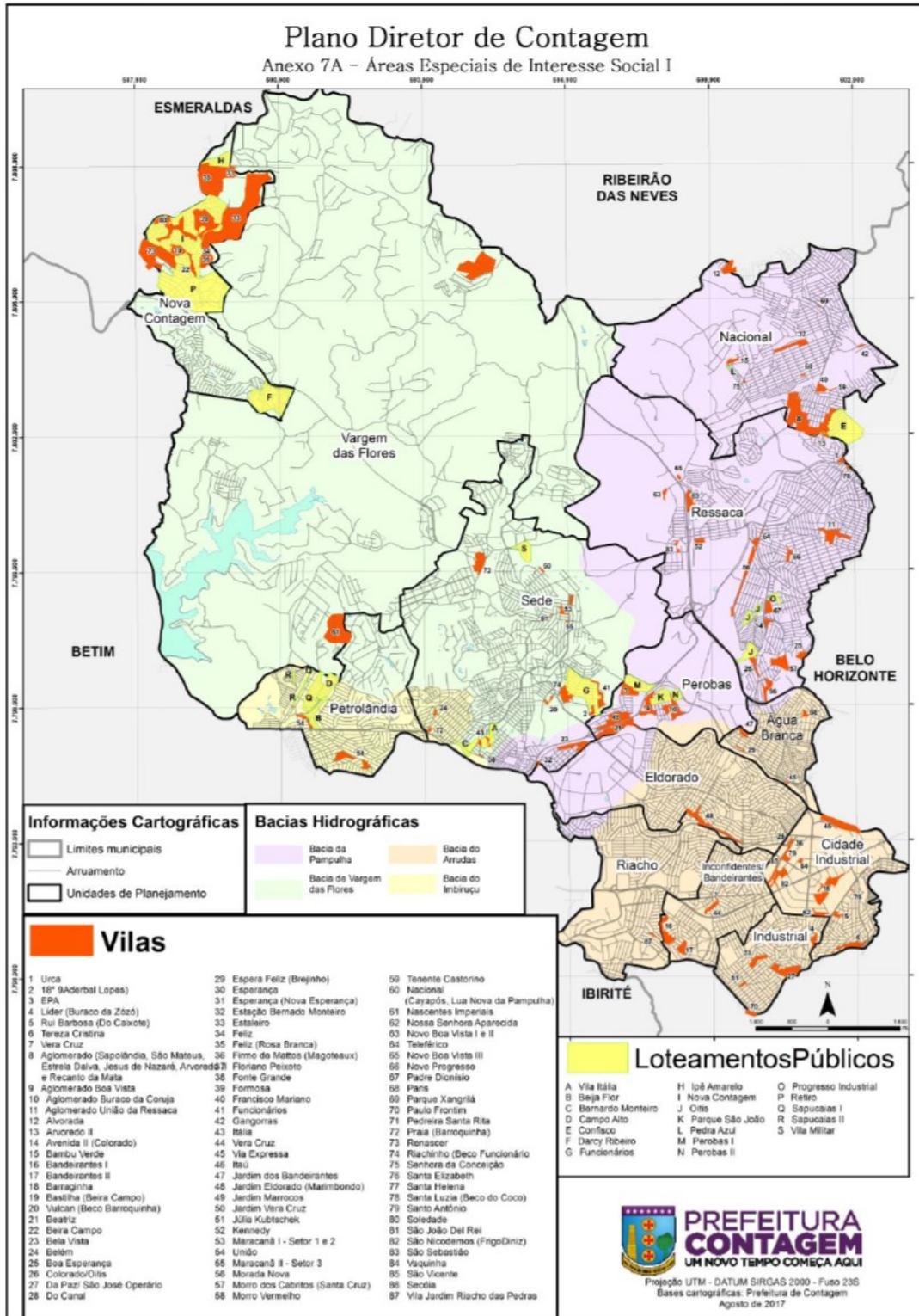


Figura 4.2- Áreas de Especial Interesse Social (CONTAGEM, 2018b
 <http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/legislacao/lec002482017_anexos-20180112090505.pdf>)

5. ESTUDOS DE CASO

5.1. Monitoramento de ocorrências

Em 2017 foram abertas 1178 ROs em Contagem (sendo ROs- relatórios de ocorrências). Desse total, 117 na Regional Vargem das Flores, especificamente em 15 diferentes áreas de risco. Muitas ocorrências foram associadas a riscos construtivos, totalizando 58% das ROs. Mas o índice de escorregamentos prevalece representativo, conforme apresentado na Figura 5.1, com 10% do total de ocorrências da Regional Vargem das Flores no ano de 2017.

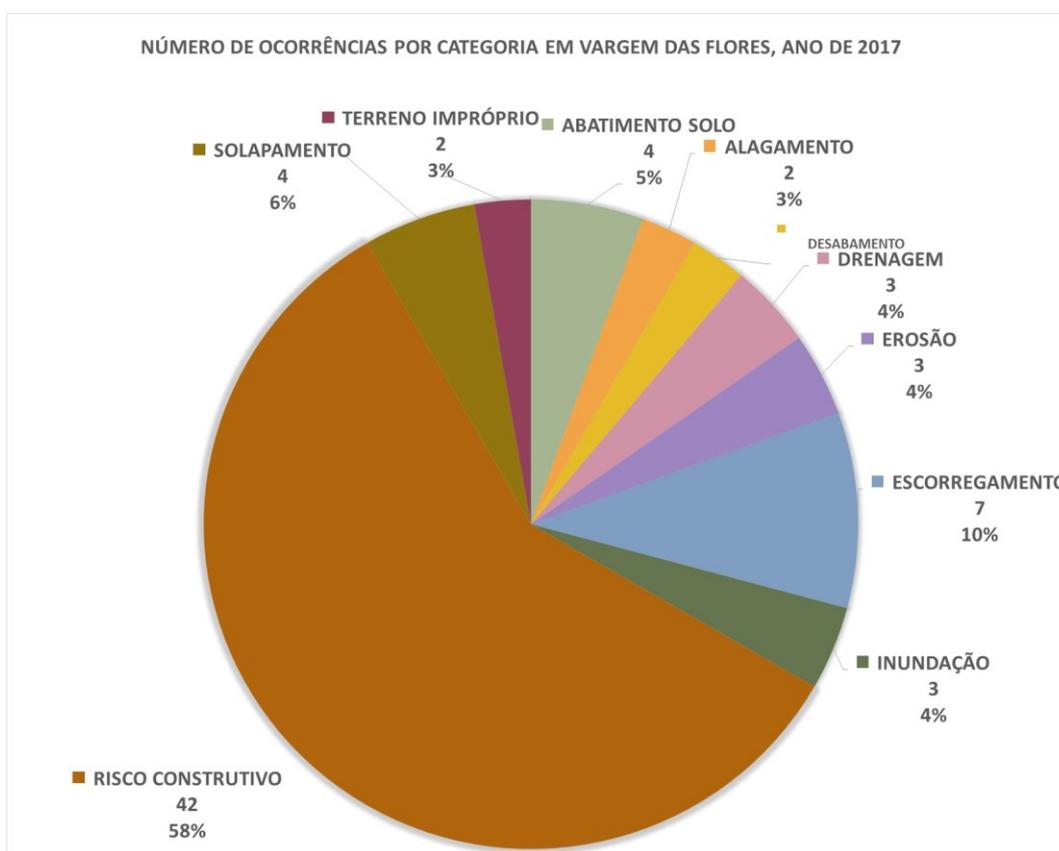


Figura 5.1- Distribuição de tipos de ocorrências de risco na Regional Vargem das Flores

Em 2018, o percentual de escorregamentos permaneceu alto, e em número representativo associado a problemas construtivos como quedas de muros, cortes verticalizados e inadequados e construções em cristas de taludes instáveis. A Figura 5.2 apresenta uma ocorrência em 2018, de queda de muro e escorregamento de solo desencadeados por elevados índices pluviométricos e problemas de drenagem superficial, bem como prováveis percolações subsuperficiais associadas a redes não formais de água e esgoto.



Figura 5.2- Ocorrência de escorregamento associada a queda de estrutura precária, em Contagem, em 09/03/2018 (<https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/chuva-deixa-fam%C3%ADlias-desalojadas-em-contagem-1.604870>).

5.2. Área 58 – Vila Bastilha

5.2.1. Etapa 1 – Estabelecimento do contexto

Conforme o Plano diretor de Contagem (LEI COMPLEMENTAR No 248, DE 11 DE JANEIRO DE 2018), a área 58 está em ZOR 1 (Zona de Ocupação Restrita 1) e AIS 1 (Área de Interesse Social 1), portanto, conforme a lei citada, são consideradas áreas públicas ou particulares, ocupadas predominantemente por população de baixa renda, configurando assentamentos habitacionais caracterizados pela precariedade das condições urbanísticas e de habitabilidade, nos quais haja interesse público em promover a regularização fundiária e a melhoria das condições urbanísticas e de moradia, incluindo as vilas e os conjuntos habitacionais de interesse social implantados pelo poder público.

De acordo com o PMRR (CONTAGEM, 2017) a Vila Bastilha possui 5 setores com os diferentes graus de risco a saber: baixo ou inexistente (R1); médio (R2); alto (R3) e muito alto (R4), conforme apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1- Tabela de setores de risco na Área 58 - Vila Bastilha conforme PMRR.

Área	Carta do PMRR	Grau de risco	Nº de domicílios
58 – Vila Bastilha	58	Baixo a Inexistente	139
		S1-R3 DES	7
		S2-R2 DES	5
		S3-R2 DES	4
		S4-R3 DES	2

Nota: O código por exemplo S1-R3 DES representa setor 1 (S1), grau de risco 3 (R3), quanto à deslizamentos de terra (DES).

A partir desse contexto foi planejado o roteiro de monitoramento na Vila da Bastilha, conforme apresentado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2- Roteiro de monitoramento na Área 58 - Vila Bastilha.

ROTEIRO ÁREA 58 – VILA DA BASTILHA	
Regional: Vargem das Flores Área ou Taludes: Área 58, Vila da Bastilha.	Data do último monitoramento: PMRR (CONTAGEM, 2017) Data do presente monitoramento: 18/06/2018 Equipe: Luciene Menezes, Vagner (Defesa Civil), Marina e Arthur (extensionistas).
DESCRIÇÃO DO ÚLTIMO MONITORAMENTO (PMRR) e/ ou CONHECIMENTOS PRÉVIOS	
Setor S1-R3 DES: Condicionantes, fatores predisponentes e deflagradores: Cortes verticalizados, inclinação e amplitude elevados da encosta, desconfinamento da base. Indicativos: Cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, trincas no terreno. Descrição do Processo de Instabilização: Deslizamento de solo. Observações: Ocupação da crista e da base da encosta. A área no entorno da Vila é urbanizada minimizando a contribuição e o direcionamento do escoamento superficial, bem como a progressão dos processos geodinâmicos. Grau de Probabilidade: Alto (R3) Estimativa de nº de edificações no setor: 7 Indicação de intervenção: <ul style="list-style-type: none"> - Evitar o lançamento de água e esgoto diretamente na encosta através da inserção de calhas nos domicílios instalados na crista do talude e canalização adequada do esgotamento sanitário e lançamento de água servida. - Manter a proteção superficial vegetal existente na encosta com exceção das bananeiras - Monitoramento do local - Estruturas de contenção. 	
Setor S2-R2 DES: Condicionantes: Cortes verticalizados na base, inclinação e amplitude elevados da encosta. Indicativos: Cicatrizes de deslizamento pretéritas. Descrição do Processo de Instabilização: Deslizamento de solo. Observações: Ocupação da crista e da base da encosta. A área no entorno da Vila é urbanizada minimizando a contribuição e o direcionamento do escoamento superficial, bem como a progressão dos processos geodinâmicos. Grau de Probabilidade: Médio (R2) Estimativa de nº de edificações no setor: 5 Indicação de intervenção: <ul style="list-style-type: none"> - Evitar o lançamento de água e esgoto diretamente na encosta através da inserção de calhas nos domicílios instalados na crista do talude e canalização adequada do esgotamento sanitário e lançamento de água servida. - Serviço de limpeza com a remoção das bananeiras - Contenção em gabião: 11,0 x 2,0m - Monitoramento do local. 	

Setor S3-R2 DES:**Condicionantes:** Cortes verticalizados, estruturas deformadas.**Indicativos:** Cicatrizes de deslizamento, ruptura parcial de muro.**Descrição do Processo de Instabilização:** Deslizamento de solo e aterro.**Observações:** Ocupação da base da encosta. A área no entorno da Vila é urbanizada minimizando a contribuição e o direcionamento do escoamento superficial, bem como a progressão dos processos geodinâmicos.**Grau de Probabilidade:** Médio (R2)**Indicação de intervenção:** Contenções: (2x) 12,0 x 2,5m**Estimativa de nº de edificações no setor:** 2**Setor S4-R3 DES:****Condicionantes:** Cortes verticalizados, inclinação e amplitude elevados da encosta.

Desconfinamento da base. Infraestrutura precária.

Indicativos: Cicatrizes de deslizamento, feições Erosivas, trincas no terreno.**Descrição do Processo de Instabilização:** Deslizamento de solo.**Observações:** Ocupação da crista e da base da encosta. A área no entorno da Vila é urbanizada minimizando a contribuição e o direcionamento do escoamento superficial, bem como a progressão dos processos geodinâmicos. Soma-se a isto a vegetação de porte médio e adensamento da mesma, protegendo a encosta.**Grau de Probabilidade:** Alto (R3)**Indicação de intervenção:**

- Remoção do domicílio.
- Serviço de limpeza: remoção das bananeiras.
- Recomposição da cobertura vegetal.
- Orientação aos moradores quanto à não execução de cortes na encosta evitando assim o desconfinamento do talude.
- Monitoramento do local.

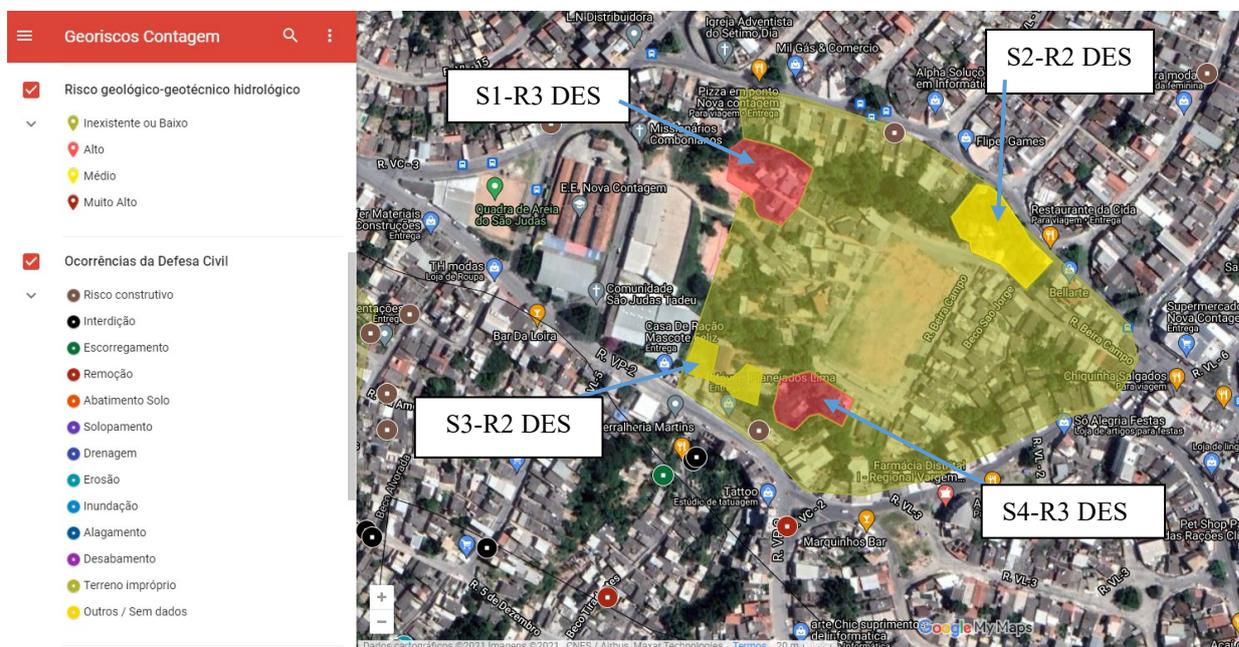
DETALHAMENTO DO ROTEIRO

Figura 5.3- Imagem da tela do Georiscos Contagem com áreas de risco da Vila Bastilha (Adaptado de CONTAGEM, 2017)

1. Tempo de preparação na base da Defesa Civil, na Rua Vereador David De Oliveira Da Costa, Contagem.	10	Minutos
2. Deslocamento da Defesa Civil até a R. Beira Campo, Nova Contagem.	28	Minutos
3. Tempo de ronda para reconhecimento do local, de carro.	10	Minutos
4. Tempo de monitoramento das moradias e setores. Estacionar na R. Beira Campo e caminhar até o S3-R2 DES e S4-R3 DES. Voltar para o carro e se deslocar até a R. VP-2. Estacionar e vistoriar à pé os setores S2-R2 DES e S1-R3 DES.	180	Minutos
5. Retorno até a Defesa Civil	28	Minutos
6. Reunião para organização das informações de campo e relato das ocorrências, com providências se necessário, como acionar outros órgãos.	40	Minutos
TOTAL ROTEIRO PERÍODO MANHÃ	5h e 33	Minutos
MATERIAIS		
<ul style="list-style-type: none"> • Roteiro impresso ou com acesso pelo celular ou tablet; • Fichas de avaliação de risco em branco para preenchimento manual em campo, ou pelo celular ou tablet em formulários via internet; • Caderneta de anotações, lápis ou caneta, borracha. • Plano de internet para consultas a mapas temáticos essenciais para as avaliações de risco, e documentos de análise de risco. • Celular ou tablet com acesso à internet para geolocalização e consultas, marcação das coordenadas geográficas do roteiro pelo google maps ou aplicativos similares. Deve-se ir a campo com bateria dos equipamentos em 100%. • Carregador extra de celular ou tablet. • E/ou GPS para marcação das coordenadas geográficas do roteiro. • Trena digital para obtenção de distâncias, ângulos de inclinação do talude. Bússola optativa, pois taludes em solo, mas indicada para determinar direção e mergulho de descontinuidades em saprolito. 	<ul style="list-style-type: none"> • Picareta pequena de ponta dupla, sendo uma pontiaguda e outra achatada para pequenas escavações (sacho). O martelo de geólogo pode ser optativo, já que taludes em solo que estão sendo avaliados, bem como o martelo de Schmidt. • Máquina fotográfica ou celular com câmera de resolução satisfatória. • Plásticos para proteger documentos da chuva e acondicionar pequenas amostras. • Objetos pessoais: pelo menos 1 litro de água fresca para beber para deslocamentos de meio período do dia, lanches rápidos como barra de cereais e biscoitos). • Equipamentos de segurança: chapéu, botas, protetor solar com fator FPS 30 ou superior, repelente de insetos, capa de chuva. E se em local de risco quanto a picadas de animais peçonhentos avaliar a utilização de perneira. <p>Obs.: Os EPIs e materiais são sugestões, e devem ser revisados conforme normas da Proteção Civil e/ou empresa executora do monitoramento de risco, e disponibilidade de equipamentos e materiais.</p>	

Observam-se na Figura 5.3 as ocorrências registradas pela Defesa Civil, além das seções com risco baixo ou inexistente, médio e alto. O *web map* Georiscos Contagem, uma das propostas desta pesquisa, foi utilizado tanto na etapa de planejamento, quanto em campo, e posteriormente para fechamento das análises de risco.

5.2.2. *Etapa 2 – Identificação dos riscos*

No dia 19 de junho de 2018 foi realizado o monitoramento na Vila Bastilha para acompanhamento das ocorrências e identificação de riscos. Além da autora da tese, participaram da visita o técnico da Defesa Civil e alunos extensionistas conforme indicados na Tabela 5.2. Os setores vistoriados foram 01, 02, 03 e 04 da carta número 58 do PMRR (Plano Municipal de Redução de Riscos de Contagem – MG), apresentado para o município em 2017.

A área vistoriada, trata-se de ocupação em local sujeito à movimentos de massa do tipo escorregamento e processos erosivos. Houve registro de remoção de família e demolição de imóvel devido à risco iminente de ruptura.

5.2.2.1. **A58-S1**

O código de área A58-S1 foi adotado para esta pesquisa, e corresponde a área 58 do PMRR, setor 1. Já o código S1-R3 DES foi o adotado pelo PMRR, e representa o setor 1 da área 58, que obteve a classificação R3 – risco alto para deslizamentos (DES) conforme a equipe de especialistas do PMRR (CONTAGEM, 2017).

A primeira edificação vistoriada (-19.829880, -44.151999) encontra-se no pé do talude e em condições precárias (Figura 5.4). Possui um pavimento, construída com madeira, lona e outros materiais. Em suas proximidades há bananeiras, lixo e entulhos. Há possibilidade de ser atingida por escorregamentos e material proveniente de processos erosivos.

Para vistoriar a crista do talude, o morador da Rua Ápio Cardoso, conforme Figura 5.5, permitiu a entrada da equipe. A partir do quintal desta moradia podem-se visualizar trincas no piso e a face do talude (Figura 5.6); moradias vizinhas construídas na crista e muros danificados (Figura 5.7); bem como bermas construídas na superfície do talude. O imóvel vistoriado encontra-se fora da mancha de risco, entre o setor S1-R3 DES e S2-R2 DES, portanto considerado com risco baixo ou inexistente. Faz-se necessária a avaliação da ampliação da mancha de risco para contemplar a moradia.

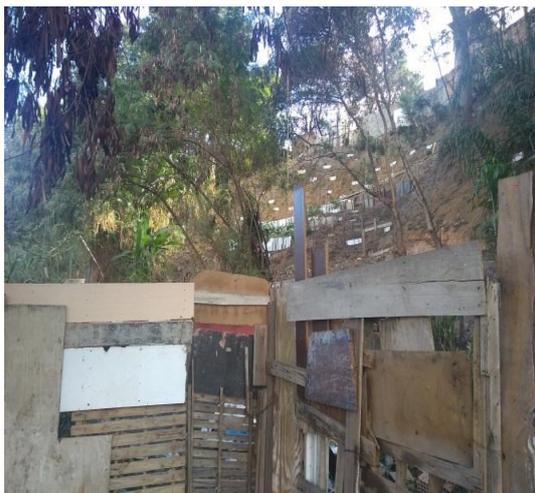


Figura 5.4- Moradia na R. Beira Campo, 26, no pé do talude Beira Campo. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.5- Moradia por onde a equipe teve acesso à crista do talude Beira Campo. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.6- Vista da moradia da R. Beira Campo, a partir da crista do talude. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.7- Muros danificados, e moradias na crista do talude. (Foto: autora e equipe)

5.2.2.2. A58-S2

A equipe de monitoramento deslocou-se para o setor 02 da carta 58 do PMRR (CONTAGEM, 2017) onde a área está parcialmente ocupada e apresenta talude com cobertura vegetal, lixo e entulhos. A indicação da equipe é permanecer com a limpeza do local, contudo

preservando as raízes da cobertura vegetal. Ou seja, a poda é indicada, mas a retirada total da vegetação não.

Conforme é possível verificar na Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10 e Figura 5.11, a inclinação do talude é de aproximadamente 70° e pode-se perceber a presença de lixo e entulho sobre a superfície do talude.



**Figura 5.8- Vista da crista do talude.
(Foto: autora e equipe)**



**Figura 5.9: Vista superior do talude.
(Foto: autora e equipe)**



Figura 5.10- Entulho e lixo presente no talude. (Foto: autora e equipe)



**Figura 5.11- Vista superior do talude.
(Foto: autora e equipe)**

Na Figura 5.12 observa-se o pé do talude, com trechos cuja inclinação é maior que 70°. Não há proteção neste local, e a calçada pública está adjacente à base do talude.



Figura 5.12- Vista do pé do talude. (Foto: autora e equipe)

5.2.2.3. A58-S3

O próximo imóvel vistoriado está localizado nas coordenadas (-19.829880, -44.151999). O morador realizou corte no talude para ter acesso à sua moradia. A construção do imóvel foi feita em alvenaria e possui um pavimento e um segundo em construção nesta área próxima ao talude. Em sua proximidade há bananeira e uma árvore inclinada na superfície do talude, conforme Figura 5.13. O local vistoriado encontra-se fora da mancha de risco, entre o setor 03- R2- deslizamento e o setor 04- R3- deslizamento. Faz-se necessário a ampliação da mancha de risco.



Figura 5.13- Vista do afastamento da edificação ao talude. (Foto: autora e equipe)

5.2.2.4. A58-S4

Neste setor, os imóveis vistoriados encontram-se na Rua Beira Campo, coordenadas - 19.829880, -44.151999, conforme

Figura 5.14 e Figura 5.15 respectivamente. A área ocupada é próxima de uma encosta com inclinação acentuada (maior que 50°), e altura próxima de 10m. As edificações vistoriadas são em alvenaria e possuem apenas um pavimento, contudo, observam-se na região moradias de 3 e por vezes 4 pavimentos construídas sobre taludes com inclinação acentuada.

No que diz respeito a processos geológicos, a área apresenta suscetibilidade a escorregamento e desmoronamento de residências, com histórico de eventos desta natureza.



Figura 5.14- Fachada imóvel, rua Beira Campo, 295. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.15- Fachada imóvel, rua Beira Campo, 285. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.16: Vista frontal do talude, tirada do campo. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.17: Vista frontal do talude com superfície ocupada. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.18: Vista do talude ao lado do vestiário do campo, com cobertura vegetal. (Foto: autora e equipe)



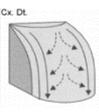
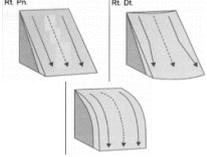
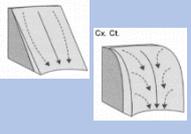
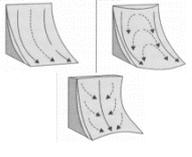
Figura 5.19: Vista do talude em área com maior cobertura vegetal. (Foto: autora e equipe)

5.2.3. Etapa 3 – Análise e avaliação dos riscos

Para o trabalho de campo foi preenchida a ficha de avaliação da área. A seguir, os resultados da análise de perigo, consequências e risco, conforme medidas e informações obtidas em campo.

5.2.3.1. Análise de perigo do setor A58-S1

Tabela 5.3- Pontuação de perigo – A58-S1

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I_{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (IVG)	Existente área $>75\%$ e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente $50\% < \text{área} < 75\%$ e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente $25\% < \text{área} < 50\%$ e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área $< 25\%$. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I_{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I_{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I_{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 417	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

Nota: texto em vermelho refere-se às alterações em relação a tabela usada em Porto, Portugal.

RESULTADO DE PERIGO A58-S1

TOTAL DE PONTOS: 1 X 3 + 4 X 9 + 5 X 27 + 1 X 81 = 255 PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA (3)

5.2.3.2. Análise das consequências do setor A58-S1**Quadro 5.4- Pontuação das consequências – A58-S1**

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I _{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I _{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I _{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I _{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I _{CU})	Zonas interditas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:147	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO A58-S1

TOTAL DE PONTOS: 1 X 3 + 1 X 27 + 3 X 81 = 273 PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

5.2.3.3. Matriz de riscos A58-S1

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possa atingir a moradia na base do talude, ou impactar as moradias existentes na crista. Processos erosivos condicionam o movimento de massa. Com os resultados de classe de perigo média (3) e consequências Acentuada (4), o setor A58-S1 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ALTO (cor laranja), conforme Figura 5.20. Esta classificação está equivalente à classificação do PMRR a qual considerou o setor com risco R3.

MATRIZ DE RISCO PARA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)				A58-S1-R3 (S1-R3 DES)	
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

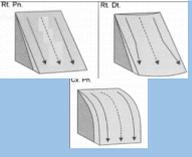
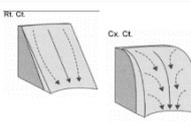
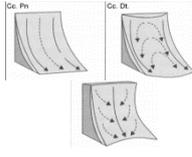
Figura 5.20- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A58-S1

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média (3), e consequências alterar para residual, pois não há cursos de água que podem ser atingidos ou outro impacto mensurável. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente. Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

As análises para o aspecto socioeconômico e do meio ambiente foram realizadas de forma qualitativa, a partir dos critérios estabelecidos em ANPC (2009).

5.2.3.4. Análise de perigo do setor A58-S2

Tabela 5.5- Pontuação de perigo – A58-S2

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I_{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (IVG)	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às discontinuidades ou estruturas reliquias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I_{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I_{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I_{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 417		Baixa (1): 22 a 162 pontos Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A58-S2

TOTAL DE PONTOS: 3 X 3 + 7 X 9 + 1 X 81 = 153 PONTOS

CLASSE DE PERIGO: BAIXA (1)

5.2.3.5. Análise das consequências do setor A58-S2**Tabela 5.6- Pontuação das consequências – A58-S2**

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I _{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I _{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I _{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I _{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I _{CU})	Zonas interdidas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:147	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO A58-S2

TOTAL DE PONTOS: 1 X 3 + 1 X 9 + 3 X 81 = 273 PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

5.2.3.6. Matriz de riscos A58-S2

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possa atingir a moradia na base do talude, ou impactar as moradias existentes na crista. Processos erosivos falta de sistema de drenagem pluvial condicionam o movimento de massa. Com os resultados de classe de perigo baixa (1) e consequências acentuada (4), o setor A58-S2 apresenta-se na matriz de risco na classe R2 – RISCO MODERADO (cor amarela), conforme Figura 5.20. Esta classificação coincide com o PMRR, com risco médio R2.

MATRIZ DE RISCO PARA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)					
	baixa (1)				A58-S2-R2 (S2-R2 DES)	
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

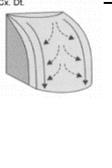
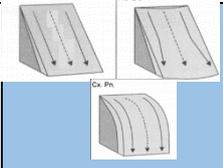
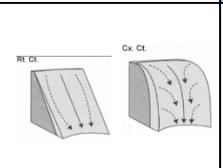
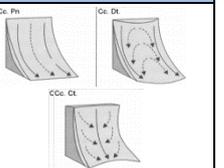
Figura 5.21- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A58-S2

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo baixa (1), e consequências, alterar para residual, pois não há cursos de água que podem ser atingidos ou outro impacto mensurável. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

5.2.3.7. Análise de perigo do setor A58-S3

Tabela 5.7- Pontuação de perigo – A58-S3

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (IAL)	≤5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (IIN)	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (IAG)				
	Cobertura vegetal (IVG)	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% <área <75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
Condições estruturais relativas às discontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (IDE)	Sem discontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais discontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos)	Uma ou mais discontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais discontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha	
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (ITR)	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (ISU)	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (IMV)	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (IDG)	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (ICD)	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (IHO)	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 417	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A58-S3TOTAL DE PONTOS: $3 \times 3 + 5 \times 9 + 1 \times 27 + 2 \times 81 = 243$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA-BAIXA (2)

5.2.3.8. Análise das consequências do setor A58-S3**Tabela 5.8- Pontuação das consequências – A58-S3**

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I _{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I _{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I _{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I _{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I _{CU})	Zonas interditas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:147	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO A58-S3TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 1 \times 9 + 3 \times 81 = 273$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

5.2.3.9. Matriz de riscos A58-S3

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possa atingir a moradia na base do talude, ou impactar as moradias existentes na crista.

Processos erosivos falta de sistema de drenagem pluvial condicionam o movimento de massa. Com os resultados de classe de perigo média-baixa (2) e consequências acentuada (4), o setor A58-S3 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ALTO (cor laranja), conforme Figura 5.22. Esta classificação difere da classificação do PMRR a qual considerou o setor com risco R2.

MATRIZ DE RISCO PARA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)				A58-S3-R3 (S3-R2 DES)	
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

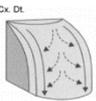
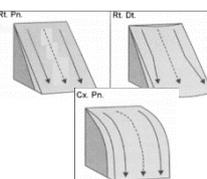
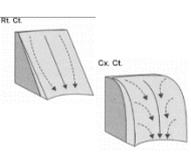
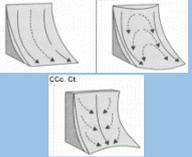
Figura 5.22- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A58-S3 (S3-R2 DES)

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média-baixa (2), e consequências, alterar para residual, pois não há cursos de água que podem ser atingidos ou outro impacto mensurável. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

5.2.3.10. Análise de perigo do setor A58-S4

Tabela 5.9- Pontuação de perigo – A58-S4

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e climáticas	Altura do talude (I _{AL})	≤5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I _{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I _{AG})				
	Cobertura vegetal (IVG)	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou susceptibilidade a processos erosivos (I _{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I _{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo: 417	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A58-S4TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 6 \times 9 + 1 \times 27 + 3 \times 81 = 327$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA (3)

5.2.3.11. Análise das consequências do setor A58-S4**Tabela 5.10- Pontuação das consequências – A58-S4**

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I _{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I _{AL})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I _{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I _{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I _{CU})	Zonas interditas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:147	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS DO A58-S4TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 2 \times 27 + 2 \times 81 = 219$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

5.2.3.12. Matriz de riscos A58-S4

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possa atingir a moradia na base do talude, ou impactar as moradias existentes na crista.

Processos erosivos condicionam o movimento de massa. Com os resultados de classe de perigo média (3) e consequências Acentuada (4), o setor A58-S1 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ALTO (cor laranja), conforme Figura 5.23. Esta classificação está equivalente à classificação do PMRR a qual considerou o setor com risco R3.

MATRIZ DE RISCO PARA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)				A58-S4-R3 (S4-R3 DES)	
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 5.23- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A58-S4

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média (3), e consequências, alterar para residual, pois não há cursos de água que podem ser atingidos ou outro impacto mensurável. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico. As análises para o aspecto socioeconômico e do meio ambiente foram realizadas de forma qualitativa, a partir dos critérios estabelecidos em ANPC (2009).

5.2.4. Etapa 4 – Estratégias de prevenção e mitigação dos riscos

Para a definição das estratégias de prevenção e mitigação de riscos, bem como medidas corretivas, foram avaliados os índices de perigo e consequências de maior peso. Este método possibilita que a escolha das ações estruturantes e não estruturantes seja mais efetiva para a diminuição do risco, já que priorizam soluções técnicas e sociais mais adequadas para os fatores que contribuem em maior grau com o risco.

A Tabela 5.11 apresenta as propostas de ações estruturantes e não estruturantes por setor, e os gráficos de índices de perigo e consequências. As ações escritas em azul representam propostas desta pesquisa, e as demais, propostas elencadas no PMRR.

Tabela 5.11- Propostas de ações estruturantes e não estruturantes a partir da análise dos índices de perigo e consequência

Área e Setor	Índices de maior peso	Ações																																					
		Estruturantes	Não Estruturantes																																				
A58-S1-R3	<p>Perigo</p> <table border="1"> <tr><th>Índice</th><th>Valor (aprox.)</th></tr> <tr><td>Altura</td><td>10</td></tr> <tr><td>Inclinação</td><td>80</td></tr> <tr><td>Conc. de...</td><td>30</td></tr> <tr><td>Vegetação</td><td>30</td></tr> <tr><td>Descont...</td><td>30</td></tr> <tr><td>Trincas</td><td>30</td></tr> <tr><td>Surgências</td><td>10</td></tr> <tr><td>Moviment...</td><td>10</td></tr> <tr><td>Degrau de...</td><td>5</td></tr> <tr><td>Cicatriz de...</td><td>30</td></tr> <tr><td>Histórico...</td><td>10</td></tr> </table> <p>Consequências</p> <table border="1"> <tr><th>Índice</th><th>Valor (aprox.)</th></tr> <tr><td>Ocupaç...</td><td>80</td></tr> <tr><td>Afasta...</td><td>80</td></tr> <tr><td>Condiç...</td><td>30</td></tr> <tr><td>Largura...</td><td>80</td></tr> <tr><td>Context...</td><td>5</td></tr> </table>	Índice	Valor (aprox.)	Altura	10	Inclinação	80	Conc. de...	30	Vegetação	30	Descont...	30	Trincas	30	Surgências	10	Moviment...	10	Degrau de...	5	Cicatriz de...	30	Histórico...	10	Índice	Valor (aprox.)	Ocupaç...	80	Afasta...	80	Condiç...	30	Largura...	80	Context...	5	<ul style="list-style-type: none"> • Inserção de calhas na crista e descidas de água pluvial; • Canalização adequada de esgoto e água servida; • Manter a proteção superficial, exceto bananeiras • Contenção em gabião (2x) 15x 2,5m; • Plantio de vegetação de controle de erosão nas feições erosivas e face do talude sem cobertura vegetal⁽¹⁾. 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientar para não lançar água/esgoto na crista; • Orientar para não cortar a base do talude desconfinando-o; • Aumentar a mancha de risco para incluir as moradias que se encontram na crista, bem como trecho até S2-R2 DES; • Avaliar com a comunidade se é interesse implantar hortas comunitárias no local⁽¹⁾; • Monitorar local; • Desenvolver projeto de pesquisa com soluções de bioengenharia para controle de erosões, para todo o município. Estabelecer áreas de estudo com ensaios de campo e laboratório.
Índice	Valor (aprox.)																																						
Altura	10																																						
Inclinação	80																																						
Conc. de...	30																																						
Vegetação	30																																						
Descont...	30																																						
Trincas	30																																						
Surgências	10																																						
Moviment...	10																																						
Degrau de...	5																																						
Cicatriz de...	30																																						
Histórico...	10																																						
Índice	Valor (aprox.)																																						
Ocupaç...	80																																						
Afasta...	80																																						
Condiç...	30																																						
Largura...	80																																						
Context...	5																																						

Área e Setor	Índices de maior peso	Ações	
		Estruturantes	Não Estruturantes
A58-S2-R2	<p>Perigo</p> <p>Consequências</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Canalização adequada de esgoto e água servida; • Limpeza e remoção de bananeira (30m²); • Contenção (2x) gabião 11 x 3 m. • Retaludamento com criação de bermas para horta comunitária; • Cobertura vegetal com capim vegetação de controle de erosão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conscientizar para não lançar água/esgoto na crista; • Monitorar local. • Pesquisa de campo para avaliar demanda e possível engajamento no projeto de hortas comunitárias.
A58-S3-R3	<p>Perigo- Setor A58-S3</p> <p>Consequências</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contenção em muro de arrimo (blocos) 12 x 2,5 m; • Proteção superficial vegetal (preferência vegetação de controle de erosão); • Implantar sistema de drenagem superficial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientar para não cortar a base do talude desconfinando-o;

Área e Setor	Índices de maior peso	Ações	
		Estruturantes	Não Estruturantes
A58-S4-R3	<p>The figure contains two bar charts. The top chart, titled 'Perigo', has a y-axis from 0 to 100 and x-axis categories: Altura, Inclinação, Concavidade, Vegetação, Descobridores, Trincas, Surgências, Movimentos, Degradação, Cicatrizes, and Histórico. The 'Inclinação' and 'Concavidade' bars are the highest, around 80. The bottom chart, titled 'Consequências', has a y-axis from 0 to 100 and x-axis categories: Ocupação, Afastamento, Condição, Lar, and Condição. The 'Ocupação' and 'Afastamento' bars are the highest, around 80.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de moradia; • Limpeza e remoção de bananeiras (25 m³); • Recomposição de cobertura vegetal arbustiva (900 m²); • Uso de vegetação de controle de erosão e biomanta vegetal para locais de maior declividade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientar para não executar corte na base, desconfinando talude; • Monitorar local; • Não foi identificado a remoção indicada. Reavaliar necessidade de remoção das moradias na crista do talude.

Nota: (1) Ações escritas em azul são propostas desta pesquisa. Demais ações foram propostas pelo PMRR (CONTAGEM, 2017).

5.2.5. Etapa 5 – Monitoramento

5.2.5.1. Índices de perigo e consequência para A58-S1

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento e ações preventivas e corretivas, estruturantes e não estruturantes, apresenta-se na Figura 5.24 um gráfico com os índices de perigo de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 5.25 um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos de uma ruptura no setor A-58.

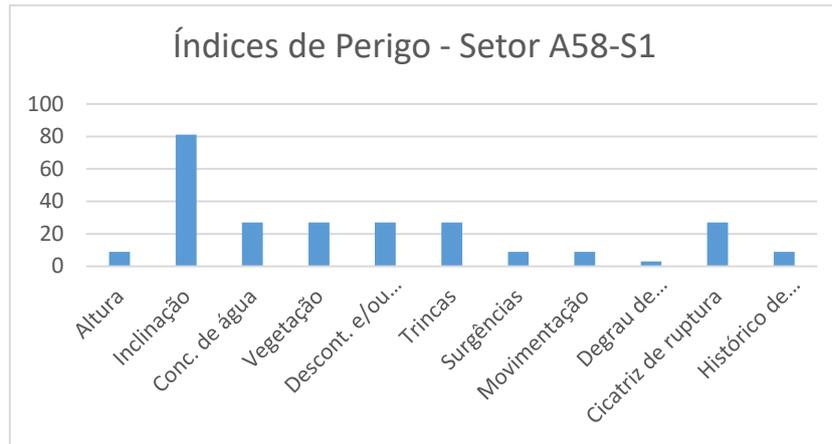


Figura 5.24- Gráfico de índices de perigo para o setor A58-S1

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicos, a inclinação do talude é o fator preponderante, seguido pela concentração de água, vegetação e erosões. Já na categoria de indícios de instabilidade, as trincas e cicatrizes de ruptura são mais críticos.



Figura 5.25- Gráfico de índices de consequências para o setor A58-S1

Em relação às consequências, destaca-se a ocupação habitacional do talude, o pequeno afastamento em relação às moradias e pequena magnitude da plataforma entre o possível movimento de massa e moradia.

5.2.5.2. Índices de perigo e consequência para A58-S2

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento e ações preventivas e corretivas, estruturantes e não estruturantes,

apresenta-se na Figura 5.26 um gráfico com os índices de perigo de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 5.27 um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos de uma ruptura no setor A-58-S2.

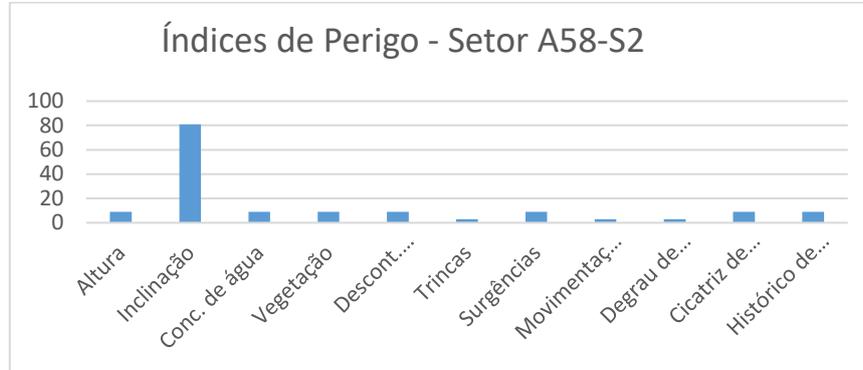


Figura 5.26- Gráfico de índices de perigo para o setor A58-S2

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicas, a inclinação do talude é o fator preponderante, seguida pela concentração de água, vegetação e erosões. Já na categoria de indícios de instabilidade, as trincas e cicatrizes de ruptura são mais críticos.

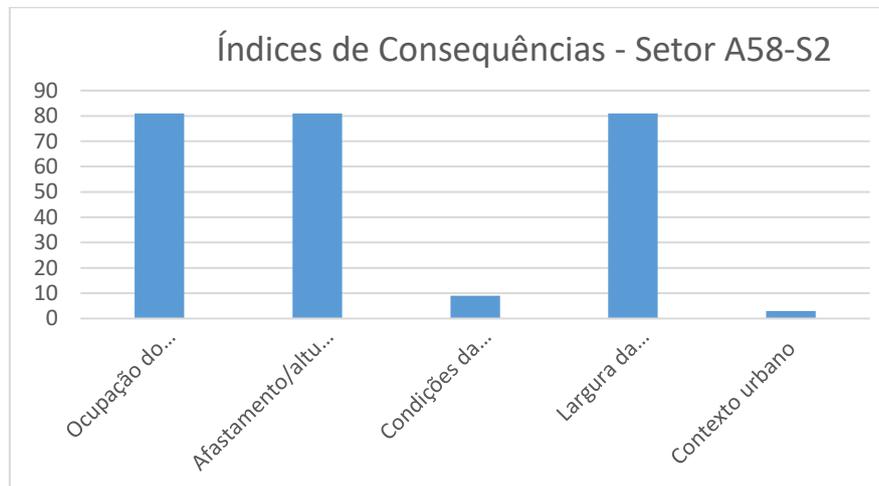


Figura 5.27- Gráfico de índices de consequências para o setor A58-S2

Em relação às consequências, destaca-se a ocupação habitacional do talude, o pequeno afastamento em relação às moradias e pequena magnitude da plataforma entre o possível movimento de massa e moradia.

5.2.5.3. Índices de perigo e consequência para A58-S3

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento e ações preventivas e corretivas, estruturantes e não estruturantes, apresenta-se um gráfico com os índices de perigo (Figura 5.28) de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta na Figura 5.29 um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos de uma ruptura no setor A-58-S3.

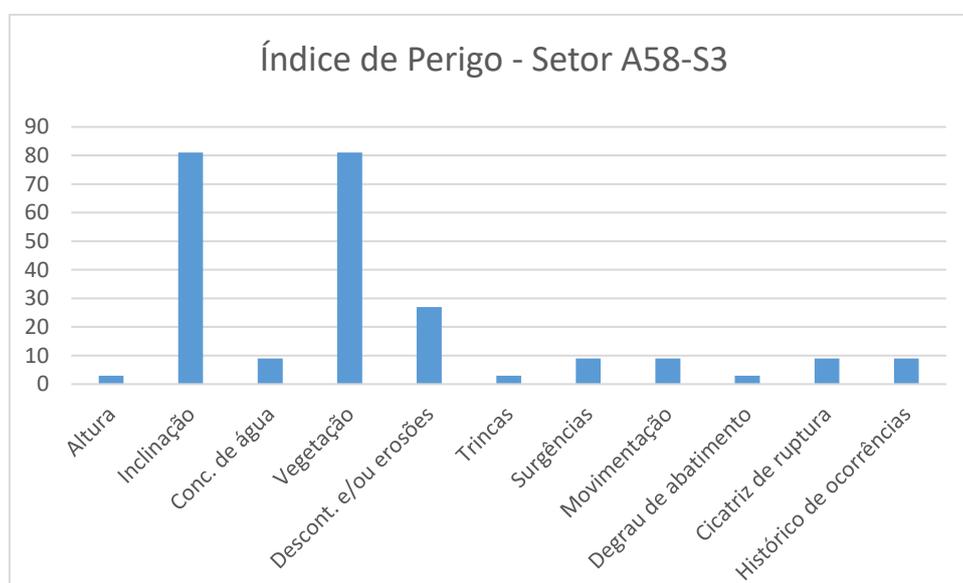


Figura 5.28- Gráfico de índices de perigo para o setor A58-S3

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicas, a inclinação do talude e falta de cobertura vegetal são os fatores preponderantes, seguido pela presença de processos erosivos. Já na categoria de indícios de instabilidade, as cicatrizes de ruptura, surgências e movimentação são mais críticas. Também há histórico de ocorrências no local.

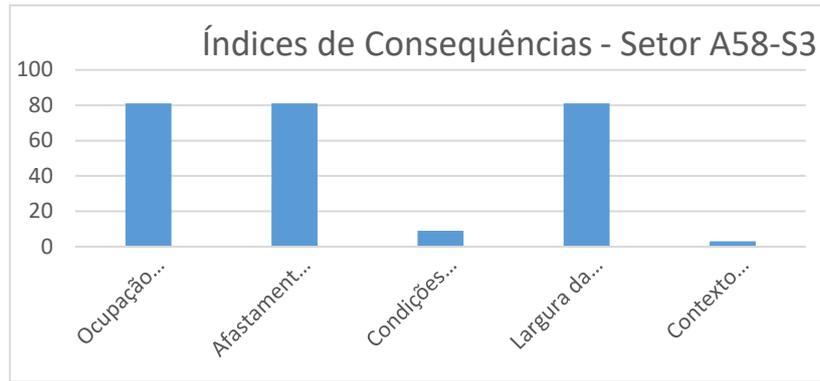


Figura 5.29- Gráfico de índices de consequências para o setor A58-S3

Em relação às consequências, destaca-se a ocupação habitacional do talude, o pequeno afastamento em relação às moradias e pequena magnitude da plataforma entre o possível movimento de massa e moradia.

5.2.5.4. Índices de perigo e consequência para A58-S4

Para analisar quais fatores de perigo e consequências estão críticos, bem como orientar as ações de monitoramento e ações preventivas e corretivas, estruturantes e não estruturantes, apresenta-se no gráfico a seguir os índices de perigo de acordo com a pontuação recebida, a qual varia de 3 a 81. Também se apresenta um gráfico com os índices de consequências para melhor visualizar os impactos de uma ruptura no setor A-58-S4.

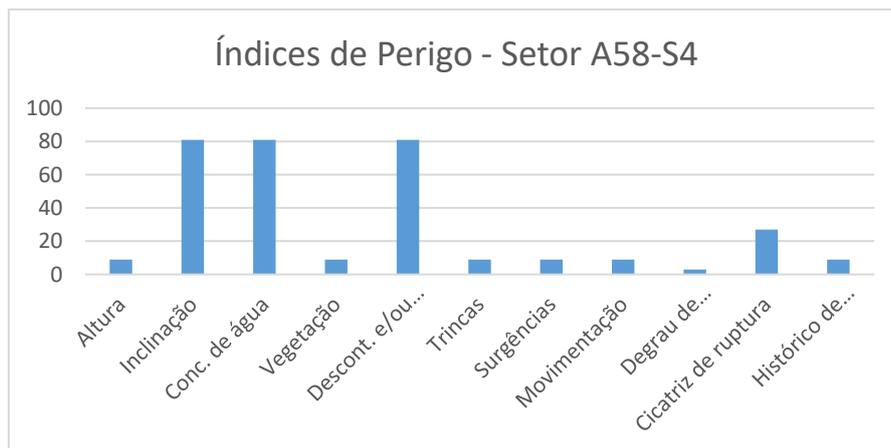


Figura 5.30- Gráfico de índices de perigo para o setor A58-S4

Pode-se afirmar que dentre os índices da categoria condicionantes geológico-geotécnicos, a inclinação do talude, a concentração de água na face e processos erosivos. Já na categoria de

indícios de instabilidade, as cicatrizes de ruptura é o fator mais crítico. Também há histórico de ocorrências no local.

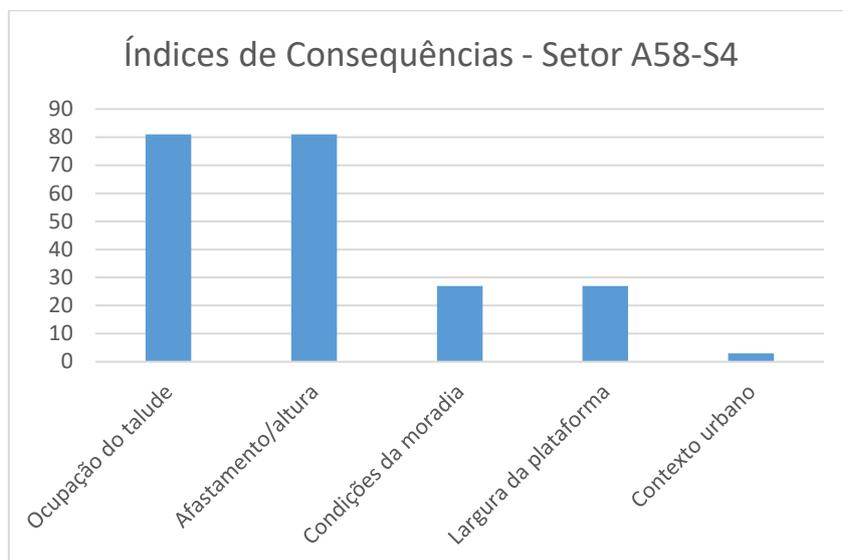


Figura 5.31- Gráfico de índices de consequências para o setor A58-S4

Em relação às consequências, destaca-se a ocupação habitacional do talude, o pequeno afastamento em relação às moradias.

5.2.6. *Etapa 6 – Revisão e análise crítica*

Em relação à aplicabilidade da ficha de campo proposta na pesquisa para a área de risco A-58, observa-se convergência das análises do PMRR com a presente metodologia, onde se pode observar que dos 4 setores analisados, somente a classificação de um deles foi diferente da classificação de risco obtida na presente pesquisa.

Para fins de síntese, as próximas áreas não serão descritas nas seis etapas (1- estabelecimento do contexto; 2- identificação de riscos; 3- análise e avaliação de riscos; 4- estratégias de prevenção e mitigação; 5- monitoramento; 6- revisão e análise crítica). Contudo, as mesmas foram cumpridas para alcançar o resultado da análise.

5.3. Área 61 – Vila Estaleiro I

5.3.1. A61-S1 – Análise de riscos

No dia 21 de junho de 2018, a autora da pesquisa juntamente com um técnico da Defesa Civil e extensionistas realizaram vistoria na Vila Estaleiro I. O caminhamento teve início na região de fundo de vale, coordenadas -19,8238565; -44,1394897, onde há um córrego com habitações adjacentes ao seu curso, taludes um pouco íngremes (próximo de 25°), mas de altura menor que 5m, e alguns trechos com plantio de bananeiras.

Nas proximidades do setor S2 (coordenadas geográficas -19.82664, -44.14101), foi observado um talude com declividade próxima de 70°, altura próxima de 15 m, cicatriz de escorregamento que comprometeu parte da via, e indícios de instabilidade, como uma trinca no revestimento asfáltico da crista, conforme Figura 5.32, Figura 5.33, Figura 5.34, e Figura 5.35.



**Figura 5.32: Vista da cicatriz de ruptura.
(Foto: autora e equipe)**



Figura 5.33: Vista da proximidade da moradia na base do talude. (Foto: autora e equipe)



**Figura 5.34: Outro ângulo da crista.
(Foto: autora e equipe)**

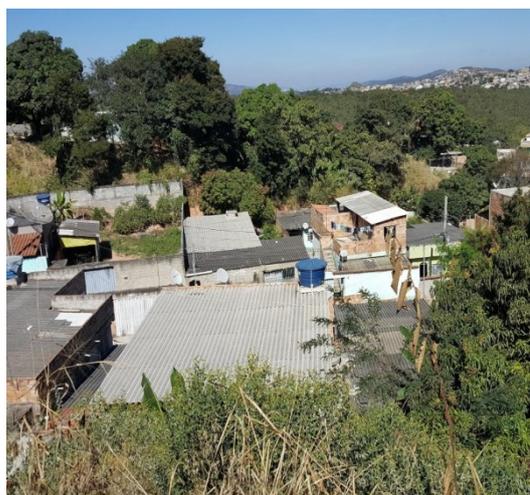
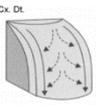
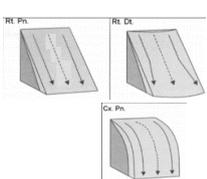
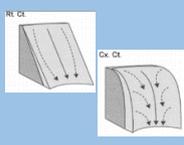
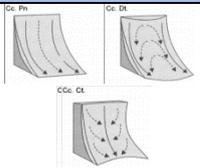


Figura 5.35: Residências na base do talude. (Foto: autora e equipe)

Conforme descrição do risco do PMRR (Tabela 3.2) e trabalho de campo, apresenta-se a classificação de perigo e consequências para o setor.

Tabela 5.12- Pontuação de perigo A61-S1

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e de cobertura vegetal	Altura do talude (I _{AL})	≤5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I _{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I _{AG})				
	Cobertura vegetal (IVG)	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às discontinuidades ou estruturas reliquias; e/ou susceptibilidade a processos erosivos (I _{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I _{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade e de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A61-S1TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 2 \times 9 + 6 \times 27 + 2 \times 81 = 345$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA (3)

Tabela 5.13- Pontuação das consequências A61-S1

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (IOT)	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (IAH)	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (ICM)	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula se atingidas	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por mov.de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por mov. de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por mov.de massa
	Largura da plataforma (ILP)	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (ICU)	Zonas interdidas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS A61-S1TOTAL DE PONTOS: $3 \times 9 + 2 \times 81 = 189$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: MODERADA (3)

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)			A61-S1		
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

Figura 5.36- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A61-S1

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possa atingir a moradia na base do talude, ou impactar a via na crista do talude. Com os resultados de classe de perigo média (3) e consequências Moderada (4), o setor A61-S1 apresenta-se na matriz de risco na classe R2 – RISCO MODERADO (cor amarela). Esta classificação está equivalente à classificação do PMRR (CONTAGEM, 2017) a qual considerou o setor com risco R2.

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média (3), e consequências, alterar para residual, pois não há cursos de água que podem ser atingidos ou outro impacto mensurável. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

5.3.2. *A61-S2 – Análise de riscos*

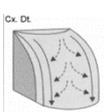
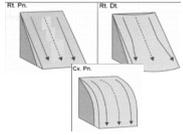
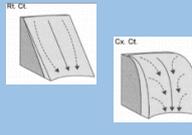
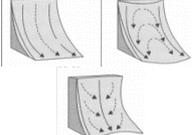
Nesta área foi possível identificar encostas suscetíveis à escorregamentos e com sobrepeso na crista. Existem moradias na base da encosta. As coordenadas do setor são -19.82657, -44.14185



Figura 5.37- Setor A61-S2 (Foto: Leonardo Souza, CONTAGEM, 2017)

Conforme descrição do risco do PMRR (Tabela 3.2) e trabalho de campo, apresenta-se a classificação de perigo e consequências para o setor.

Tabela 5.14- Pontuação de perigo A61-S2

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidromorfológicas e de cobertura vegetal	Altura do talude (I_{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (I_{VG})	Existente área $>75\%$ e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente $50\% < \text{área} < 75\%$ e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente $25\% < \text{área} < 50\%$ e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área $< 25\%$. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
Indícios de instabilidade	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm

	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamentos de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A61-S2

TOTAL DE PONTOS: $6 \times 3 + 4 \times 27 + 1 \times 81 = 207$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA-BAIXA (2)

Tabela 5.15- Pontuação das consequências A61-S2

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I _{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I _{AH})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I _{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I _{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I _{CU})	Zonas interditas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS A61-S2

TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 4 \times 81 = 327$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: CRÍTICA (5)

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)					A61-S2
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 5.38- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A61-S1

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possa atingir a moradia na base do talude. Com resultados de classe de perigo média-baixa (2) e consequências crítica (5), o setor A61-S2 apresenta-se na matriz de risco na classe R4 – RISCO EXTREMO (cor vermelha). Esta classificação difere da classificação do PMRR (CONTAGEM, 2017) a qual considerou o setor com risco R2.

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média-baixa (2), e consequências, alterar para residual, pois não há cursos de água que podem ser atingidos ou outro impacto mensurável. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver, ou serem em nível reduzido, as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

5.3.3. A61-S3 – Análise de riscos

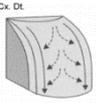
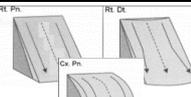
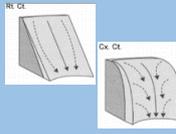
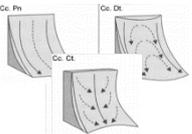
Nesta área foi possível identificar encostas suscetíveis à escorregamentos e com moradias na base do talude sem o devido afastamento.



Figura 5.39- Setor A61-S3 (Foto: Leonardo Souza, CONTAGEM, 2017)

Conforme descrição do risco do PMRR (Tabela 3.2) e trabalho de campo, apresenta-se a classificação de perigo e consequências para o setor.

Tabela 5.16- Pontuação de perigo A61-S3

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e de cobertura vegetal	Altura do talude (I_{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I_{IN})	$\leq 25^\circ$	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG})				
	Cobertura vegetal (I_{VG})	Existente área $>75\%$ e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente $50\% < \text{área} < 75\%$ e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente $25\% < \text{área} < 50\%$ e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área $< 25\%$. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às discontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I_{DE})	Sem discontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais discontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais discontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais discontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm

	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamentos de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A61-S3

TOTAL DE PONTOS: $7 \times 3 + 3 \times 27 + 1 \times 81 = 183$ PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA-BAIXA (2)

Tabela 5.17- Pontuação das consequências A61-S3

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I _{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I _{AH})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I _{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I _{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I _{CU})	Zonas interdidadas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS A61-S3

TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 1 \times 27 + 3 \times 81 = 273$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)				A61-S3	
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 5.40- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A61-S3

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possa atingir a moradia na base do talude. Com resultados de classe de perigo média-baixa (2) e consequências acentuada (4), o setor A61-S3 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ELEVADO (cor laranja). Esta classificação difere da classificação do PMRR (CONTAGEM, 2017) a qual considerou o setor com risco R2.

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média-baixa (2), e consequências, alterar para residual, pois não há cursos de água que podem ser atingidos ou outro impacto mensurável. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

5.4. Área 63 – Vila Feliz

5.4.1. A63-S1 – Análise de riscos

A vistoria se iniciou em um ponto situado na crista entre as voçorocas onde existem pelo menos 4 moradias e outra em construção. O ponto analisado tem coordenadas geográficas - 19,831287 -44,145584. Foram observadas trincas no terreno onde se iniciava uma construção, ainda em escavação de fundação. A moradia em construção já havia sido identificada e notificada pela Defesa Civil. Nesse local, observam-se as dimensões da voçoroca. A parte do terreno onde as moradias se encontram, bem como a voçoroca, é propriedade da CEMIG, que já havia sido informada da situação conforme informações da Defesa Civil. Foram visualizadas cicatrizes de escorregamentos e foi identificado histórico de ocorrência de deslizamento no setor em 2017.

As construções são de alvenaria, com média e alta vulnerabilidade estrutural. Foram observadas tubulações com lançamento de água servida nas encostas.



Figura 5.41: Vista da voçoroca para norte. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.42: Vista da voçoroca para sul (Foto: autora e equipe)



Figura 5.43: Vista da voçoroca para noroeste. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.44: Talude lateral. (Foto: autora e equipe)



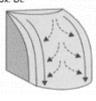
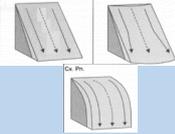
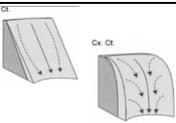
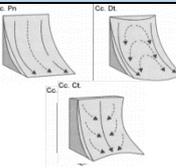
Figura 5.45: Corredor lateral da moradia. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.46: Vista da moradia da parte posterior da residência. (Foto: autora e equipe)

Conforme descrição do risco do PMRR (Tabela 3.2) e trabalho de campo, apresenta-se a classificação de perigo e consequências para o setor.

Tabela 5.18- Pontuação de perigo A63-S1

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidromorfológicas e de cobertura vegetal	Altura do talude (I _{AL})	≤5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I _{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I _{AG})				
	Cobertura vegetal (IVG)	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I _{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha	
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I _{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A63-S1

TOTAL DE PONTOS: 3 X 3 + 2 X 9 + 3 X 27 + 3 X 81 = 351 PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA (3)

Tabela 5.19- Pontuação das consequências A63-S1

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I_{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I_{AH})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I_{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I_{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I_{CU})	Zonas interditas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS A63-S1TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 1 \times 27 + 3 \times 81 = 273$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)				A63-S1	
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 5.47- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A63-S1

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possa atingir a moradia na base dos dígitos da voçoroca ou na crista. Com resultados de classe de perigo média (3) e consequências acentuada (4), o setor A63-S1 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ELEVADO (cor laranja). Esta classificação equivale à classificação do PMRR (CONTAGEM, 2017) a qual considerou o setor com risco R3.

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média-baixa (2), e consequências, alterar para residual, pois não há cursos de água que podem ser atingidos ou outro impacto mensurável. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

5.5. Área 57 – Vila Barroquinha

5.5.1. A57-S1 – Análise de riscos

No dia 05 de junho de 2018 foi realizado o monitoramento na Vila Barroquinha (-19.831231, -44.145997) onde existem construções em uma voçoroca de grande porte. Observaram-se cortes verticalizados nos taludes e cicatrizes de deslizamento. Presença de bananeiras, entulhos, lixo e lançamento de água e esgoto. A seguir, fotos do local e classificação de risco.

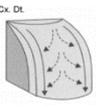
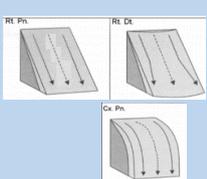
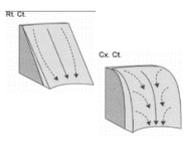
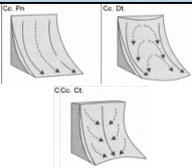


Figura 5.48: Vista das ocupações próximo a encosta. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.49: Vista da Voçoroca. (Foto: autora e equipe)

Tabela 5.20- Pontuação de perigo A57-S1

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e de cobertura vegetal	Altura do talude (I _{AL})	≤5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I _{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I _{AG})				
	Cobertura vegetal (IVG)	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I _{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I _{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A57-S1

TOTAL DE PONTOS: $2 \times 3 + 2 \times 9 + 4 \times 27 + 3 \times 81 = 375$ PONTOS
 CLASSE DE PERIGO: MÉDIA (3)

Tabela 5.21- Pontuação das consequências A57-S1

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I _{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I _{AH})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I _{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I _{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I _{CU})	Zonas interditas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS A57-S1

TOTAL DE PONTOS: $1 \times 3 + 1 \times 9 + 1 \times 27 + 3 \times 81 = 282$ PONTOS
 CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)				A63-S1	
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 5.50- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A57-S1

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possa atingir a moradia na base ou crista do talude. Com resultados de classe de perigo média (3) e consequências acentuada (4), o setor A63-S1 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ELEVADO (cor laranja). Esta classificação equivale à classificação do PMRR (CONTAGEM, 2017) a qual considerou o setor com risco R3.

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média (3), e consequências, alterar para moderada (3), pois o lençol freático está aflorando no fundo da voçoroca e o lançamento de água servida pode contaminá-lo, com impacto significativo, mas reversível. Necessário ações preventivas e mitigadoras. Portanto, o risco é R2 – RISCO MODERADO (cor amarela), para o sistema meio ambiente.

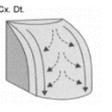
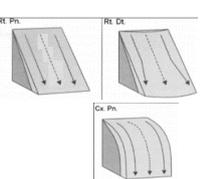
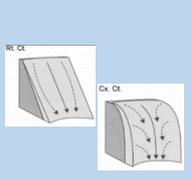
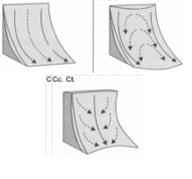
Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

5.6. Área 69 – Vila Soledade

5.6.1. A69-S1 – Análise de riscos

Segundo o PMRR (CONTAGEM, 2017) foram visualizados cortes verticalizados, feições erosivas e desconfinamento na base. Algumas famílias já haviam sido removidas quando do PMRR de 2007. Em visita ao local em abril de 2018 verificou-se os mesmos condicionantes e indicativos de instabilidade, acrescido de degrau de abatimento observado na crista. Não foi possível observar toda a extensão do talude, pois a cobertura vegetal ocupava mais que 50% do talude. Também se observou bananeiras na face do talude. Em novembro de 2021, a prefeitura apresentou um vídeo nas redes sociais, informando da execução de obras de contenção no local.

Tabela 5.22- Pontuação de perigo A69-S1

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e de cobertura vegetal	Altura do talude (I _{AL})	≤5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I _{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I _{AG})				
	Cobertura vegetal (IVG)	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou susceptibilidade a processos erosivos (I _{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha	
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I _{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/va zamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamento s	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamento s de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A69-S1

TOTAL DE PONTOS: $2 \times 3 + 7 \times 9 + 1 \times 27 + 1 \times 81 = 177$ PONTOS
 CLASSE DE PERIGO: MÉDIA-BAIXA (2)

Tabela 5.23- Pontuação das consequências A69-S1

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I _{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I _{AH})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I _{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I _{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I _{CU})	Zonas interditadas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS A69-S1

TOTAL DE PONTOS: $1 \times 9 + 1 \times 27 + 3 \times 81 = 279$ PONTOS
 CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)				A69-S1	
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

Figura 5.51- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A69-S1

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possa atingir a moradia na base ou crista do talude. Com resultados de classe de perigo média-BAIXA (2) e consequências acentuada (4), o setor A69-S1 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ELEVADO (cor laranja). Esta classificação equivale à classificação do PMRR (CONTAGEM, 2017) a qual considerou o setor com risco R3.

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média-baixa (2), e consequências, alterar para residual (1). Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

5.7. Área 125 - Beco Divino Cardoso e R. Maria José Chiodi

5.7.1. A125-S1 – Análise de riscos

A área do Beco Divino Cardoso, coordenadas cartográficas: -19.824641, -44.153814, com Rua VP2 foi vistoriada no dia 19 de junho de 2018. No local, há uma escadaria em terreno íngreme que liga a VP2 com Beco Divino Cardoso. Foram observadas cicatrizes de deslizamento, processos erosivos, lixo e entulho no local. Foram constatadas remoções, conforme também observado nos arquivos de ROs da Defesa Civil. Há bananeiras plantadas na face do talude.



Figura 5.52: Presença de entulhos constatando remoções de imóveis. (Foto: autora e equipe)



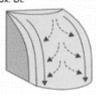
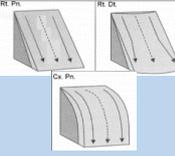
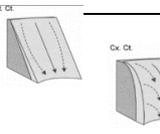
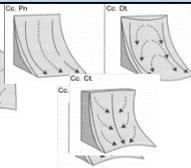
Figura 5.53: Vista de um imóvel vistoriado que possui RO. (Foto: autora e equipe)



Figura 5.54 Vista do Beco Divino Cardoso. (Foto: autora e equipe)

Conforme descrição do risco do PMRR (Tabela 3.2) e trabalho de campo, apresenta-se a classificação de perigo e consequências para o setor.

Tabela 5.24- Pontuação de perigo A125-S1

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e de cobertura vegetal	Altura do talude (I _{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I _{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I _{AG})				
	Cobertura vegetal (IVG)	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I _{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I _{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A125-S1

TOTAL DE PONTOS: 3 X 3 + 4 X 9 + 3 X 27 + 1 X 81 = 207 PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA-BAIXA (2)

Tabela 5.25- Pontuação das consequências A69-S1

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (IOT)	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (IAH)	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (ICM)	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (ILP)	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (ICU)	Zonas interditas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS A125-S1TOTAL DE PONTOS: $1 \times 9 + 3 \times 27 + 1 \times 81 = 171$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: MODERADA (3)

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)			A125-S1		
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

Figura 5.55- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A125-S1

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possam atingir a moradia na base do talude, ou comprometer a via na crista. Com resultados de classe de perigo média-BAIXA (2) e consequências moderada (3), o setor A125-S1 apresenta-se na matriz de risco na classe R2 – RISCO MODERADO (cor amarela). Esta classificação está um grau a menos que o PMRR (CONTAGEM, 2017) a qual considerou o setor com risco R3. Observa-se que esta redução foi devido às remoções realizadas. O monitoramento deve ser mantido para evitar o aumento do risco com instalação de novas moradias.

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média-baixa (2), e consequências, alterar para residual (1). Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

5.7.2. A125-S2 – Análise de riscos

O Beco Maria José Chiodi, coordenadas cartográficas: -19.824130, -44.154961, encontra-se no final da rua de mesmo nome. Encerra-se com um talude íngreme, cuja crista é a R. VL-2. Foram observados blocos na base do beco, bem como solo e detritos provenientes de escorregamentos. Esse material ocupa parte da via, e segundo relatos de moradores da região, a queda e rolamentos de blocos é frequente. Há movimentação de blocos no talude próximo às moradias. Também foi observado que o talude se encontra úmido e com tubulações de água servida à montante. A moradia no final do beco encontra-se sem afastamento da face do talude, o qual possui inclinação superior a 50°, e em alguns locais, próximo de 90°.



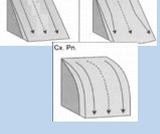
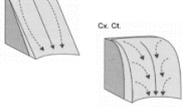
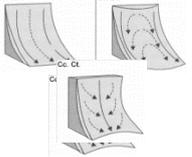
Figura 5.56- Talude com vegetação.



Figura 5.57-Vista de moradia ao pé do talude

Conforme descrição do risco do PMRR (Tabela 3.2) e trabalho de campo, apresenta-se a classificação de perigo e consequências para o setor.

Tabela 5.26- Pontuação do perigo A125-S2

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidromorfológicas e de cobertura vegetal	Altura do talude (I _{AL})	≤5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I _{IN})	≤ 25°	30°	35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I _{AG})				
	Cobertura vegetal (IVG)	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I _{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I _{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamentos de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade e de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigo:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

RESULTADO DE PERIGO A125-S2

TOTAL DE PONTOS: 1 X 3 + 6 X 9 + 3 X 27 + 1 X 81 = 219 PONTOS

CLASSE DE PERIGO: MÉDIA-BAIXA (2)

Tabela 5.27- Pontuação das consequências A125-S2

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (I_{OT})	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (I_{AH})	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/2$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc. (I_{CM})	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma (I_{LP})	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (I_{CU})	Zonas interdidadas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

RESULTADO DE CONSEQUÊNCIAS A125-S1TOTAL DE PONTOS: $1 \times 9 + 1 \times 27 + 3 \times 81 = 279$ PONTOS

CLASSE DE CONSEQUÊNCIAS: ACENTUADA (4)

PERIGO	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)				A125-S2	
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

Figura 5.58- Matriz de risco para saúde e segurança – setor A125-S2

Optou-se por avaliar o modo de falha de escorregamentos de pequena a média magnitude, que possam atingir a moradia na base do talude, ou comprometer a via na crista. Com resultados de classe de perigo média-BAIXA (2) e consequências acentuada (4), o setor A125-S2 apresenta-se na matriz de risco na classe R3 – RISCO ALTO (cor laranja). Esta classificação está dois graus a mais que o PMRR (CONTAGEM, 2017) a qual considerou o setor com risco R1. Observa-se que este aumento foi devido às elevações dos índices de risco e movimentos de massa observados no local.

Para a análise de risco para impactos no meio ambiente optou-se por manter a classe de perigo média-baixa (2), e consequências, alterar para residual (1). Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema meio ambiente.

Em relação à impactos no meio socioeconômico manteve-se a classe de consequências em nível residual por não haver ou serem em nível reduzido as perdas financeiras ou constrangimentos para a sociedade para o modo de falha em análise. Portanto, o risco é R1 – RISCO BAIXO (cor verde), para o sistema socioeconômico.

**APÊNDICE C – Modelo de planejamento de campo e procedimento operacional padrão
(POP) para monitoramento de riscos**

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 424/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

1. OBJETIVOS

O objetivo deste procedimento é estabelecer etapas metodológicas para o planejamento e realização do monitoramento de áreas de risco geológico-geotécnico do município de Contagem, Minas Gerais, em concordância com a legislação municipal, estadual e federal no que diz respeito a prevenção de riscos.

2. TERMOS E SIGLAS

POP – Procedimento Operacional Padrão

PMRR – Plano Municipal de Redução de Riscos (CONTAGEM, 2017)

RO – Relatório de Ocorrência

NUPDEC – Núcleos Comunitários de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2017)

GEODESIGN – Estabelecido neste documento como um método para construção de projetos urbanos de forma participativa e interdisciplinar. Para definição específica dos autores ver (STEINITZ, 2016).

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis. Este método está previsto na ISO 31010, como uma ferramenta para gestão de riscos.

NBS – *Nature-based Solutions* (Soluções Baseadas na Natureza) (IPT et AL, 2020)

MONITORAMENTO – Entende-se neste documento como a atividade de verificação espontânea das áreas de risco pela equipe da Defesa Civil, para atualização das análises de risco, com periodicidade anual.

VISTORIAS – Atividade de verificação e análise dos riscos em campo, a qual pode ser motivada pelo monitoramento anual, mas também por demanda da população ou outros setores da sociedade pelo telefone 199, e pelas lideranças dos NUPDECs.

PERIGO OU PERIGOSIDADE – Probabilidade (qualitativa ou quantitativa) de que uma ameaça ou evento danoso ocorra dentro de um determinado período de tempo.

CONSEQUÊNCIAS – Representa perda ou dano potencial dos elementos expostos a partir de análises da exposição, vulnerabilidade e valor dos elementos expostos

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 425/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

SUSCETIBILIDADE – Propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado

RISCO – Resultado de análise qualitativa que considera fatores de perigo versus consequências, tendo como resultado quatro graus: R1- Risco Baixo; R2 – Risco Moderado; R3- Risco alto; R4- Risco Muito alto.

3. EQUIPE E RESPONSABILIDADES

Para a realização do monitoramento das áreas de riscos a seguinte equipe é recomendável:

- 1 Geólogo;
- 1 Engenheiro civil geotécnico;
- 1 Técnico social;
- 1 Profissional de geoprocessamento.

As atividades de campo serão realizadas pelo geólogo, engenheiro civil geotécnico e técnico social. O profissional de geoprocessamento será responsável por tarefas de apoio e escritório.

O profissional da área geológica deve ter experiência em mapeamento de áreas de risco e análises de estabilidade de maciços rochosos. Poderá também ser profissional da geografia física, geomorfologia, engenharia geológica ou áreas afins, desde que com a experiência requerida. É responsabilidade deste profissional:

- a. Planejamento e elaboração do roteiro;
- b. Preenchimento das fichas de análise de risco em campo;
- c. Análise dos resultados e compilação dos resultados em relatórios e planilhas.
- d. Propor ações estruturantes para prevenir, mitigar ou erradicar riscos, a partir de análises de estabilidade;
- e. Privilegiar ações estruturantes e não-estruturantes baseadas na natureza (NSB) (IPT et AL., 2020; TRUONG, 2008).
- f. Passar as diretrizes e métodos para o profissional de geoprocessamento na elaboração de mapas de suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e riscos.
- g. Cooperar com os demais membros da equipe de monitoramento.

O profissional da área de engenharia civil geotécnica deve ter experiência em mapeamento de áreas de risco e análises de estabilidade de maciços terrosos. Recomendável experiência

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 001
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

em projetos de contenção e estabilização de solos, bem como em cálculo estrutural. Poderá também ser profissional da engenharia ambiental, engenharia geológica ou áreas afins, desde que com a experiência requerida. É responsabilidade deste profissional:

- a. Planejamento e elaboração do roteiro;
- b. Preenchimento das fichas de análise de risco em campo;
- c. Análise dos resultados e compilação dos resultados em relatórios e planilhas.
- d. Propor ações estruturantes para prevenir, mitigar ou erradicar riscos, a partir de análises de estabilidade;
- e. Privilegiar ações estruturantes e não-estruturantes baseadas na natureza (NSB) (IPT et AL., 2020; TRUONG, 2008).
- f. Propor diretrizes e ações para diminuição dos riscos construtivos do município.
- g. Cooperar com os demais membros da equipe de monitoramento.

O profissional com responsabilidade de técnico social deve ter experiência em projetos sociais, mobilização social, mediação de conflitos e projetos participativos. Experiência em *Geodesign* é um diferencial. Recomendável experiência em áreas de risco. Poderá ser profissional geógrafo (a), psicólogo (a), biólogo (a), filósofo (a), cientista social, ou áreas afins, desde que com a experiência requerida. É responsabilidade deste profissional:

- a. Comunicar o início dos monitoramentos para lideranças e responsável pela regional;
- b. Elencar possíveis demandas dessas partes para o monitoramento;
- c. Realizar mobilização social para a atividade de monitoramento e apresentação de resultados;
- d. Propor, planejar e realizar atividades não estruturantes a partir dos resultados do monitoramento, como atividades de comunicação de risco, educação ambiental, geração de renda, fomento dos NUPDECs, Defesa Civil nas Escolas;
- e. Propor a implementação e realização de projetos participativos para prevenir, mitigar e erradicar riscos junto às comunidades, preferencialmente aplicando *Geodesign* (STEINITZ, 2016).
- f. Buscar recursos para inventariar os moradores de áreas de risco, e realizar diagnóstico socioeconômico.
- g. Cooperar com os demais membros da equipe de monitoramento.
- h. Fazer a interlocução com comunidades, parceiros internos da prefeitura municipal, e parceiros externos.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 427/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

O profissional com responsabilidade em geoprocessamento deve ter experiência em ArcGis ou QGis, AutoCad, Word e Excel, projetos ambientais e/ou planejamento urbano. Experiência em *Geodesign* é um diferencial. Recomendável experiência em áreas de risco. Poderá ser profissional arquiteto (a), geógrafo (a), geólogo (a) ou áreas afins, desde que com a experiência requerida. É responsabilidade deste profissional:

- a. Elaborar e atualizar os mapas de pontos de ocorrências, mapas de risco e demais cartas temáticas.
- b. Atualizar as planilhas de ocorrências.
- c. Passar as fichas de campo para o *Google Forms* ou Excel.
- d. Colaborar com as informações necessárias para planejamento e elaboração do roteiro de monitoramento.
- e. Compilar os resultados em relatórios, planilhas e apresentações, com apoio dos demais membros da equipe.
- f. Propor ações estruturantes para prevenir, mitigar ou erradicar riscos;
- g. Privilegiar ações estruturantes e não-estruturantes baseadas na natureza (NSB) (IPT et AL., 2020; TRUONG, 2008).
- h. Participar da implementação e realização de projetos participativos para prevenir, mitigar e erradicar riscos junto às comunidades, preferencialmente aplicando *Geodesign* (STEINITZ, 2016).
- i. Cooperar com os demais membros da equipe de monitoramento.

Toda a equipe técnica deverá receber treinamento para a execução deste procedimento, bem como ser coordenada por profissional experiente e habilitado, o qual se encarregará de verificar se as atividades estão sendo realizadas conforme o procedimento estabelecido.

4. ETAPAS METODOLÓGICAS

O monitoramento das áreas de risco deve ser realizado com periodicidade anual, início em abril, logo após o período chuvoso. A aplicação deste POP-001 é no âmbito da Regional Administrativa do município. Portanto, as atividades devem ser realizadas para cada regional, e finalizadas com a apresentação dos resultados para aquela região, com a presença de representantes da prefeitura, lideranças locais e comunidade. Todas as regionais devem ser monitoradas e os resultados apresentados até outubro, início do período chuvoso.

As seguintes etapas são estabelecidas:

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 001
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	Pág.: 428/446
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

- **PLANEJAMENTO** – inclui o estudo prévio das áreas de risco e referências técnicas; preenchimento do roteiro de monitoramento; separação de materiais e equipamentos; comunicação do início do monitoramento para lideranças comunitárias e responsável administrativo da regional.
- **EXECUÇÃO** – informa o que deve ser feito em campo, como se realizar a ronda inicial de reconhecimento da área e monitoramento; as responsabilidades de cada membro da equipe e quais documentos preencher.
- **VERIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS** – inclui a análise das fichas de campo e síntese dos resultados encontrados; atualização das informações em planilhas, relatórios, mapas e apresentações.
- **AÇÕES CORRETIVAS, INFORMATIVAS E MELHORIAS** – inclui as diretrizes para ações futuras a partir do monitoramento, bem como melhorias no processo de monitoramento e nas áreas. Estabelece a atividade de apresentação dos resultados do monitoramento em reunião pública, bem como proposições.

5. PLANEJAMENTO

5.1. ESTUDO PRÉVIO DAS ÁREAS

- a. Definir a região administrativa do município onde terá início o monitoramento.
- b. Realizar o levantamento das áreas e setores de riscos já mapeados pelo PMRR.
- c. A área e os setores escolhidos devem ser estudados previamente a partir dos relatórios do PMRR (CONTAGEM, 2017), e outras referências como CPRM (2012) e outras pesquisas científicas.
- d. Visualizar a área por imagens de satélite para reconhecimento do local e procura de novos pontos de risco potencial.
- e. Fazer o Levantamento das RO's do ano atual e pelo menos dois anos anteriores, por meio de filtro na planilha de acompanhamento de ocorrências já existente.
- f. Realizar a análise comparativa de dados georreferenciados de RO's com as áreas de risco, sobrepondo o mapa de pontos de ocorrências e mapa de riscos em ArCGis ou QGis.
- g. Verificar se há áreas com concentração de pontos de ocorrências que não estejam mapeadas como áreas de risco. Estes locais devem ser vistoriados para analisar necessidade de ampliar setorização de risco.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 429/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

- h. Os membros da equipe de monitoramento devem estar cientes do tipo, gravidade e causas do risco, principalmente para as áreas de risco alto e muito alto.
- i. Realizar breve reunião no dia anterior ao início do monitoramento para:
 - i. Instruir a todos sobre o roteiro de monitoramento e os riscos locais;
 - ii. Instruir a todos sobre o preenchimento da ficha de vistoria.
 - iii. Instruir a todos sobre as moradias que serão vistoriadas nas áreas.

5.2. PREENCHIMENTO DO ROTEIRO DE TRABALHO DE CAMPO

- a. Elaborar Roteiro de Monitoramento conforme ANEXO II – INSTRUÇÃO TÉCNICA PARA ROTEIRO DE MONITORAMENTO, e exemplos no ANEXO III e ANEXO IV. Utilizar o Google Maps ou Google Earth para localização das áreas. O roteiro deve conter:
 - iv. Divisão de áreas e setores de risco.
 - v. Estimativa de quantidade de casas a visitar por meio de imagens aéreas ou inventário social caso já realizado.
 - vi. Lista de algumas moradias ou locais para serem vistoriados em detalhe, com preenchimento da ficha de análise de risco (ver POP 002).
 - vii. Endereço completo das moradias a serem vistoriadas.
 - 1. A escolha das moradias vistoriadas é a partir dos seguintes critérios: i) já possuir ocorrência no local; ii) foi identificado por imagem aérea um risco potencial; iii) haver demanda externa para primeira vistoria no local.
 - viii. Estimativa de tempo necessário para realização do monitoramento da área, levando em conta:
 - 1. Tempo de preparação na sede da Defesa Civil, separação dos materiais e verificação do automóvel, bem como o tempo para a ronda de reconhecimento geral da área;
 - 2. Deslocamento da sede até a área de risco;
 - 3. Tempo médio gasto por equipe, por residência, multiplicado pelo número de moradias a vistoriar;
 - 4. Deslocamento de volta para a base;
 - 5. Tempo médio gasto para organização dos documentos de campo ao chegar na sede da Defesa Civil;
 - 6. Reunião de encerramento, ou agendar a reunião de encerramento para o outro dia, caso não haja tempo útil no mesmo dia. Esta reunião é de síntese de resultados e

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 001
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	Pág.: 430/446
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

- planejamento das próximas etapas. Deve-se colocar a data prevista para término das análises e apresentação para regional.
- ix. Descrição de roteiro detalhado com as ruas a serem visitadas e quais os riscos em cada uma.
 - x. O roteiro deve conter data de cada visita.
 - xi. Nomes dos componentes da equipe.

5.3. SEPARAÇÃO DOS MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

- a. Fazer reserva de veículo e abastecer com combustível no dia anterior.
- b. Providenciar os materiais e equipamentos conforme descritos no ANEXO II.
- c. Providenciar coletes da Defesa Civil para toda a equipe.

5.4. COMUNICAÇÃO DO MONITORAMENTO

- a. Informar as lideranças comunitárias sobre as datas de monitoramento previstas.
- b. Informar os moradores das casas que serão vistoriadas, com antecedência mínima de 7 dias, sobre o monitoramento.

6. EXECUÇÃO

- a. Realizar ronda inicial de reconhecimento da área, se possível de automóvel, ou a pé.
- b. O geólogo, engenheiro e técnico social devem se dirigir para o local da primeira vistoria.
- c. O técnico social apresenta a equipe para o morador, e explica o objetivo da vistoria: prevenção e monitoramento de riscos. Solicita a autorização para a visita e para tirar fotos do local.
- d. Caso o morador não autorize a vistoria, a equipe despede-se.
- e. Após iniciar a vistoria, o geólogo e engenheiro preenchem os seguintes documentos:
 - i. Ficha de análise de risco;
 - ii. Relatório descritivo das características do local, com indicação de coordenadas geográficas e fotos georreferenciadas.
 - iii. Caso necessário, abrir ocorrência (RO) e notificação.
- f. O técnico social dialoga com o morador e preenche a parte inicial da ficha de vistoria com os dados do proprietário e morador. Deve-se também verificar o interesse do morador em participar do NUPDEC.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	Nº 001
		Pág.: 431/446
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

- g. Os modelos e etapas de preenchimento detalhadas da ficha de análise de risco e relatório descritivo são apresentados no POP 002.

7. VERIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

- a. Ao retornar à base, a equipe de monitoramento deve se certificar do preenchimento de todos os formulários.
 - b. Caso a ficha de análise de risco tenha sido preenchida em papel, deverá ser passada para o *Google Forms*, ou Excel, ou Word.
 - c. Para vistorias programadas e não realizadas, o técnico social deve entrar em contato com o morador para reagendamento.
 - d. Os documentos digitais criados a partir dos dados de monitoramento em campo, devem ser armazenados em um drive com os seguintes diretórios:
 - i. Monitoramento
 1. Ano
 1. Regional
 1. Área
 1. Setor
 1. Ficha de análise de risco
 2. Fotos
 3. Relatório
 4. Mapas
- e. O roteiro de monitoramento deve ser armazenado dentro do diretório de cada área.
- f. Deve ser realizada uma reunião de encerramento de atividades do dia com os seguintes objetivos:
 1. Alinhar a percepção da equipe quanto aos riscos observados.
 2. Expor as dificuldades das equipes.
 3. Expor propostas de melhoria.
 4. Expor resultados preliminares.
 5. Dividir tarefas para a próxima etapa, com datas previstas de término.
- f. Os dados obtidos devem ser compilados nas respectivas planilhas e bancos de dados para posterior análise gráfica e estatística bem como elaboração de novos mapas.
- g. Para gestão e apresentação dos dados de riscos deve-se adotar a metodologia *FMEA*, conforme POP-003.
- h. Nessa etapa deve-se elaborar:
 1. Cálculo do risco por ficha de vistoria (POP-002).

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 432/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

2. Apresentação das áreas em uma matriz de risco (perigo x consequências) conforme POP-003.
3. Elaboração de planilha em Excel com síntese das análises de risco (POP-003).
4. Atualização de mapas de ocorrências e risco.
 - i. Realizar reunião interna (com todos os componentes da Defesa Civil) para apresentação da matriz de risco e planilha FMEA com resultados de todas as áreas.
 - j. Discutir os riscos em equipe e avaliar alterações.

8. AÇÕES CORRETIVAS, INFORMATIVAS E MELHORIAS

- a. Após o término do monitoramento de uma regional, deve-se realizar uma apresentação de resultados para a comunidade, lideranças comunitárias, representantes da prefeitura, com o seguinte conteúdo:
 1. Volume em formato de texto contendo:
 1. Memorial descritivo do monitoramento organizado por área e subdividido em setores;
 2. Análise comparativa com PMRR;
 3. Cadastramento de moradores em áreas de risco.
 2. Carta de risco atualizada.
 3. Apresentação em *Power Point*, com indicação de boas práticas para prevenção de riscos no período chuvoso que se aproxima.
- b. Após o término do monitoramento das 8 regionais de Contagem deve-se gerar um relatório conclusivo com os resultados de todo o trabalho.

9. NORMAS E REFERÊNCIAS APLICÁVEIS

BRASIL, 2012. Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 10 abr. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BRASIL, 2017. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Prevenção e Preparação. Módulo de formação: noções básicas em proteção e defesa civil e em gestão de riscos: livro base / Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Minimização de Desastres. - Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 433/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

CONTAGEM, 2013. Lei nº 4623, de 15 de outubro de 2013. Cria o Conselho Municipal de Proteção e Defesa Civil, institui o Fundo Municipal de Proteção e Defesa Civil e dá outras providências.

CONTAGEM, 2017. Fundação Israel Pinheiro (2017). Plano Municipal de Redução de Risco PMRR CONTAGEM - MG - 2a Etapa: Elaboração do Mapeamento das áreas de risco geológico. Governo do Estado de Minas Gerais, Ministério das Cidades, 598 p.

CONTAGEM, 2018. Decreto Nº 459, de 28 de março de 2018. Dispõe sobre a estrutura organizacional da Secretaria Municipal de Defesa Social, as competências e atribuições de suas unidades, as definições e normas sobre seu quadro de pessoal e cargos e dá outras providências. “Artigo VI - propor normas, planos e procedimentos que visem à prevenção, socorro e assistência à população e recuperação de áreas de risco ou de áreas atingidas por desastres”.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e inundação. 2012. In: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos-4138.html>. Acesso em abril de 2017.

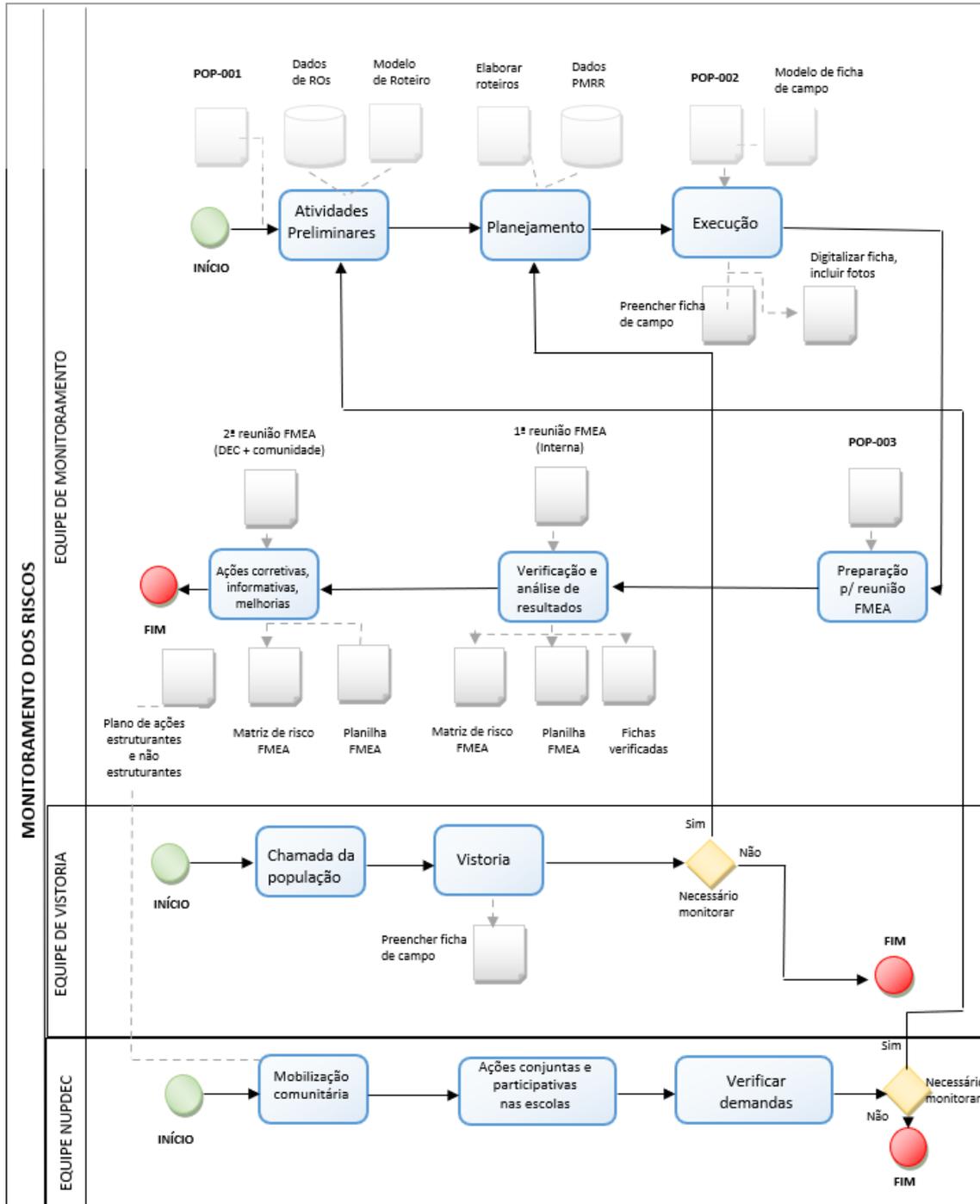
IPT & et AL., 2020. Guia metodológico para implantação de infraestrutura verde [livro eletrônico] / organizadora Maria Lucia Solera]. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas – FIPT, 2020.

STEINITZ, Carl. Um Framework para o Geodesign: alterando a geografia através do design. Redlands, California: ESRI Press, 2016. (Tradução: Ana Clara Mourão Moura, Revisão: Patrícia Finelli). Disponível no site Laboratório de Geoprocessamento - Escola de Arquitetura - UFMG: <https://geoproea.arq.ufmg.br/publicacoes/2016/um-framework-para-o-geodesign-alterando-a-geografia-atraves-do-design>. PDF direto para download [AQUI](#).

TRUONG, Paul; TAN VAN, Tran; PINNERS, Elise. 2008. Sistema de aplicação Vetiver. Manual de referência técnica. Comprovadas Soluções Verde para o Meio-Ambiente. Segunda Edição (a cores). Traduzido por Paulo R. Rogerio.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 434/446
Aprovado por: xxx	Rev.: 00	Data: 18/10/21

ANEXO I – FLUXOGRAMA DE MONITORAMENTO



Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 435/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

ANEXO II – INSTRUÇÃO TÉCNICA PARA ELABORAÇÃO DO ROTEIRO DE MONITORAMENTO

A seguir, o modelo de quadro de apresentação do roteiro de monitoramento.

IDENTIFICAÇÃO DO ROTEIRO	
Freguesia/bairro: Área ou Taludes:	Data do último monitoramento: Data do presente monitoramento: Equipe:
DESCRIÇÃO DO ÚLTIMO MONITORAMENTO OU CONHECIMENTOS PRÉVIOS	
<p>Área X ou Talude X: Condicionantes: Fatores predisponentes: Possíveis agentes deflagadores (gatilhos): Descrição dos processos e cenários possíveis de ocorrer: Descrição de fotos obtidas no local e outras observações: Estimativa de nº de edificações no setor: Grau de Perigo: Grau de Consequências: Grau de risco: Indicação de intervenção e/ou medidas preventivas:</p>	
DETALHAMENTO DO ROTEIRO	
<p>Incluir imagem do Google com indicação dos pontos de parada, caminhamento, e caso já definidos, os taludes a serem avaliados. Usar o aplicativo Google Maps ou modo similar.</p>	

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 001
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	Pág.: 436/446
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

1. Preparação na base da Proteção Civil	Xx	Minutos
2. Deslocamento até área a ser monitorada de carro	Xx	Minutos
3. ...	Xx	Minutos
Tempo Total:	xxx	Minutos, xx horas, e xx minutos
MATERIAIS		
<ul style="list-style-type: none"> • Roteiro impresso ou com acesso pelo celular ou tablet; • ... 		

A seguir o detalhamento das informações citadas no modelo de roteiro proposto:

- **Identificação do roteiro:** nome que indique o local, bairro (freguesia), datas de monitoramentos anteriores, equipe de campo, pontos de referência ou nomes dos taludes a serem visitados caso sejam conhecidos.
- **Descrição do último monitoramento ou conhecimento prévio das áreas:** para áreas ainda não visitadas, o preenchimento destes dados foi realizado a partir de análise de mapas temáticos apresentados em PORTO (2020), PORTO (2018), PORTO (2003), PMRR (2017). Para taludes já conhecidos, a descrição foi realizada a partir de dados do último monitoramento além das análises de cartas temáticas. Os seguintes itens fazem parte do roteiro:
 - **Condicionantes:** listar os condicionantes geológico-geotécnicos como estruturas reliquias da rocha de origem (foliações, fraturas, falhas), solos de baixa resistência, solos de alta compressibilidade; solos com alta suscetibilidade à erosão, declividade e/ou amplitude acentuada, concavidade da encosta que possibilita concentração de caminhos preferenciais de escoamento de água superficial, elevado nível freático, além de outras condicionantes fisiográficas e associadas às infraestruturas, as quais foram identificadas na etapa de estabelecimento do contexto e situação de referência.
 - **Fatores predisponentes:** listar fatores que podem predispor o talude a um movimento de massa, como por exemplo, desconfinamento da base, cortes verticalizados, acúmulo de água na crista, fendas de tração preenchidas por água ou não, trincas na crista ou na face ou em bermas intermediárias, vegetação concentradora de água em suas raízes, aterros e construções na crista, incidência de processos erosivos, presença de cicatrizes de ruptura pretéritas, dentre outros.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 437/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

- Agentes deflagadores (gatilhos): chuvas intensas com aumento do grau de saturação do talude, rompimento de tubulação de água ou esgoto sob o talude, quedas de árvores de grande porte levando parte do talude, elevação brusca do nível de água subterrâneo, inundação da face do talude, sismos, dentre outros.
- Descrição dos processos e cenários possíveis de ocorrer: identificar os processos possíveis como escorregamento planar, cunha, rotacional, complexo (detalhar), corrida de tálus, detritos, erosão que desencadeia escorregamento, deslizamento associado a queda de muro, dentre outros.
- Descrição de fotos ou observações gerais: descrever a ocupação da crista e da base da encosta, a área de entorno e sua urbanização, se há sistema formal de drenagem superficial, se área de circulação elevada de pedestres, dentre outros.
- Nº de edificações na área: citar aquelas que podem ser impactadas direta ou indiretamente por um deslizamento.
- Grau de perigo de movimento de massa: indicar para taludes avaliados anteriormente.
- Grau de consequências: indicar para taludes avaliados anteriormente.
- Grau de risco: indicar para taludes avaliados anteriormente.
- Indicação de Intervenção: medidas relativas à drenagem superficial, proteção superficial do talude, monitoramento com visitas periódicas ou instrumentos instalados em campo, estruturas de contenção.

➤ Detalhamento do roteiro:

- Indicar o meio de transporte para chegar até a área de estudo.
- Definir local para estacionar.
- Marcar o caminhamento proposto para o monitoramento em texto e se possível na imagem de satélite. O aplicativo livre *Google Maps* e/ou *Google Earth* foi utilizado no planejamento do roteiro.
- Incluir a imagem de satélite com indicação das paradas.
- Indicar previsão de tempo gasto em cada etapa do trabalho de campo.

➤ Materiais:

- Roteiro impresso e/ou com acesso pelo celular ou tablet;
- Fichas de avaliação de risco em branco (perigo e consequências) para preenchimento manual em campo, ou ficha a ser preenchida pelo celular ou tablet em formulários eletrônicos com acesso à internet;

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 001	
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução		
	Elaborado por: Luciene Menezes		Pág.: 438/446 Rev.: 00
	Aprovado por: xxx		Data: 18/10/21

- Caderneta de anotações, lápis ou caneta, borracha.
- Plano de internet para consultas a mapas temáticos essenciais para as avaliações de risco, e documentos a serem preenchidos em campo.
- Celular ou tablet com acesso à internet para geolocalização e visualização de documentos. Podem ser utilizados também para a marcação das coordenadas geográficas do roteiro pelo *Google Maps* ou aplicativos similares. Deve-se ir a campo com bateria dos equipamentos em 100%.
- Carregador extra de celular ou tablet.
- E/ou GPS para marcação das coordenadas geográficas do roteiro.
- Trena digital para obtenção de distâncias, ângulos de inclinação do talude. Em Contagem, não havia este equipamento disponível. Foi utilizada trena comum em alguns casos, e outros, estimativas.
- Picareta pequena de ponta dupla, sendo uma pontiaguda e outra achatada para pequenas escavações (sacho). O martelo de geólogo pode ser optativo, já que taludes em solo que estão sendo avaliados, bem como o martelo de Schmidt para medida da força de compressão para correlacionar com grau de alteração do maciço rochoso.
- Máquina fotográfica ou celular com câmera de resolução satisfatória.
- Plásticos para proteger documentos da chuva e acondicionar pequenas amostras para identificação visual e tátil do material seco.
- Objetos pessoais: pelo menos 1 litro de água fresca para beber, para deslocamentos de meio período do dia, lanches rápidos como barra de cereais e biscoitos.
- 1 litro de água a mais para identificação visual e tátil do solo em campo.
- Equipamentos de segurança: chapéu, botas, protetor solar com fator FPS 30 ou superior, repelente de insetos, capa de chuva. E se em local de risco quanto a picadas de animais peçonhentos avaliar a utilização de perneira.

Obs.: Os equipamentos de proteção individual são sugestões desta pesquisa. Para uso futuro, devem ser revisados conforme normas da Proteção Civil e/ou empresa executora do monitoramento de risco.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 439/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

ANEXO III – EXEMPLO DE ROTЕIRO DE CAMPO – VILA BASTILHA, CONTAGEM.

ROTEIRO ÁREA 58 – VILA DA BASTILHA	
Regional: Vargem das Flores Área ou Taludes: Área 58, Vila da Bastilha.	Data do último monitoramento: PMRR, 2017 Data do presente monitoramento: 18/06/2018 Equipe: Luciene Menezes, Vagner (Defesa Civil), Marina e Arthur (extensionistas).
DESCRIÇÃO DO ÚLTIMO MONITORAMENTO (PMRR, 2017) e/ ou CONHECIMENTOS PRÉVIOS	
<p>Setor S1-R3 DES: Condicionantes, fatores predisponentes e deflagradores: Cortes verticalizados, inclinação e amplitude elevados da encosta, desconfinamento da base. Indicativos: Cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, trincas no terreno. Descrição do Processo de Instabilização: Deslizamento de solo. Observações: Ocupação da crista e da base da encosta. A área no entorno da Vila é urbanizada minimizando a contribuição e o direcionamento do escoamento superficial, bem como a progressão dos processos geodinâmicos. Grau de Probabilidade: Alto (R3) Estimativa de nº de edificações no setor: 7 Indicação de intervenção: - Evitar o lançamento de água e esgoto diretamente na encosta através da inserção de calhas nos domicílios instalados na crista do talude e canalização adequada do esgotamento sanitário e lançamento de água servida. - Manter a proteção superficial vegetal existente na encosta com exceção das bananeiras - Monitoramento do local - Estruturas de contenção.</p> <p>Setor S2-R2 DES: Condicionantes: Cortes verticalizados na base, inclinação e amplitude elevados da encosta. Indicativos: Cicatrizes de deslizamento pretéritas. Descrição do Processo de Instabilização: Deslizamento de solo. Observações: Ocupação da crista e da base da encosta. A área no entorno da Vila é urbanizada minimizando a contribuição e o direcionamento do escoamento superficial, bem como a progressão dos processos geodinâmicos. Grau de Probabilidade: Médio (R2) Estimativa de nº de edificações no setor: 5 Indicação de intervenção: - Evitar o lançamento de água e esgoto diretamente na encosta através da inserção de calhas nos domicílios instalados na crista do talude e canalização adequada do esgotamento sanitário e lançamento de água servida. - Serviço de limpeza com a remoção das bananeiras - Contenção em gabião: 11,0 x 2,0m - Monitoramento do local.</p> <p>Setor S3-R2 DES: Condicionantes: Cortes verticalizados, estruturas deformadas. Indicativos: Cicatrizes de deslizamento, ruptura parcial de muro. Descrição do Processo de Instabilização: Deslizamento de solo e aterro. Observações: Ocupação da base da encosta. A área no entorno da Vila é urbanizada minimizando a contribuição e o direcionamento do escoamento superficial, bem como a progressão dos processos geodinâmicos.</p>	

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 440/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

Grau de Probabilidade: Médio (R2)

Indicação de intervenção: Contenções: (2x) 12,0 x 2,5m

Estimativa de nº de edificações no setor: 2

Setor S4-R3 DES:

Condicionantes: Cortes verticalizados, inclinação e amplitude elevados da encosta.

Desconfinamento da base. Infraestrutura precária.

Indicativos: Cicatrizes de deslizamento, feições Erosivas, trincas no terreno.

Descrição do Processo de Instabilização: Deslizamento de solo.

Observações: Ocupação da crista e da base da encosta. A área no entorno da Vila é urbanizada minimizando a contribuição e o direcionamento do escoamento superficial, bem como a progressão dos processos geodinâmicos. Soma-se a isto a vegetação de porte médio e adensamento da mesma, protegendo a encosta.

Grau de Probabilidade: Alto (R3)

Indicação de intervenção:

- Remoção do domicílio.
- Serviço de limpeza: remoção das bananeiras.
- Recomposição da cobertura vegetal.
- Orientação aos moradores quanto à não execução de cortes na encosta evitando assim o desconfinamento do talude.
- Monitoramento do local.

DETALHAMENTO DO ROTEIRO

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

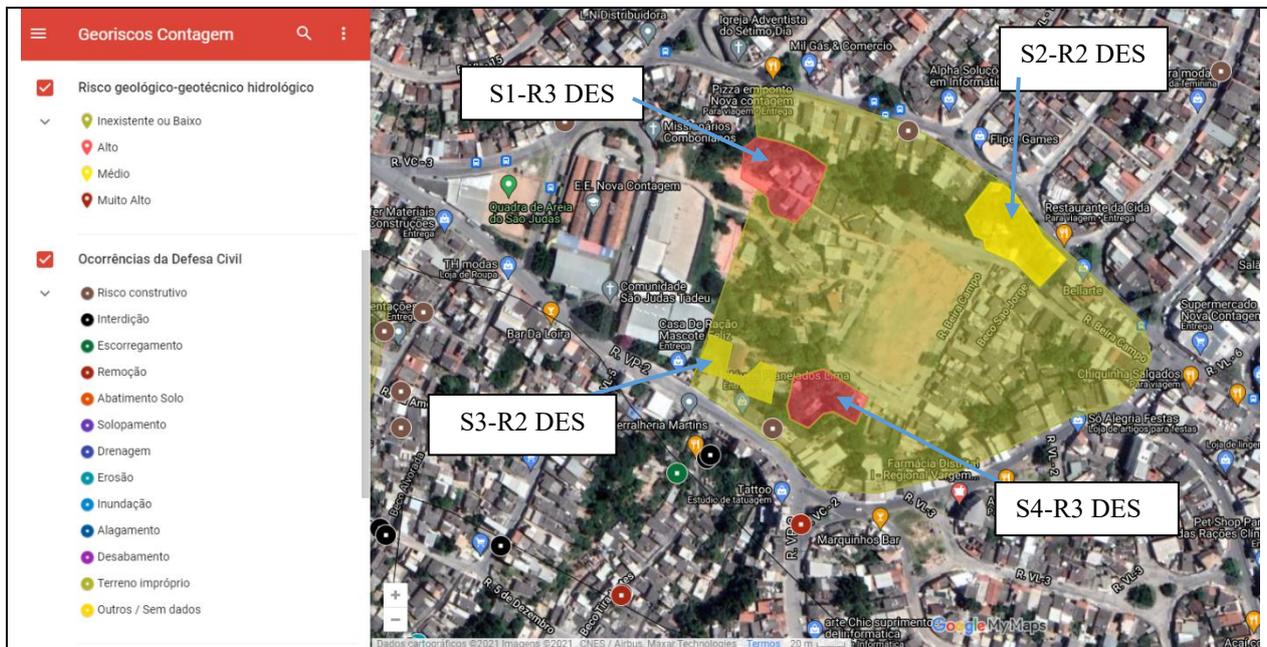


Figura Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento..1- Imagem da tela do Georiscos Contagem com áreas de risco da Vila Bastilha (Adaptado de PMRR, 2017)

1. Tempo de preparação na base da Defesa Civil, na Rua Vereador David De Oliveira Da Costa, Contagem.	10	Minutos
2. Deslocamento da Defesa Civil até a R. Beira Campo, Nova Contagem.	28	Minutos
3. Tempo de ronda para reconhecimento do local, de carro.	10	Minutos
4. Tempo de monitoramento das moradias e setores. Estacionar na R. Beira Campo e caminhar até o S3-R2 DES e S4-R3 DES. Voltar para o carro e se deslocar até a R. VP-2. Estacionar e vistoriar à pé os setores S2-R2 DES e S1-R3 DES.	180	Minutos
5. Retorno até a Defesa Civil	28	Minutos
6. Reunião para organização das informações de campo e relato das ocorrências, com providências se necessário, como acionar outros órgãos.	40	Minutos
TOTAL ROTEIRO PERÍODO MANHÃ	5h e 33	Minutos

MATERIAIS	
<ul style="list-style-type: none"> Roteiro impresso ou com acesso pelo celular ou tablet; 	<ul style="list-style-type: none"> Picareta pequena de ponta dupla, sendo uma pontiaguda e outra achatada para pequenas escavações (sacho). O martelo de geólogo pode ser optativo, já que taludes em solo que

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	Nº 001
		Pág.: 442/446
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

<ul style="list-style-type: none"> • Fichas de avaliação de risco em branco para preenchimento manual em campo, ou pelo celular ou tablet em formulários via internet; • Caderneta de anotações, lápis ou caneta, borracha. • Plano de internet para consultas a mapas temáticos essenciais para as avaliações de risco, e documentos de análise de risco. • Celular ou tablet com acesso à internet para geolocalização e consultas, marcação das coordenadas geográficas do roteiro pelo google maps ou aplicativos similares. Deve-se ir a campo com bateria dos equipamentos em 100%. • Carregador extra de celular ou tablet. • E/ou GPS para marcação das coordenadas geográficas do roteiro. • Trena digital para obtenção de distâncias, ângulos de inclinação do talude. Bússola optativa, pois taludes em solo, mas indicada para determinar direção e mergulho de descontinuidades em saprolito. 	<p>estão sendo avaliados, bem como o martelo de Schmidt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Máquina fotográfica ou celular com câmera de resolução satisfatória. • Plásticos para proteger documentos da chuva e acondicionar pequenas amostras. • Objetos pessoais: pelo menos 1 litro de água fresca para beber para deslocamentos de meio período do dia, lanches rápidos como barra de cereais e biscoitos). • Equipamentos de segurança: chapéu, botas, protetor solar com fator FPS 30 ou superior, repelente de insetos, capa de chuva. E se em local de risco quanto a picadas de animais peçonhentos avaliar a utilização de perneira. <p>Obs.: Os EPIs e materiais são sugestões, e devem ser revisados conforme normas da Proteção Civil e/ou empresa executora do monitoramento de risco, e disponibilidade de equipamentos e materiais.</p>
--	--

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planeamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 443/446
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

ANEXO IV – EXEMPLO DE ROTEIRO DE CAMPO – CAMPANHÃ, PORTO.

ROTEIRO 1: VALE DO RIO TINTO E ENTORNO NA FREGUESIA DE CAMPANHÃ	
Freguesia: Campanhã Área ou Taludes: Parque Oriental, Rua do Freixo, Alameda de Cartes e Rua Virgínia Moura.	Data do último monitoramento: Não identificado Data do presente monitoramento: 19/11/2020 Equipe: Luciene Menezes (em 19/11/2020 somente Luciene. Após essa data, a Rita Borges da Proteção Civil foi a campo com Luciene novamente nos dias 21/12/20 e 19/01/21)
DESCRIÇÃO DO ÚLTIMO MONITORAMENTO OU CONHECIMENTOS PRÉVIOS	
<p>Parada 1: Área do Parque Oriental: As características descritas foram obtidas a partir da análise de cartas temáticas e referências bibliográficas (PORTO, 2020; PORTO 2018; PORTO, 2003), pois não foi encontrada informação de monitoramento prévio nos locais.</p> <p>Condicionantes: Área em unidades geotécnicas associadas a solos residuais de xisto grauváquico e maciço rochoso com diferentes graus de alteração, presença de descontinuidades com atitude de xistosidade principal em N20W a N40W; 50E a subvertical. Observar depósitos de colúvio/alúvio nas margens do Rio Tinto e processos erosivos.</p> <p>Fatores predisponentes: Declividade natural acentuada ou cortes nos taludes, principalmente acima de 50 graus, ou cortes na base que expõem a foliação podem predispor escorregamentos; verificar falta de drenagem, acúmulo de água na crista, fendas de tração, trincas, vegetação de grande porte e que concentra água, trincas, cicatrizes de ruptura, sobrecarga/construções na crista ou pé para solos associados a xistos. Para colúvio e alúvio, verificar inclinação acentuada e textura arenosa.</p> <p>Possíveis agentes deflagadores (gatilhos): Chuva, inundação, e/ou vazamentos em rede de água ou esgoto podem desencadear processos da dinâmica superficial nesta área.</p> <p>Descrição dos processos e cenários possíveis de ocorrer: Para solos residuais de xisto grauváquico, principalmente em vertentes viradas para leste devido à atitude principal da foliação, pode ocorrer escorregamentos planares ou plano circulares quando em espessuras maiores de solo residual sobre saprolito ou rocha. Para colúvios e alúvios, processos erosivos e ações antrópicas como cortes podem ocasionar escorregamentos.</p> <p>Descrição de fotos e imagens obtidas no local e outras observações: Sem fotos pretéritas.</p> <p>Estimativa de nº de edificações no setor: A partir de contagem de moradias visualizadas nas ortofotos de 2017, e sobreposição da carta de riscos do PDM (https://geopdm.cm-porto.pt/pocrn), no vale do Rio Tinto dentro do Parque Oriental foram identificadas próximo de 40 construções (moradias ou outras) na área norte do Parque Oriental; e em direção à entrada sul do Parque Oriental até a rotunda do Freixo, próximo de 20 construções, por vezes espaçadas. Números estimados, sendo necessário o levantamento cadastral para número exato de construções.</p> <p>Grau de Probabilidade: Não obtido previamente.</p> <p>Grau de Gravidade: Não obtido previamente.</p> <p>Grau de risco: Não obtido previamente.</p> <p>Indicação de intervenção e/ou medidas preventivas:</p>	

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	001
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

O Parque Oriental passou por recente obra de requalificação ambiental e constitui área interesse (Unidade Operativa de Planejamento e Gestão - UOPG 12) dentro do Plano Diretor (PORTO, 2020).

Parada 2: Rua do Freixo com Bacelos:

Talude identificado como área de instabilidade em PORTO, 2020 baseado em PORTO, 2003; Mesma unidade geotécnica identificada para a Parada 1.

Parada 3: Alameda de Cartes:

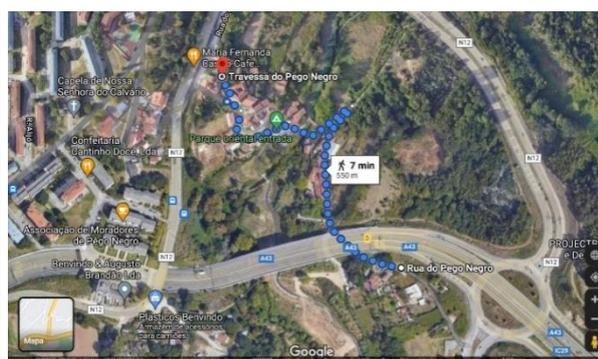
A partir da análise da carta geotécnica do Porto (PORTO, 2003), observou-se que o contato da unidade geotécnica dos xistos grauváquico com granito e cobertura em colúvio, passa pela Alameda de Cartes. Por isso a escolha do caminho, além das declividades acentuadas observadas na caracterização biofísica (PORTO, 2018).

Parada 4: Rua Virgínia Moura:

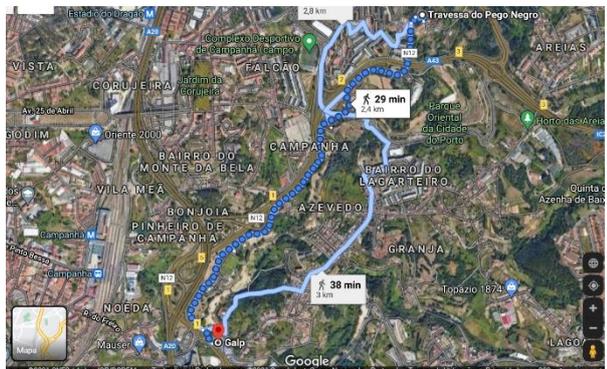
Além de ter maiores altitudes, observou-se na carta geotécnica áreas de aterro a serem visitadas.

DETALHAMENTO DO ROTEIRO

PARADA 1: Parque Oriental

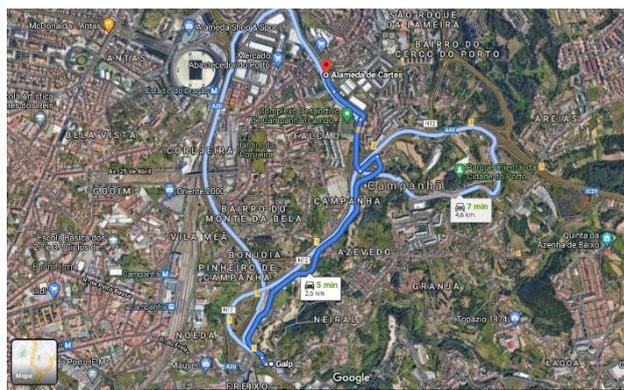


PARADA 2: Rua do Freixo com Bacelo



Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 001
	Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	Pág.: 445/446
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

PARADA 3: Alameda De Cartes



PARADA 4: R. Virgínia Moura



1. Saída da Prelada até Rua do Pego Negro de carro em direção à Parada 1 (10,4 km)	13	Minutos
2. Início da observação de possíveis taludes em risco, a pé até Travessa do Pego Negro	7	Minutos
3. Observação fotos de taludes pelo caminho	20	Minutos
4. Caminhada da Travessa do Pego Negro até entrada sul do Parque Oriental. Na imagem, apresenta-se a rota externa ao parque pela Circunvalação, para estimar o tempo. Contudo, o trajeto realizado foi por trilha interna do parque.	29	Minutos
5. Fotos e análises de taludes pelo caminho	30	Minutos
6. Deslocamento para a Parada 2, na Rua do Freixo com Bacelos, a pé.	8	Minutos
7. Fotos e verificação dos taludes da área.	30	Minutos
TOTAL ROTEIRO PERÍODO MANHÃ (Parada 1 e 2)	2h e 17	Minutos
8. Almoço.	60	Minutos
9. De carro, ir das proximidades da Rotunda do Freixo até a Alameda de Cartes c/ Rua São Roque da Lameira, para a Parada 3	10	Minutos
10. Observar os taludes da N12 e demais no caminho, e tirar fotos	10	Minutos
11. Parar e observar taludes de rocha e solos na Alameda de Cartes quase esquina com São Roque da Lameira.	20	Minutos
12. De carro, ir para a Rua Virgínia Moura com Nau Vitória, para a Parada 4	5	Minutos
13. Caminhar no quarteirão da Rua Virgínia Moura/Nau vitória/Rua Doutor Corino de Andrade. Observar os taludes de solo, aterro e rocha.	60	Minutos
TOTAL ROTEIRO PERÍODO TARDE (Parada 3 e 4)	2h e 45	Minutos

MATERIAIS

<ul style="list-style-type: none"> Roteiro impresso ou com acesso pelo celular ou tablet; 	<ul style="list-style-type: none"> Picareta pequena de ponta dupla, sendo uma pontiaguda e outra achatada para pequenas escavações (sacho). O martelo de geólogo pode ser optativo, já que taludes em solo que estão
--	---

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução	Nº 001
		Pág.: 446/446
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

<ul style="list-style-type: none"> • Fichas de avaliação de risco em branco para preenchimento manual em campo, ou pelo celular ou tablet em formulários via internet; • Caderneta de anotações, lápis ou caneta, borracha. • Plano de internet para consultas a mapas temáticos essenciais para as avaliações de risco, e documentos de análise de risco. • Celular ou tablet com acesso à internet para geolocalização e consultas, marcação das coordenadas geográficas do roteiro pelo google maps ou aplicativos similares. Deve-se ir a campo com bateria dos equipamentos em 100%. • Carregador extra de celular ou tablet. • E/ou GPS para marcação das coordenadas geográficas do roteiro. • Trena a laser para obtenção de distâncias, ângulos de inclinação do talude. Bússola optativa, pois taludes em solo, mas indicada para determinar direção e mergulho de discontinuidades em saprolito. 	<p>sendo avaliados, bem como o martelo de Schmidt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Máquina fotográfica ou celular com câmera de resolução satisfatória. • Plásticos para proteger documentos da chuva e acondicionar pequenas amostras. • Objetos pessoais: pelo menos 1 litro de água fresca para beber para deslocamentos de meio período do dia, lanches rápidos como barra de cereais e biscoitos). • Equipamentos de segurança: chapéu, botas, protetor solar com fator FPS 30 ou superior, repelente de insetos, capa de chuva. E se em local de risco quanto a picadas de animais peçonhentos avaliar a utilização de perneira. <p>Obs.: Os EPIs são sugestões, e devem ser revisados conforme normas da Proteção Civil e/ou empresa executora do monitoramento de risco.</p>
--	---

**APÊNDICE D – Modelo de ficha de campo e procedimento operacional padrão (POP)
para preenchimento**

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	002
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 448/470
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

1. OBJETIVOS

O objetivo deste procedimento é indicar como a ficha de campo de análise de risco (perigo x consequências) deverá ser preenchida, e quais os critérios para obtenção das informações no campo, quando em vistorias de monitoramento. Ao final do preenchimento da ficha e análise das informações deve-se indicar o grau de risco de R1 a R4.

2. TERMOS E SIGLAS

POP – Procedimento Operacional Padrão

PMRR – Plano Municipal de Redução de Riscos (CONTAGEM, 2017)

RO – Relatório de Ocorrência

NUPDEC – Núcleos Comunitários de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2017)

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis. Este método está previsto na ISO 31010, como uma ferramenta para gestão de riscos.

MONITORAMENTO – Entende-se neste documento como a atividade de verificação espontânea das áreas de risco pela equipe da Defesa Civil, para atualização das análises de risco, com periodicidade anual.

VISTORIAS – Atividade de verificação e análise dos riscos em campo, a qual pode ser motivada pelo monitoramento anual, mas também por demanda da população ou outros setores da sociedade pelo telefone 199, e pelas lideranças dos NUPDECs.

PERIGO OU PERIGOSIDADE – Probabilidade (qualitativa ou quantitativa) de que uma ameaça ou evento danoso ocorra dentro de um determinado período de tempo.

CONSEQUÊNCIAS – Representa perda ou dano potencial dos elementos expostos a partir de análises da exposição, vulnerabilidade e valor dos elementos expostos

SUSCETIBILIDADE – Propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado

RISCO – Resultado de análise qualitativa que considera fatores de perigo versus consequências, tendo como resultado quatro graus: R1- Risco Baixo; R2 – Risco Moderado; R3- Risco alto; R4- Risco Muito alto.

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 449/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

POP-001. Procedimento Operacional Padrão. Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução, inclusive, neste documento, se apresenta os materiais necessários para o preenchimento da ficha em campo.

POP-003. Procedimento Operacional Padrão. Gestão de Riscos – Método FMEA, que será aplicado após os trabalhos de campo, e preenchimento das fichas de risco.

4. EQUIPE E RESPONSABILIDADES

Para a realização da análise de riscos, por meio da aplicação da ficha de campo, a seguinte equipe é recomendável:

- 1 Geólogo;
- 1 Engenheiro civil geotécnico;
- 1 Técnico social;
- 1 Profissional de geoprocessamento.

As atividades de campo serão realizadas pelo geólogo, engenheiro civil geotécnico e técnico social. O profissional de geoprocessamento será responsável por tarefas de apoio e escritório.

As habilidades requeridas para a equipe estão indicadas no POP-001- Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução, bem como as responsabilidades de cada um.

Toda a equipe técnica deverá receber treinamento para a execução deste procedimento, bem como ser coordenada por profissional experiente e habilitado, o qual se encarregará de verificar se as atividades estão sendo realizadas conforme o procedimento estabelecido.

5. COMPONENTES DA FICHA DE CAMPO

Durante o monitoramento, atividade descrita no POP-001, a equipe deve preencher a ficha de campo para análise de risco. O modelo desta ficha está apresentado no ANEXO I. O preenchimento pode ser manual ou com a utilização de *tablets* e preenchimento do arquivo digital da ficha. Este documento possui 4 páginas e a organização dos dados contempla cinco partes principais:

- **PARTE 1 – DESCRIÇÃO** – Esta é a etapa mais descritiva da ficha de campo, que irá embasar o preenchimento dos parâmetros de perigo e consequências para a classificação de riscos, além de dados gerais. Inclui o preenchimento dos dados do morador ou da pessoa ou entidade que solicitou a vistoria, o endereço completo georreferenciado, e demais informações básicas da vistoria. Também se descreve os

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP Análise de Riscos – Ficha de Campo	Nº 002
		Pág.: 450/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

tipos de processos da dinâmica superficial que atuam no local, as condicionantes geológico-geotécnicas e hidrológicas, os indícios de instabilidade, histórico de ocorrências e aspectos relacionados às consequências, como vulnerabilidade construtiva.

- **PARTE 2 – FOTOS** – Esta etapa deve ser iniciada em campo e finalizada no escritório. As fotos devem demonstrar as características avaliadas nas tabelas de perigo e consequências. É recomendável utilizar aplicativos como o Google Fotos, ou similar, para georreferenciar as imagens. Quando em escritório, inseri-las na ficha de campo digital e descrever as imagens.
- **PARTE 3 – FICHA DE PERIGO** – Consiste na marcação de pontos para cada parâmetro de perigo da tabela, e realizar o somatório dos pontos para enquadramento em classes.
- **PARTE 4 – FICHA DE CONSEQUÊNCIAS** - Consiste na marcação de pontos para cada parâmetro de consequências da tabela, e realizar o somatório dos pontos para enquadramento em classes.
- **PARTE 5 – MATRIZ DE RISCO** - Consiste na indicação da classe de risco do local analisado, a partir dos resultados de perigo e consequências.

6. PARTE 1 – DESCRIÇÃO

6.1. DADOS GERAIS

- a. Anotar o nome do morador, ou do solicitante da vistoria, por exemplo, quando o local da vistoria não se tratar de moradia.
- b. Solicitar o número de CPF ou documento de identidade e informar ao morador que estas informações serão armazenadas somente nas bases internas da Defesa Civil.
- c. Caso o morador não tenha telefone, solicitar algum telefone de contato próximo, ou e-mail.
- d. Anotar o endereço completo: rua, número, apto, bairro, regional, município.
- e. Indicar a numeração da área de risco, caso já possua uma denominação segundo o PMRR, 2017. Ex.: A58-S1 (Área 58, Vila Bastilha, Setor de risco 1).
- f. Indicar a data da vistoria e qual o motivo da vistoria. Ex.: monitoramento, abertura de chamada pelo 199, solicitação de outros órgãos internos da prefeitura, dos NUPDECs.
- g. Obter as coordenadas do local, preferencialmente em UTM, por meio de GPS, ou em caso desse equipamento não estar disponível, utilizar aplicativos para celular que forneçam as coordenadas.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP Análise de Riscos – Ficha de Campo	Nº 002
		Pág.: 451/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

- h. Anotar pontos de referência, por exemplo, 1º beco à esquerda após o posto de saúde.

6.2. SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

- a. Marcar se a área em análise está localizada em encosta ou margem de córrego.
- b. Identificar quais processos estão presentes no local. Primeiramente se movimentos de massa ou se transporte de massa, ou os dois. E também processos hidrológicos.
 - i. Movimentos de massa: identificar o processo conforme classificação apresentada no ANEXO II, e conceitos de VARNES (1978). Indicar qual material envolvido: solo, rocha ou detritos.
 - ii. Transporte de massa: identificar se erosão laminar ou linear (sulcos, ravinas e voçorocas), segundo ALMEIDA FILHO (2014).
 1. Erosão laminar: escoamento difuso, em lençol. Não é possível observar incisões no solo.
 2. Erosão linear: são observadas incisões.
 - a. Sulcos: feições erosivas com profundidades até 50cm;
 - b. Ravinas: profundidade maior que 50 cm, alongadas, perfil transversal próximo de um “V”, com paredes sujeitas a escorregamentos, quedas, desmoronamentos.
 - c. Voçorocas: interceptam o nível freático, tendo uma combinação de efeitos da percolação superficial e subsuperficial, movimentos de massa e processos erosivos atuantes, seção transversal próximo de “U”, e maiores dimensões que ravinas.
 - iii. Processos hidrológicos:
 1. Enchente: elevação temporária do nível d’água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga.
 2. Inundação: extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio.
 3. Alagamento: acúmulo de água devido à deficiência do sistema de drenagem. Pode estar associado a cursos de água ou não.

6.3. DESCRIÇÃO DOS CONDICIONANTES E INDÍCIOS DE INSTABILIDADE

- a. Condicionantes: descrever de forma sucinta o que foi visualizado em termos de altura do talude, inclinação, condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso, cobertura

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 452/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

superficial benéfica ou não, condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos. Esta etapa descritiva vai subsidiar o preenchimento da tabela de perigo.

- b. Indícios de instabilidade: descrever os indícios, como trincas no terreno, grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto, árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular), degrau de abatimento, cicatriz de deslizamento.
- c. Histórico de ocorrências: essa informação deve ser obtida anteriormente à vistoria, por meio de pesquisa na base de dados de ROs da Defesa Civil, e também perguntar para o morador se tem conhecimento de algum evento danoso no local.

6.4. CARACTERÍSTICAS DA MORADIA E OUTRAS VULNERABILIDADES

- a. Moradia: preencher a ficha com as características da moradia conforme ficha do ANEXO I e indicar necessidade de ação por parte do morador para mitigar riscos construtivos.
- b. Demais vulnerabilidades: verificar a ocupação do talude, afastamento da moradia até a base do talude/altura do talude, largura da plataforma, condicionantes do contexto urbanístico.

7. PARTE 2 – FOTOS

7.1. OBTENÇÃO EM CAMPO

- a. As fotos tiradas em campo devem ser georreferenciadas.
- b. Devem permitir observar:
 - i. Visão geral da área.
 - ii. Condicionantes.
 - iii. Indícios de instabilidade.
 - iv. Características da moradia.
 - v. Ocupação da área e demais parâmetros da ficha de consequências.

7.2. ARQUIVAMENTO

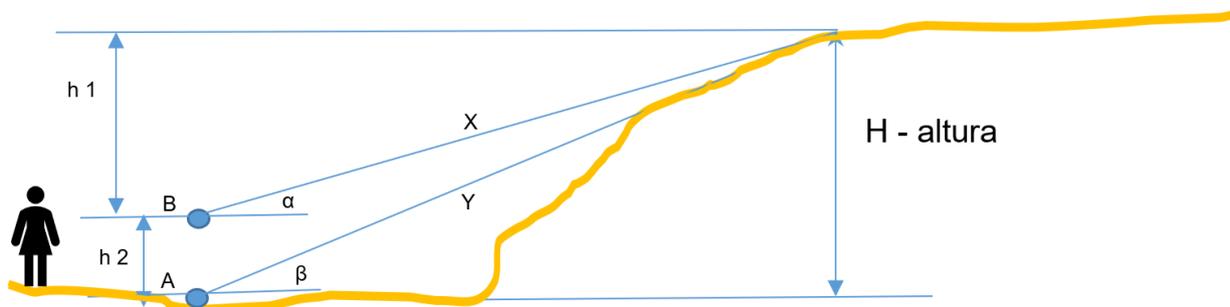
- a. Inserir as fotos na Ficha de Campo digital conforme indicado no ANEXO I, em quadros. Na coluna ao lado de cada foto descrever o que se pretendia observar.
- b. Indicar na legenda da foto, data, local e título.
- c. O POP-001 indica a estrutura de armazenamento das informações no computador da Defesa Civil.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	002
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 453/470
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

8. PARTE 3 – FICHA DE PERIGO

8.1. ALTURA DO TALUDE

- a. Para obter a altura do talude em campo, posicionar a trena a laser em A (ver figura a seguir), se possível, mirar e visualizar o laser no topo do talude; ou em B, quando não é possível visualizar o laser na crista, partindo de A.



- b. Calcular a altura H, conforme a seguir, com a trena posicionada em A.
- Obter o valor de Y;
 - Obter o valor de β ;
 - Calcular a altura pela fórmula: $H = Y * \sin \beta$
- c. Calcular a altura H, conforme a seguir, com a trena posicionada em B.
- Obter o valor de X;
 - Obter o valor de α ;
 - Calcular a altura pela fórmula: $H = h 2 + X * \sin \alpha$
- d. Em caso de face e alturas irregulares ao longo da extensão do talude, obter pelo menos 3 medidas em pontos diferentes e calcular a altura média.
- e. Anotar a altura média e marcar na ficha de perigo os pontos correspondentes.
- f. Marcar a pontuação de altura conforme tabela a seguir, sendo que para alturas fora dos valores estipulados, escolhe-se a pontuação imediatamente superior. Ex.: caso a altura do talude seja 6m, a pontuação correspondente será 9 pontos.

Índice I _{AL}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Altura do talude	≤5 m	10 m	15 m	20 m

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 454/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

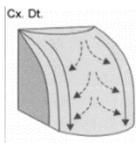
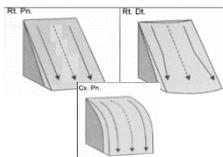
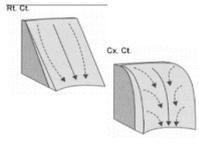
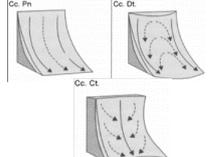
8.2. INCLINAÇÃO DO TALUDE

- Posicionar a trena a laser, com clinômetro, na face do talude e obter a inclinação.
- Repetir no mínimo 3 medidas e calcular a inclinação média.
- Obter a pontuação correspondente ao parâmetro inclinação conforme tabela a seguir.
- Caso a inclinação seja de valor intermediário, por exemplo, 28°, escolhe-se a pontuação correspondente ao valor superior, a favor da segurança. Neste caso, 9 pontos.

Índice I _{IN}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Inclinação do talude	25°	30°	35°	40°

8.3. ACÚMULO DE ÁGUA SUPERFICIAL NO TALUDE

- Para verificar a aptidão da encosta em acumular água deve-se observar as curvaturas horizontal e vertical da encosta/talude.
- Encostas com curvaturas verticais côncavas tendem a ser mais críticas quanto à acumulação de água superficial, portanto devem receber 81 pontos.
- Encosta convexa tanto no perfil vertical quanto no contorno horizontal deve receber 3 pontos.
- Encostas com perfil vertical planar ou convexo e contorno horizontal da mesma forma, 9 pontos.
- E por fim, encostas com perfil vertical planar ou convexo e contorno horizontal côncavo, deve receber 27 pontos.
- Considerar o máximo índice pluviométrico mensal na escolha das condições de acúmulo de água, ou seja, mesmo que o dia do trabalho de campo não tenha sido chuvoso, estimar o funcionamento da drenagem natural para o maior índice pluviométrico mensal anual médio.
- Quando o talude avaliado possuir curvaturas irregulares, incisões, cicatrizes de ruptura, e caminhos preferenciais de água, realizar a escolha por análise qualitativa da condição que melhor se aproxima das características locais

Índice I _{AG}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condições para acúmulo de água superficial ou subterrânea, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano				

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 455/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

8.4. COBERTURA VEGETAL

- a. Estimar a área de cobertura, em percentual, de gramíneas e demais especiais de pequeno porte.
- b. Verificar a existência de árvores cujas raízes ultrapassam a possível superfície de ruptura e contribuem com a resistência ao cisalhamento do talude.
- c. Árvores que acumulam água em suas raízes, como bananeiras, não são indicadas para superfícies inclinadas/taludes, e não são benéficas.
- d. Escolher o nível de contribuição benéfica da cobertura vegetal, conforme tabela a seguir.
- e. Caso não seja possível analisar se a influência das raízes das árvores é benéfica ou prejudica a segurança do talude, avaliar somente a cobertura superficial de pequeno porte.

Índice IvG	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Cobertura vegetal (IvG)	Cobertura superficial existente em área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial existente em 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial existente em 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial não existente ou existente c/ área < 25% e/ou inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.

8.5. CONDIÇÕES ESTRUTURAIS, DESCONTINUIDADES E PROCESSOS EROSIVOS

- a. Para análise de processos erosivos, conforme tabela a seguir, verificar em campo:
 - a. Sulcos: feições erosivas com profundidades até 50cm.
 - b. Ravinas: mais profundas, alongadas, perfil transversal próximo de um “V”, com paredes sujeitas a escorregamentos, quedas, desmoronamentos.
 - c. Voçorocas: interceptam o nível freático, tendo uma combinação de efeitos da percolação superficial e subsuperficial, movimentos de massa e processos erosivos atuantes, seção transversal próximo de “U”, e maiores dimensões que ravinas.
- b. Em relação às descontinuidades:
 - a. No planejamento dos trabalhos de campo, verificar nas cartas geotécnicas os mapeamentos de feições estruturais, direção e mergulho de descontinuidades.
 - b. Comparar essa informação com a orientação das vertentes em mapa de suscetibilidade.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 456/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

- c. Realizar identificação visual e tátil em campo, para verificar a ocorrência de descontinuidades.
- d. Escolher a pontuação de 3, 9, 27 e 81 de acordo com a tabela a seguir, e de acordo com a combinação de erosões e descontinuidades ou somente um desses fatores.

Índice I _{DE}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha

8.6. TRINCAS NO TERRENO

- a. Medir a profundidade da trinca, inserindo um galho ou cabo de vassoura no local. Quando encontrar a base da trinca, marcar o nível do terreno neste cabo, retirar, e medir a distância desta marcação até a ponta do cabo.
- b. Trincas ou fendas de até 10 cm e localizadas na crista, são classificadas com 27 pontos;
- c. As trincas marcantes com profundidade maior que 10 cm preenchidas ou não com água recebem 81 pontos.
- d. As trincas presentes, mas superficiais, recebem 9 pontos;
- e. E casos de taludes sem trincas aparentes recebem 3 pontos, conforme tabela a seguir.

Índice I _{TR}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Trincas no terreno	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm

8.7. GRAU DE SATURAÇÃO/SURGÊNCIAS

- a. Avaliar nas cartas de suscetibilidade e informações bibliográficas hidrogeológicas, a ocorrência de nascentes, elevado nível freático, ou antigos cursos de água sotopostos às construções urbanas, a fim de já ir para campo com possíveis pontos críticos a serem verificados.
- b. Caso não tenha sido observado no talude nenhuma surgência ou lançamento ou vazamento de água, e o mesmo se encontre relativamente seco, recebe pontuação 3.
- c. Caso haja observação de pontos mais úmidos, mas sem surgências, a pontuação é 9.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 457/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

- d. Já as pontuações de 27 e 81 pontos são utilizadas quando se observa surgências e/ou lançamentos ou vazamentos de água ou esgoto, com a diferença que para 27 pontos tem-se pequena magnitude e sem carregamento de finos (água da surgência é límpida), e para 81 pontos tem-se maior magnitude, com carregamento de finos (água da surgência é turva).
- e. A tabela a seguir apresenta a atribuição de pontos, de acordo com a condição de saturação/surgência.

Índice I _{SU}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude, sem carregamento de finos	Presença de surgências ou lançamentos/vazamentos de água/esgoto significativos, com carregamento de finos.

8.8. INDÍCIOS DE MOVIMENTAÇÃO

- Observar a ocorrência de árvores inclinadas.
- As encostas com perfil vertical convexo têm maior probabilidade de sofrer rastejo.
- As árvores inclinadas são indícios também de instabilidade também para escorregamentos planares rasos.
- Observar se há ocorrência de estreitamento na base do talude ou soerguimento, para escorregamento circular.
- Escolher a classe de pontuação conforme critérios a seguir.

Índice I _{MV}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante

8.9. DEGRAU DE ABATIMENTO

- Caminhar na crista do talude, caso seguro.
- Observar desníveis no terreno e verificar se há continuidade horizontal, e formação do degrau de abatimento.
- Verificar se preenchido com água, parcialmente ou totalmente.
- Preencher a tabela de pontuação deste parâmetro, conforme a seguir.

Índice I _{DG}	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Degrau de abatimento	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 458/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

8.10. CICATRIZ DE RUPTURA

- a. Verificar áreas sem vegetação no talude.
- b. No sopé da encosta, verificar se há acúmulo de solo junto com vegetação soterrada.
- c. Os critérios de pontuação estão apresentados na tabela a seguir.

Índice ICD	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Cicatriz de deslizamento	Ausente	Presente, em um ponto do talude	Presente, em mais de um ponto do talude	Marcante

8.11. HISTÓRICO DE OCORRÊNCIAS

- a. Verificar se há ocorrências pretéritas no local, por meio de análise das planilhas de ROs e referências bibliográficas.
- b. Verificar se há histórico de ocorrências do conhecimento dos moradores locais.
- c. Os critérios de pontuação são adotados conforme abaixo.

Índice IHO	3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Histórico de ocorrências de movimentos de massa	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano

8.12. CLASSES DE PERIGO

São adotadas as classes de perigo conforme tabela a seguir.

Classes de Perigo (ANPC, 2009)	Critérios para classificação (ANPC, 2009)	Intervalos de classes (BORGES, 2017)
Baixa (1)	- Poderá ocorrer apenas em circunstâncias excepcionais. - Pode ocorrer uma vez em cada 500 anos ou mais (< 0,2% chance de ocorrência, em um ano qualquer).	33 a 162
Média-baixa (2)	- Não é provável que ocorra. - Não há registros ou razões que levem a estimar que ocorram. - Pode ocorrer uma vez em cada 100 anos (<=1% de chance de ocorrência em um ano qualquer).	163 a 243
Média (3)	- Poderá ocorrer em algum momento. - E ou com uma periodicidade incerta, aleatória, e com fracas razões para ocorrer. - Pode ocorrer uma vez a cada 20 anos. - Pode ocorrer em períodos entre 20 a 50 anos (de 2% a 5% de chance de ocorrência em um ano qualquer).	244 a 405
Média-alta (4)	- Irá provavelmente ocorrer em quase todas as circunstâncias. - E ou registros regulares de incidentes e razões fortes para ocorrer. - Pode ocorrer uma vez em cada cinco anos. - Pode ocorrer uma vez em períodos de 5 a 10 anos (de 10% a 20% de chance de ocorrência em um ano qualquer).	406 a 648
Elevada (5)	- É expectável que ocorra em quase todas as circunstâncias. - E ou nível elevado de incidentes registrados.	649 a 891

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 459/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

Classes de Perigo (ANPC, 2009)	Critérios para classificação (ANPC, 2009)	Intervalos de classes (BORGES, 2017)
	- E ou fortes evidências, e ou forte probabilidade de ocorrência, e ou fortes razões de ocorrer. - Pode ocorrer uma vez por ano ou mais (próximo de 100% de chance de ocorrência em um ano qualquer).	

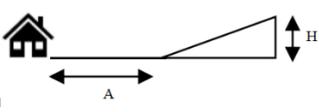
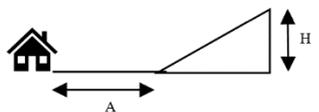
9. PARTE 4 – FICHA DE CONSEQUÊNCIAS

9.1. OCUPAÇÃO DO TALUDE

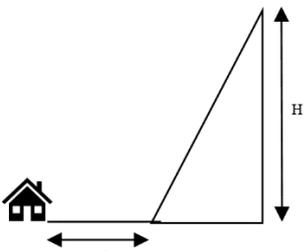
- a. Este parâmetro relaciona-se aos elementos expostos, e os critérios de classificação estão conforme BORGES (2017), quanto às pontuações para a ocupação do talude.
- 3 pontos para ocupação nula;
 - 9 pontos para agrícola;
 - 27 pontos para logradouros (praças, vias públicas, áreas de circulação, etc.);
 - 81 pontos para áreas habitacionais ou de equipamentos coletivos, áreas de interesse social em vilas e favelas.

9.2. AFASTAMENTO DA MORADIA EM RELAÇÃO À ALTURA DO TALUDE

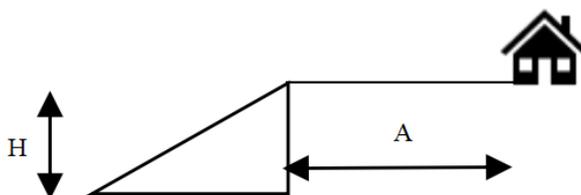
- a. Para a pontuação do afastamento dividido pela altura do talude, considerar os intervalos conforme figura a seguir.

	$A/H \geq 2/1$ O afastamento é o dobro ou mais que a altura do talude	3 pontos
	$2/1 > A/H \geq 1/1$ O afastamento é igual ou maior à altura do talude, e menor que duas vezes a altura	9 pontos
	$1/1 > A/H > 1/3$ O afastamento é maior que um terço da altura do talude, e menor que a altura	27 pontos

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	002
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 460/470
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

	$A/H \leq 1/3$ O afastamento é igual à terça parte da altura do talude ou menor	81 pontos
---	--	-----------

- b. Para moradias ou estruturas avaliadas que se encontrem na crista do talude, considerar o afastamento e altura, conforme a seguir.



9.3. CONDIÇÕES DA MORADIA

- 3 pontos, são moradias ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc, que sejam resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento;
- 9 pontos, são moradias ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc, visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingidas por movimentos de massa;
- 27 pontos, são moradias ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc, com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa;
- 81 pontos, são moradias ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc, com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingidas por movimentos de massa.

9.4. LARGURA DA PLATAFORMA

- A largura da plataforma expressa a possibilidade de desvio de elementos expostos que transitam próximo ao talude no momento do escorregamento, como a possibilidade de pessoas e veículos se desviarem da massa escorregada.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 461/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

- b. Também se considera a largura da plataforma como parâmetro que expressa a condição para o material rompido ficar contido na plataforma, sem atingir pessoas e moradias. Este parâmetro independe da altura, e deve ser pontuado com:
- a. 3 pontos para largura >9m;
 - b. 9 pontos para 6 a 9 m;
 - c. 27 pontos para 3 a 6 m;
 - d. 81 pontos para largura da plataforma menor que 3 m.

9.5. CONTEXTO URBANÍSTICO

- a. Os condicionantes urbanísticos podem estar relacionados a domínio hídrico; espécies florestais protegidas, árvores e arvoredo de interesse público; patrimônio edificado, incluindo áreas de patrimônio arqueológico, arquitetônico, natural; estabelecimentos prisionais; de Defesa Nacional; rede elétrica, gasoduto, oleoduto; rede rodoviária, ferroviária e aeroportos; farol, marcos e áreas de servidão de abastecimento de água.
- a. 3 pontos: zonas interditas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico; e /ou outras condicionantes como áreas de interesse social.
 - b. 9 pontos: zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de média densidade e com até mais 1 condicionante urbanístico, onde as pessoas e/ou veículos passam na base do talude quando saem e regressam às suas habitações, o que se reflete num grau de exposição superior ao caso anterior.
 - c. 27 pontos: zonas de atração turística ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e com até mais 2 condicionantes urbanísticos.
 - d. 81 pontos: zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos. Neste grupo inserem-se os taludes próximos de cafés, restaurantes, escolas, hospitais, etc, já que se localizam em zonas com grande afluência de pessoas e onde essas mesmas pessoas podem permanecer por um longo período de tempo, aumentando assim a sua vulnerabilidade.

9.6. CLASSES DE CONSEQUÊNCIAS

- a. São adotadas as classes de consequências conforme tabela a seguir.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP Análise de Riscos – Ficha de Campo	Nº 002
		Pág.: 462/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

Classes de Consequências (ANPC, 2009)	Critérios para classificação (ANPC, 2009)	Intervalos de classes
Residual (1)	<p><i>População:</i> Não há feridos nem vítimas mortais. Não há mudança/retirada de pessoas ou apenas de um número restrito, por um período curto (até 12 horas). Pouco ou nenhum pessoal de apoio necessário (não há suporte ao nível monetário nem material). Danos sem significado.</p> <p><i>Ambiente:</i> Não há impacto no ambiente, ou é não mensurável.</p> <p><i>Socioeconomia:</i> Não há ou há um nível reduzido de constrangimentos na comunidade. Não há perda financeira.</p>	15 a 54
Reduzida (2)	<p><i>População:</i> Pequeno número de feridos, mas sem vítimas mortais. Algumas hospitalizações e retirada de pessoas por um período inferior a 24 horas. Algum pessoal de apoio e reforço necessário. Alguns danos.</p> <p><i>Ambiente:</i> Pequeno impacto no ambiente sem efeitos duradouros.</p> <p><i>Socioeconomia:</i> Disrupção (inferior a 24 horas). Alguma perda financeira.</p>	55 a 108
Moderada (3)	<p><i>População:</i> Tratamento médico necessário, mas sem vítimas mortais. Algumas hospitalizações. Retirada de pessoas por um período de 24 horas. Algum pessoal técnico necessário. Alguns danos.</p> <p><i>Ambiente:</i> Impacto Significativo e reversível no habitat</p> <p><i>Socioeconomia:</i> Alguma disrupção (superior a 24 horas). Alguma perda financeira.</p>	109 a 189
Acentuada (4)	<p><i>População:</i> Número elevado de feridos e de hospitalizações. Número elevado de retirada de pessoas por um período superior a 24 horas. Vítimas mortais. Recursos externos exigidos para suporte ao pessoal de apoio. Danos significativos que exigem recursos externos.</p> <p><i>Ambiente:</i> Impacto significativo no habitat, grande, porém reversível.</p> <p><i>Socioeconomia:</i> Funcionamento parcial da comunidade com alguns serviços indisponíveis. Perda significativa e assistência financeira necessária.</p>	190 a 297
Crítica (5)	<p><i>População:</i> Grande número de feridos e de hospitalizações. Retirada em grande escala de pessoas por uma duração longa.</p> <p>Significativo número de vítimas mortais. Pessoal de apoio e reforço necessário.</p> <p><i>Ambiente:</i> Impacto ambiental significativo e ou danos permanentes.</p> <p><i>Socioeconomia:</i> A comunidade deixa de conseguir funcionar sem suporte significativo.</p>	298 a 405

10. PARTE 5 – MATRIZ DE RISCOS

10.1. SIGNIFICADO DAS CORES

- a. Conforme apresentado no ANEXO I e na figura a seguir, a tabela de matriz de risco mostra os graus de risco representados por cores, com nível de risco aumentando no sentido do canto inferior esquerdo para o canto superior direito. As cores mais quentes (vermelho e laranja) indicam modos de falha com riscos significativos ou intoleráveis e maior criticidade; já as cores amarelo e verde indicam modos de falha com risco tolerável e criticidade menor.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	002
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 463/470
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

MODELO PARA MATRIZ DE RISCO

PERIGOSIDADE	Elevada (5)	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R4-Risco muito alto	R4-Risco muito alto
	Média-alta (4)	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R4-Risco muito alto	R4-Risco muito alto
	Média (3)	Risco baixo	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R4-Risco muito alto	R4-Risco muito alto
	média-baixa (2)	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R4-Risco muito alto	R4-Risco muito alto
	baixa (1)	R1-Risco baixo	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R2-Risco moderado	R3-Risco alto
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
		CONSEQUÊNCIA				

- a. VERDE para risco baixo (R1);
- b. AMARELO para risco moderado (R2);
- c. LARANJA para risco elevado (R3);
- d. VERMELHO para risco extremo (R4).

10.2. PADRÃO DAS CORES

- a. Para geração de cartografia de risco e relatórios, adota-se o padrão apresentado em CPRM (2018), conforme a seguir.

Risco	Cor	Características
Baixo (R1)	Verde (R=0; G=168; B=132)	 Borda na cor preta, com 0,60 ponto de espessura e 70% de transparência.
Moderado (R2)	Amarela (R=255; G=255; B=0)	 Borda na cor preta, com 0,60 ponto de espessura e 70% de transparência.
Elevado (R3)	Laranja (R=255; G=170; B=0)	 Borda na cor preta, com 0,60 ponto de espessura e 70% de transparência.
Extremo (R4)	Vermelha (R=255; G=0; B=0)	 Borda na cor preta, com 0,60 ponto de espessura e 70% de transparência.

10.3. QUALIFICAÇÃO DO RISCO

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 464/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

- a. Conforme tabela a seguir, a qualificação do risco fica expressa na matriz de risco, em função das classes de perigo e consequências.

Classes de Risco	Descrição
Baixo (R1)	Admite variação da classe de perigo de baixa (P1) a elevada (P5), contudo, somente para consequência residual (C1), sem previsão de vítimas fatais e sem danos com significado. Admite consequência reduzida (C2), quando há previsão de feridos, mas não mortos, somente para classe de perigo baixa (C1) ou média baixa (C2).
Moderado (R2)	Admite variação da classe de perigo de média (P3) a elevada (P5), contudo, somente até consequências reduzidas (C2), quando há previsão de feridos, mas não mortos. Para classe de perigo de baixa (P1) até média (P3) admite-se consequências moderadas (C3), quando não há previsão de mortes, mas necessário tratamento médico, e ocorrem alguns danos. Para consequências acentuadas (C4), admite-se somente para classe de perigo baixa (P1).
Elevado (R3)	Admite variação da classe de perigo de média-alta (P4) a elevada (P5), contudo, somente até consequências moderadas (C3), quando não há previsão de mortes, mas necessário tratamento médico, e ocorrem alguns danos. Para consequências acentuadas (C4), com previsão de vítimas mortais e danos significativos, admite-se a classe de perigo de média-baixa (P2) até média-alta (P4). Para consequências críticas (C5), com previsão de feridos e mortes, admite-se somente para classe de perigo baixa (P1).
Extremo (R4)	Para consequências acentuadas (C4), com previsão de vítimas mortais e danos significativos, admite-se classe de perigo elevada (P5). Para consequências críticas (C5), com previsão de feridos e mortes, admite-se somente classe de perigo de média-baixa (P2) até elevada (P5).

11. NORMAS E REFERÊNCIAS APLICÁVEIS

ALMEIDA FILHO, G. Uso das terminologias de processos erosivos lineares dos tipos ravina e voçoroca. Revista Geonorte, 5(23), 693 – 699 .2014. Recuperado de <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1790>.

ANPC. Guia para a Caracterização de Risco no Âmbito da Elaboração de Planos de Emergência de Proteção Civil. Lisboa, 2009.

BORGES, A. R. C. Cartografia de Risco de Taludes no âmbito dos Planos de Emergência e Proteção Civil do Município do Porto. 2017. 144 p. Dissertação (Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) — FCUP, Porto, 2017.

BRASIL, 2012. Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 10 abr. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BRASIL, 2017. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Departamento de Prevenção e Preparação. Módulo de formação: noções básicas em

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	002
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 465/470
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

proteção e defesa civil e em gestão de riscos: livro base / Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Departamento de Minimização de Desastres. - Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017.

CONTAGEM, 2013. Lei nº 4623, de 15 de outubro de 2013. Cria o Conselho Municipal de Proteção e Defesa Civil, institui o Fundo Municipal de Proteção e Defesa Civil e dá outras providências.

CONTAGEM, 2017. Fundação Israel Pinheiro (2017). Plano Municipal de Redução de Risco PMRR CONTAGEM - MG - 2a Etapa: Elaboração do Mapeamento das áreas de risco geológico. Governo do Estado de Minas Gerais, Ministério das Cidades, 598 p.

CONTAGEM, 2018. Decreto Nº 459, de 28 de março de 2018. Dispõe sobre a estrutura organizacional da Secretaria Municipal de Defesa Social, as competências e atribuições de suas unidades, as definições e normas sobre seu quadro de pessoal e cargos e dá outras providências. “Artigo VI - propor normas, planos e procedimentos que visem à prevenção, socorro e assistência à população e recuperação de áreas de risco ou de áreas atingidas por desastres”.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massas e inundação. 2012. In: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos-4138.html>. Acesso em abril de 2017.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa. Rio de Janeiro, 2018.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Fact Sheet 2004–3072, 2004. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/>. Acesso em: 30 nov. 2021

VARNES, D.J. Slope movement types and processes. Landslides analysis and control. WASHINGTON, D. C., National Academy of Sciences, pp.11-33, 1978.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP Análise de Riscos – Ficha de Campo	Nº 002
		Pág.: 466/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

ANEXO I – MODELO DE FICHA DE CAMPO

DADOS GERAIS			
Nome do solicitante/morador:			
Documento (CPF ou CI):		Telefone:	
Endereço:			
Bairro/Área de risco e setor do PMRR:		Regional:	Município:
Nº total moradores:	Nº crianças (até 12 anos):	Nº idosos (>70 anos):	Nº pessoas c/necessidades especiais:
Data da vistoria:	Motivo:		
Coordenadas geográficas:		Ponto de referência:	
SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS GEOLÓGICOS E/OU HIDROLÓGICOS			
Encostas: ____ ou Margem de córregos: ____			
Movimentos de massa: ____ Escorregamentos tipo ____ Queda de solo (solapamento) ____ Corridas tipo ____ ____ Queda e rolamento de blocos ____ Tombamento ____ Movimentos complexos/outros (descrever):			
Erosão: ____ laminar ____ Sulcos ____ Ravinas ____ Voçorocas			
Processos hidrológicos: ____ enchente ____ Inundação ____ Alagamento			
DESCRIÇÃO DOS CONDÍCIONANTES E INDÍCIOS DE INSTABILIDADE			
Condicionantes (Altura do talude, inclinação, condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso, cobertura superficial benéfica ou não, condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos):			
Indícios de instabilização (Trincas no terreno, grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto, árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular), degrau de abatimento, cicatriz de deslizamento):			
Histórico de ocorrências:			
CARACTERÍSTICAS VISUAIS DA MORADIA			
Tipologia: ____ Alvenaria ____ Madeira ____ Lonas ____ Outros. Especificar:		Nº de pavimentos:	
Tempo de edificação: ____ < 15 anos ____ 15 a 30 anos ____ >30 anos		Fundação: ____ Rasa ____ Profunda ____ m	
Estrutura: ____ Pilar ____ Vigas ____ Laje ____ Telhado	Anomalias: ____ Trincas e rachaduras ____ Flexas exageradas ____ Desplacamento Infiltração		
Orientação ao morador: ____ Monitoramento pelo morador ____ Intervenção pelo morador ____ Necessário contratar engenheiro ____ Não há necessidade de monitorar			
Consequências (Ocupação do Talude, afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude, largura da plataforma, condicionantes do contexto urbanístico):			

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP Análise de Riscos – Ficha de Campo	Nº 002
		Pág.: 467/470
	Elaborado por: Luciene Menezes Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

FOTO E/OU CROQUI E RESPECTIVA DESCRIÇÃO	
Inserir foto ou desenho	Descrever
Inserir foto ou desenho	Descrever
Inserir foto ou desenho	Descrever

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	002
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 468/470
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

Perigo		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes geológicas, hidrogeomorfológicas e de cobertura vegetal	Altura do talude (I _{AL})	≤ 5 m	10 m	15 m	20 m
	Inclinação do talude (I _{IN})	≤ 25°		35°	40°
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I _{AG})				
	Cobertura vegetal (I _{VG})	Cobertura superficial existente em área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial existente em 50% < área < 75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial existente em 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Cobertura superficial não existente ou existente com área < 25% e/ou inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
	Condições estruturais relativas às discontinuidades ou estruturas reliquias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I _{DE})	Sem discontinuidades visíveis e/ou conhecidas, e/ou processos erosivos	Uma ou mais discontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais discontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais discontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I _{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I _{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo e escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I _{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I _{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante
	Cicatriz de deslizamento (I _{CD})	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (I _{HO})	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
	Total de perigo:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243 244 a 405	Média (3): 406 a 648	Média-alta (4): 649 a 891

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 469/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude (IOT)	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude (IAH)	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H > 1/3$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos etc. (ICM)	Visualmente resistentes ao escorregamento e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por escorregamentos	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por escorregamentos	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por escorregamentos
	Largura da plataforma (ILP)	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m
Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico (ICU)	Zonas interditas ou de ocupação irregular de baixa densidade, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais e/ou de ocupação irregular de baixa a média densidade, e/ou com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, ou habitacional densa, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e/ou com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

MATRIZ DE RISCO PARA SAÚDE E SEGURANÇA DA POPULAÇÃO

PERIGO	Elevado (5)					
	Médio-alto (4)					
	Médio (3)					
	médio-baixo (2)					
	baixo (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIAS						

MODELO PARA MATRIZ DE RISCO

PERIGO	Elevado (5)	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R4-Risco muito alto	R4-Risco muito alto
	Médio-alto (4)	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R3-Risco muito alto	R4-Risco muito alto
	Médio (3)	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R2-Risco muito alto	R3-Risco alto	R4-Risco muito alto
	médio-baixo (2)	R1-Risco baixo	R1-Risco moderado	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R4-Risco muito alto
	baixo (1)	R1-Risco baixo	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R2-Risco moderado	R3-Risco alto
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIAS						

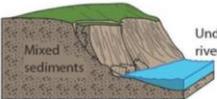
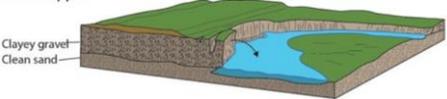
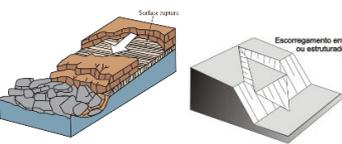
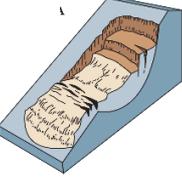
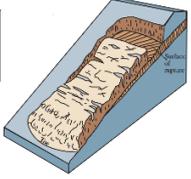
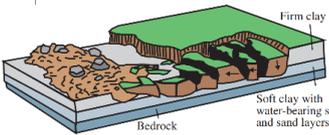
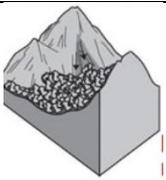
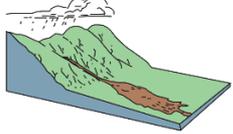
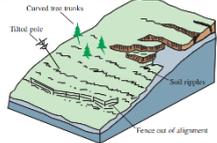
RESULTADO DE RISCO: _____

Nome e Assinatura do vistoriador: _____

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 002
	Análise de Riscos – Ficha de Campo	Pág.: 470/470
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

ANEXO II – TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA

Classificação dos movimentos de massa (Adaptado de VARNES, 1978; com ilustrações de USGS, 2004)

Tipo de Movimento	Tipo de material		
	Rocha	Solo	
		Predominantemente grosso	Predominantemente fino
Queda (Fall) e Rolamento	Queda de rocha 	Queda de detritos (debris) 	Queda de solo
	Tombamento de rocha 	Tombamento de detritos 	Tombamento de solo
Escorregamento (slide)	Escorregamento de rocha (planar ou cunha) 	Escorregamento em detritos 	Escorregamento em solo 
	Espalhamento de rocha 	Espalhamento de detritos 	Espalhamento de solo
Corrida/ escoamento (flow)	Corrida de rocha 	Corrida de detritos 	Corrida de lama 
	Creep (deep creep)	Creep (soil creep)	
	Complexo	Combinação de dois ou mais tipos de movimento de massa	

**APÊNDICE E – Modelo de tabela FMEA e procedimento operacional padrão (POP)
para aplicação do método**

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Gestão de Riscos – Método FMEA	003
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 472/482
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

1. OBJETIVOS

O objetivo deste procedimento é apresentar as etapas para a aplicação do método FMEA para gestão de riscos geológico-geotécnicos em áreas urbanas. Ao final, tem-se os resultados das análises das áreas de risco consolidados em uma planilha e matriz bidimensional (perigosidade x consequências), e validada por discussão em equipe técnica, gerencial e comunidade.

2. TERMOS E SIGLAS

POP – Procedimento Operacional Padrão

PMRR – Plano Municipal de Redução de Riscos (CONTAGEM, 2017)

RO – Relatório de Ocorrência

NUPDEC – Núcleos Comunitários de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2017)

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis. Este método está previsto na ISO 31010, como uma ferramenta para gestão de riscos.

MONITORAMENTO – Entende-se neste documento como a atividade de verificação espontânea das áreas de risco pela equipe da Defesa Civil, para atualização das análises de risco, com periodicidade anual.

VISTORIAS – Atividade de verificação e análise dos riscos em campo, a qual pode ser motivada pelo monitoramento anual, mas também por demanda da população ou outros setores da sociedade por meio do telefone 199, e pelas lideranças dos NUPDECs.

PERIGOSIDADE – Probabilidade (qualitativa ou quantitativa) de que uma ameaça ou evento danoso ocorra dentro de um determinado período de tempo.

CONSEQUÊNCIAS – Representa perda ou dano potencial dos elementos expostos a partir de análises da exposição, vulnerabilidade e valor dos elementos expostos, adotada neste documento de forma qualitativa.

SUSCETIBILIDADE – Propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado.

RISCO – Resultado de análise qualitativa que considera fatores de perigosidade versus consequências, tendo como resultado quatro graus: R1- Risco Baixo; R2 – Risco Moderado; R3- Risco alto; R4- Risco Muito alto.

3. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Gestão de Riscos – Método FMEA	003
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 473/482
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

POP-001. Procedimento Operacional Padrão. Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução.

POP-002. Procedimento Operacional Padrão. Análise de Riscos – Ficha de Campo.

4. EQUIPE E RESPONSABILIDADES

Para a realização da gestão de riscos e aplicação do método FMEA, a seguinte equipe é recomendável:

- Coordenador da Defesa Civil;
- Supervisores;
- Equipe técnica de monitoramento:
 - 1 Geólogo;
 - 1 Engenheiro civil geotécnico;
 - 1 Técnico social;
 - 1 Profissional de geoprocessamento.
- Representantes das comunidades envolvidas.

As atividades de campo serão realizadas pelo geólogo, engenheiro civil geotécnico e técnico social. O profissional de geoprocessamento será responsável por tarefas de apoio e geração de documentos no escritório.

As habilidades requeridas para a equipe estão indicadas no POP-001- Monitoramento de Riscos – Planejamento e Execução, bem como as responsabilidades de cada um.

A aplicação do método FMEA pressupõe o envolvimento da equipe técnica responsável pela análise de risco e monitoramento, bem como a participação da equipe de gestão e representantes da comunidade. A metodologia prevê a discussão e planejamento de ações estruturantes e não estruturantes em equipe, a partir de informações de análise de risco consolidadas em uma planilha e matriz de risco.

Toda a equipe técnica deverá receber treinamento para a execução deste procedimento, bem como ser coordenada por profissional experiente e habilitado, o qual se encarregará de verificar se as atividades estão sendo realizadas conforme o procedimento estabelecido.

5. ETAPAS METODOLÓGICAS

Durante o monitoramento de riscos, atividade descrita no POP-001, a equipe deve preencher a ficha de campo para análise de risco, por setor, conforme POP-002. Após a finalização dos trabalhos de campo para todas as áreas de uma regional, as seguintes etapas são estabelecidas para aplicação do FMEA.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		Nº
	Gestão de Riscos – Método FMEA		003
	Elaborado por: Luciene Menezes		Pág.: 474/482
	Aprovado por: xxx		Rev.: 00 Data: 18/10/21

- ETAPA 1 – PREENCHIMENTO DA PLANILHA FMEA E MATRIZ DE RISCO - com os resultados das análises de risco dos setores visitados, por regional, no ano de monitoramento, a equipe técnica faz o preenchimento da planilha.
- ETAPA 2 – 1ª REUNIÃO FMEA - EQUIPE INTERNA – com a planilha e matriz preenchidas e resultados de todos os setores de risco, deve-se realizar a primeira reunião com a equipe gerencial e técnica, a fim de discutir os resultados das análises de risco pelas fichas de campo e elencar outros possíveis modos de falha para cada área, analisar criticamente, e propor ações estruturantes e não estruturantes.
- ETAPA 3 – 2ª REUNIÃO FMEA - EQUIPE E COMUNIDADE – após consenso entre equipe técnica e gerencial da Defesa Civil sobre a análise de risco FMEA (matriz e planilha), deve-se agendar uma reunião pública com a comunidade, representantes dos NUPDECs para apresentação e discussão dos resultados, e sobretudo informar e combinar ações preventivas, estruturantes e não estruturantes.

6. PREENCHIMENTO DA PLANILHA FMEA E MATRIZ DE RISCO

No ANEXO I, apresenta-se um modelo de planilha FMEA, e no ANEXO II, o modelo de matriz de riscos. Já nos ANEXOS III e IV, apresenta-se exemplos de planilha FMEA e matriz de risco preenchidas.

As colunas da planilha FMEA, a serem preenchidas, são apresentadas na figura a seguir, bem como o detalhamento de cada informação a ser apresentada.

Local	ID	Modo de falha	Causa	Efeitos	Unidade Geotécnica	Justificativas/histórico	Perigosidade	Consequências			Risco p/ população	Ações preventivas, mitigatórias e corretivas	
								Saúde e Segurança	Meio ambiente	Socioeconomia		Estruturantes	Não Estruturantes

6.1. LOCAL

- Preencher esta coluna com uma sigla e descrição do nome da área de risco, ponto de referência, ou endereço.
 - Ex.1: Taludes do Parque Oriental adjacente à circunvalação N12.
 - Ex.2: Área 58, Vila Bastilha.

6.2. ID – IDENTIFICAÇÃO

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Gestão de Riscos – Método FMEA	003
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 475/482
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

- b. Nesta coluna o setor de risco ou talude deve ser nomeado.
- i. Ex.1: TS-C1, que representa o talude de solo da freguesia de Campanhã, no Porto.
 - ii. Ex.2: A58-S1, que significa a área de risco 58 da Vila Bastilha, em Contagem, especificamente o setor 1.

6.3. MODO DE FALHA

- c. Preencher com o modo de falha identificado na ficha de campo.
- i. Ex.: Escorregamento circular de solo de pequena magnitude.
- d. Buscar validação deste modo de falha, bem como identificar outros possíveis cenários de ruptura, em cartas geotécnicas, de suscetibilidade e nas ROs.
- e. Deve-se buscar identificar qual o modo de falha típico da região, e possíveis cenários futuros, inclusive subsequentes ao modo de falha inicial, ou simulando um gatilho como chuvas excepcionais.
- i. Ex.: TS-C1_a: escorregamento de pequena magnitude na base do talude - pequenas rupturas na base podem desencadear escorregamento de maior magnitude desde a crista. Neste caso, foi avaliado o modo de falha TS-C1_b: escorregamento de maior magnitude, plano-circular, desde a crista, com possíveis danos à via.

6.4. CAUSA

- f. Descrever de forma breve as condicionantes geológico-geotécnicas, os fatores predisponentes e os agentes deflagradores do modo de falha. No POP-001 tem uma lista com alguns exemplos desses fatores.
- i. Ex.1: Talude em aterro/alúvio, material inconsolidado e com baixa resistência. A retirada da cobertura vegetal para construção da ponte e processos erosivos predispuseram o talude a escorregamentos planares superficiais quando no período chuvoso.
 - ii. Ex.2: Talude de solo residual de gnaíse, onde cortes verticalizados e processos erosivos que expõem o horizonte C mais arenoso são as causas dos possíveis escorregamentos circulares de maior magnitude.

6.5. EFEITOS

- g. Relato breve dos efeitos e consequências do movimento de massa.
- i. Ex.1: Assoreamento do trecho do Rio Tinto, adjacente ao talude sujeito a escorregamento.
 - ii. Ex.2: O escorregamento do talude pode resultar na queda de árvore que está na crista, com atingimento da via, carros e transeuntes.

6.6. UNIDADE GEOTÉCNICA

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Gestão de Riscos – Método FMEA	003
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 476/482
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

- h. Indicar a unidade geotécnica a qual o talude pertence.
 - i. Ex.1: G2- Solos aluvionares e coluvionares do Porto.
 - ii. Ex.2: CBH – Solo residual de gnaiss do Complexo Belo Horizonte.

6.7. JUSTIFICATIVAS

- i. Apresentar justificativas para se adotar determinada classe de perigosidade e consequências. Pode-se também apresentar aspectos observados em campo, e breve histórico de ocorrências.
 - i. Ex.: Este talude está mapeado como instável ou com instabilidade potencial desde 2003. Foi observado em campo, cicatrizes de rupturas pretéritas e erosões. A perigosidade está elevada devido principalmente aos indícios de instabilidade, e as consequências são elevadas devido a existência de moradias construídas na crista.

6.8. PERIGOSIDADE

- j. A perigosidade foi determinada a partir da ficha de campo com pontuação para cada parâmetro, apresentada no POP-002. De acordo com o somatório de pontos, a perigosidade será enquadrada dentre as seguintes classes:
 - i. baixa (1) - 22 a 162 pontos
 - ii. média-baixa (2) - 163 a 243 pontos
 - iii. Média (3) - 244 a 405
 - iv. Média-alta (4) - 406 a 648 pontos
 - v. Elevada (5) - 649 a 891 pontos

6.9. CONSEQUÊNCIAS

- k. As consequências são determinadas a partir da ficha de campo com pontuação para cada parâmetro, apresentada no POP-002. De acordo com o somatório de pontos, a consequência será enquadrada dentre as seguintes classes:
 - i. Residual (1) - 15 a 54 pontos
 - ii. Reduzida (2) - 55 a 108 pontos
 - iii. Moderada (3) - 109 a 189 pontos
 - iv. Acentuada (4) - 190 a 297 pontos
 - v. Crítica (5) - 298 a 405 pontos
- l. As consequências são obtidas por meio da ficha de campo para o impacto na saúde e segurança da população.
- m. Para impactos no meio ambiente e para a socioeconomia deve-se realizar uma análise qualitativa, com critérios apresentados no POP-002.

6.10. RISCO

- n. Enquadrar a área ou talude na matriz de risco, conforme modelo no ANEXO II.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº 003
	Gestão de Riscos – Método FMEA	Pág.: 477/482
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

- o. De acordo com o enquadramento das classes de perigosidade e consequências, obtém-se o enquadramento dentre as classes de risco: R1, R2, R3, R4.

6.11. AÇÕES PREVENTIVAS, MITIGATÓRIAS E CORRETIVAS

- p. As ações mitigadoras, para diminuição do risco, são indicadas com (AM).
q. As ações com regularidade definida, como visitas periódicas a campo e monitoramento são indicadas como Controle Mitigatório (CM).
r. As ações corretivas, geralmente associadas a projetos e obras, são indicadas como AC.
s. Pode-se também subdividir as ações como estruturantes, associadas com alguma interferência física no ambiente; e não estruturantes, que diminuem as consequências, por exemplo, ações de conscientização ambiental e remoções.

7. 1ª REUNIÃO FMEA – INTERNA - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

- t. A equipe de monitoramento deve preparar apresentação em *powerpoint* que conste:
- i. Planilha FMEA com todas as áreas da regional preenchidas pela equipe de monitoramento.
 - ii. Matrizes de risco preenchidas com todas as áreas da regional.
 - iii. Slides com fotos e síntese das observações de campo.
 - iv. Slides com as fichas de campo
- u. Marcar a reunião da equipe técnica e gerencial.
v. Adotar a seguinte sequência de apresentação, quando em reunião:
- i. Mostrar fotos e ficha de campo de uma área.
 - ii. Mostrar matriz de risco.
 - iii. Mostrar Planilha FMEA e discutir todas as informações das colunas, buscando o consenso.
 - iv. Preencher sugestões de ações em equipe.
 - v. Definir ações e dividir responsabilidades.

8. 2ª REUNIÃO FMEA – EQUIPE E COMUNIDADE- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

- w. A equipe de monitoramento deve preparar apresentação em *powerpoint* que conste as proposições da equipe de monitoramento e gerencial da Defesa Civil, na última reunião.
- i. Planilha FMEA com todas as áreas da regional preenchidas pela equipe de monitoramento.
 - ii. Matrizes de risco preenchidas com todas as áreas da regional.
 - iii. Slides com fotos e síntese das observações de campo.
 - iv. Slides com as fichas de campo
- x. Marcar a reunião da equipe técnica e gerencial com comunidade e NUPDECs

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP	Nº
	Gestão de Riscos – Método FMEA	003
	Elaborado por: Luciene Menezes	Pág.: 478/482
	Aprovado por: xxx	Rev.: 00 Data: 18/10/21

- y. Adotar a sequência de apresentação quando em reunião:
- i. Mostrar fotos e ficha de campo de uma área.
 - ii. Mostrar matriz de risco.
 - iii. Mostrar Planilha FMEA e apresentar resultados.
 - iv. Coletar sugestões.
 - v. Informar e comunicar as ações estruturantes e não estruturantes.
 - vi. Realizar a reunião antes do período chuvoso e alinhar responsabilidades de todos os envolvidos.

9. REGISTROS

- vii. Planilha FMEA por regional
- viii. Matriz de riscos por regional
- ix. Lista de presença da 1ª reunião interna FMEA por regional
- x. Lista de presença da 2ª reunião FMEA (equipe e comunidade) por regional

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP Gestão de Riscos – Método FMEA	Nº 003
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

ANEXO II – MATRIZ DE RISCO

MATRIZ DE RISCO PARA SAÚDE E SEGURANÇA DA POPULAÇÃO

PERIGOSIDADE	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

MATRIZ DE RISCO PARA MEIO AMBIENTE

PERIGOSIDADE	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

MATRIZ DE RISCO PARA SOCIOECONOMIA

PERIGOSIDADE	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)					
	média-baixa (2)					
	baixa (1)					
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

MODELO PARA MATRIZ DE RISCO

PERIGOSIDADE	Elevada (5)	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R4-Risco muito alto	R4-Risco muito alto
	Média-alta (4)	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R3-Risco muito alto	R4-Risco muito alto
	Média (3)	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R4-Risco muito alto
	média-baixa (2)	R1-Risco baixo	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R3-Risco alto	R4-Risco muito alto
	baixa (1)	R1-Risco baixo	R1-Risco baixo	R2-Risco moderado	R2-Risco moderado	R3-Risco alto
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP		Nº 003
	Gestão de Riscos – Método FMEA		Pág.: 481/482
	Elaborado por: Luciene Menezes		Rev.: 00
	Aprovado por: xxx		Data: 18/10/21

ANEXO III – EXEMPLO DE PLANILHA FMEA

Local	ID	Modo de falha	Causa	Efeitos	Unidade Geotécnica	Justificativas/histórico	Consequências				Ações preventivas, mitigatórias e corretivas		
							Perigosidade	Saúde e Segurança	Meio ambiente	Socioeconomia	Risco p/ população	Estruturantes	Não Estruturantes
Área 58 - Vila Bastilha, Nova Contagem, Regional Vargem das Flores.	A58-S0	Escorregamento circular de pequena a média magnitude	Processos erosivos, corte na base, construção na crista associada à falta de sistema de drenagem superficial e acúmulo de água.	Desalçamento das fundações das casas na crista e atingimento de construções na base	CBH	Foram observados vários pontos com nítidos processos erosivos, alta declividade e moradias construídas na crista. Contudo, moradias com padrão executivo mais elevado que outros setores, ou moradias em regiões mais planas da Vila Bastilha.	Média - alta - 4	Moderação - 3	Residual - 1	Residual - 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> Plantio de capim Vetiver nas feições erosivas e face do talude sem cobertura vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar a mancha de risco para incluir as moradias que se encontram na crista, bem como trecho até S2-R2 DES; Avaliar com a comunidade se é interesse implantar hortas comunitárias no local; Monitorar local; Plantio de capim Vetiver nos taludes para controle de erosão.
	A58-S1	Escorregamento circular de pequena a média magnitude	Processos erosivos, corte na base e moradia precária, construção na crista associado com a falta de sistema de drenagem superficial	Desalçamento das fundações das casas na crista e atingimento de construções na base	CBH	A presente pesquisa considerou a análise do setor, a partir do talude que apresenta uma construção precária na base. Não foi possível verificar se há moradores permanentes no local, mas a favor da segurança considerou-se que sim. Sugere-se à Defesa Civil averiguar a situação da moradia, e avaliar remoção, para diminuir o risco, bem como expandir a mancha S1 para este local	Média - 3	Acen tuada - 4	Residual - 1	Residual - 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> Inserção de calhas na crista e descidas de água pluvial; Canalização adequada de esgoto e água servida; Manter a proteção superficial, exceto bananeiras Contenção em gabião (2x) 15x 2,5m; Plantio de capim Vetiver nas feições erosivas e face do talude sem cobertura vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> Orientar para não lançar água/esgoto na crista; Orientar para não cortar a base do talude desconfinando-o; Aumentar a mancha de risco para incluir as moradias que se encontram na crista, bem como trecho até o setor S2; Avaliar com a comunidade se é interesse implantar hortas comunitárias no local; Monitorar local; Plantio de capim Vetiver.
	A58-S2	Escorregamento circular de pequena a média magnitude	Processos erosivos, corte na base e moradia precária, construção na crista associado com a falta de sistema de drenagem superficial	Desalçamento das fundações das casas na crista e atingimento de construções na base	CBH	A perigosidade foi influenciada principalmente pela inclinação elevada da encosta, mas a forma é menos concentradora de água superficial que o setor 1. Para a pontuação das consequências, o fator afastamento da moradia em relação à altura do talude e pequena plataforma de visibilidade de um possível movimento de massa foi preponderante.	Baixa - 1	Acen tuada - 4	Residual - 1	Residual - 1	R2	<ul style="list-style-type: none"> Canalização de esgoto e água servida; Limpeza e remoção de bananeira (30m2); Contenção (2x) gabião 11 x 3 m. Retaludamento com criação de bermas para horta comunitária; Cobertura vegetal com capim vetiver. 	<ul style="list-style-type: none"> Conscientizar para não lançar água/esgoto na crista; Monitorar local. Pesquisa de campo para avaliar demanda e possível engajamento no projeto de hortas comunitárias.
	A58-S3	Escorregamento circular de pequena a média magnitude	Processos erosivos, corte na base e moradia muito próxima do talude de corte.	Queda de muro, atingimento e dano da moradia na base do talude	CBH	A perigosidade foi influenciada principalmente pela inclinação elevada da encosta e processos erosivos acelerados devido à falta de vegetação superficial e concentração escoamento de água. Para a pontuação das consequências, o fator afastamento da moradia em relação à altura do talude e pequena plataforma de visibilidade de um possível movimento de massa foi preponderante.	Média - baixa - 2	Acen tuada - 4	Residual - 1	Residual - 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> Contenção em muro de arrimo (blocos) 12 x 2,5 m; Proteção superficial vegetal (preferência capim vetiver); Implantar sistema de drenagem superficial. 	<ul style="list-style-type: none"> Orientar para não cortar a base do talude desconfinando-o; Monitorar local.
	A58-S4	Escorregamento circular de pequena a média magnitude	Processos erosivos acentuados (ravinas e voçoroca), construção na crista do talude e garagens na base.	Atingimento da garagem e danos às moradias na crista	CBH	A perigosidade foi influenciada principalmente pela inclinação elevada da encosta e processos erosivos acelerados, além da forma da encosta. Para a pontuação das consequências, o fator afastamento da moradia em relação à altura do talude foi preponderante.	Média - 3	Acen tuada - 4	Residual - 1	Residual - 1	R3	<ul style="list-style-type: none"> Remoção de moradia; Limpeza e remoção de bananeiras (25 m3); Recomposição de cobertura vegetal arbustiva (900 m2); Uso de capim Vetiver e biomanta vegetal para locais de maior declividade. 	<ul style="list-style-type: none"> Orientar para não executar corte na base, desconfinando talude; Monitorar local; Não foi identificado a remoção indicada. Reavaliar necessidade de remoção das moradias na crista do talude.

Inserir logotipo da Proteção e Defesa Civil	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO – POP Gestão de Riscos – Método FMEA	Nº 003
	Elaborado por: Luciene Menezes	Rev.: 00
	Aprovado por: xxx	Data: 18/10/21

ANEXO IV – EXEMPLO DE MATRIZ DE RISCO

A **MATRIZ DE RISCO PARA SAÚDE E SEGURANÇA DA POPULAÇÃO**

PERIGOSIDADE	Elevada (5)					
	Média-alta (4)			A58-S0		
	Média (3)			A61-S1	A58-S1/ A58-S4/ A63-S1/ A57-S1	
	média-baixa (2)			A125-S1	A58-S3/ A61-S3/ A69-S1/ A125-S2	A61-S2
	baixa (1)				A58-S2	
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

B **MATRIZ DE RISCO PARA MEIO AMBIENTE**

PERIGOSIDADE	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)			A58-S1/ A58-S4/ A61-S1	A57-S1/ A63-S1	
	média-baixa (2)			A58-S3/ A61-S2/ A61-S3/ A69-S1/ A125-S1/ A125-S2		
	baixa (1)			A58-S2		
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

C **MATRIZ DE RISCO PARA SOCIOECONOMIA**

PERIGOSIDADE	Elevada (5)					
	Média-alta (4)					
	Média (3)	A58-S1/ A58-S4/ A61-S1/ A63-S1/ A57-S1				
	média-baixa (2)	A58-S3/ A61-S2/ A61-S3/ A69-S1/ A125-S1/ A125-S2				
	baixa (1)	A58-S2				
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

D **MODELO PARA MATRIZ DE RISCO**

PERIGOSIDADE	Elevada (5)	Risco baixo	Risco moderado	Risco alto	Risco muito alto	Risco muito alto
	Média-alta (4)	Risco baixo	Risco moderado	Risco alto	Risco muito alto	Risco muito alto
	Média (3)	Risco baixo	Risco moderado	Risco alto	Risco muito alto	Risco muito alto
	média-baixa (2)	Risco baixo	Risco moderado	Risco alto	Risco muito alto	Risco muito alto
	baixa (1)	Risco baixo	Risco moderado	Risco alto	Risco muito alto	Risco muito alto
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

CRITICIDADE

APÊNDICE F – Artigo 1: Comunicação em Geociências na gestão de riscos e desastres ambientais

Comunicação em Geociências na Gestão de Riscos e Desastres Ambientais

Communication in Geosciences in Environmental Risk and Disaster Management

Luciene Oliveira Menezes^{1,3} , Maria Giovana Parisi² , Úrsula de Azevedo Ruchkys² 
& Arthur Hamdan Jardim³ 

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, MG, Brasil

²Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, MG, Brasil

³Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil, Belo Horizonte, MG, Brasil

E-mails: cienemenezes@yahoo.com.br; mgparizzi18@gmail.com; tularuchkys@yahoo.com.br; arthurhamdan@gmail.com

Resumo

A divulgação de informações técnicas para públicos não técnicos é uma dificuldade enfrentada por todos os especialistas em ciências aplicadas. No caso da comunicação associada a gestão de riscos e desastres geológicos e ambientais, o problema não é tanto sobre quais as informações são passadas, mas como essas informações são compreendidas pelo público. Os deveres profissionais dos geocientistas vão além da aplicação de seus conhecimentos e habilidades passando também pela comunicação que deve se basear em princípios geoéticos. Sabe-se que a comunicação é um fator preventivo de desastres e é primordial para a gestão de riscos ambientais. O artigo tem como objetivo apresentar um diagnóstico da prática da comunicação de risco e desastres pela Defesa Civil de Contagem e as melhorias propostas a partir do diagnóstico realizado. Frente ao objetivo proposto, o estudo buscou responder as seguintes perguntas norteadoras: 1) quais os meios de comunicação utilizados pela Defesa Civil; 2) quais as características da comunicação nessa instituição; 3) quais as possibilidades de melhoria. Os métodos aplicados envolveram: entrevistas com agentes da Defesa Civil; análise de dados de telefonemas da população para o número de atendimento da Defesa Civil 199; observação e análise da prática de comunicação por meio de acompanhamento de ocorrências e visitas de campo; *brainstorming* sobre possíveis alternativas para fomentar a comunicação bilateral. O resultado do diagnóstico indica que a comunicação de riscos e desastres se dá majoritariamente de forma unilateral, e com maior atuação nas fases de gestão de riscos de prevenção e resposta, e há uma lacuna para a comunicação na fase de preparação para os desastres. Apresenta-se uma proposta pioneira para o município relacionada à comunicação de risco: um sistema de disponibilização, na internet (*web map*), de mapas de risco e de ocorrências atendidas pela Defesa Civil, bem como a sugestão de um aplicativo baseado em comunicação e colaboração bilateral. Espera-se que esse sistema, denominado de Georiscos Contagem, bem como o aplicativo, facilitem o acesso e a participação da população na gestão de riscos ambientais.

Palavras-chave: Comunicação de Riscos; Defesa Civil; Geoética

Abstract

The dissemination of technical information to non-technical audiences is a difficulty for all specialists in applied sciences. In the case of communication associated with geological and environmental risks, the problem is not so much about the information, but how this information is understood by the public. The duties of geoscientists go beyond the application of their knowledge and skills, including communication that must be based on geoethical principles. Communication is a disaster prevention factor and is essential for the management of environmental risks. The article aims to present a diagnosis of the practice of risk and disaster communication by the Civil Defense of Contagem and the improvements proposed based on the diagnosis made. In view of the proposed objective, the study answers the following guiding questions: 1) which means of communication are used by the Civil Defense; 2) what are the characteristics of the communication; 3) what are the possibilities for improvement. The methodology adopted to obtain the answers was interviews with Civil Defense agents, analysis of data from telephone calls from the population to the Civil Defense 199 service telephone, observation and analysis of the communication practice through monitoring of occurrences and field visits, brainstorming on possible alternatives to improve bilateral communication. The result of the diagnosis indicated that the communication of risks and disasters takes place mainly in a unilateral way, and with greater performance in the risk management phases of prevention and response, and there is a gap for communication in the disaster preparedness phase. A pioneering proposal for the municipality related to risk communication is presented: a system for making risk maps and events attended by the Civil Defense available on the internet (*web map*), as well as a proposal for an application to enable communication bilateral and collaboration. It is expected that this system, called Georiscos Contagem, as well as the application, will facilitate access and participation by the population in the management of environmental risks.

Keywords: Risk Communication; Civil Defense; Geoethics

1 Introdução

A redução de desastres faz parte das metas internacionais da ONU - Organização das Nações Unidas, conforme Marco de Sendai para a Redução de Risco de Desastres 2015-2030 (ONU, 2015), documento elaborado após encontro das Nações Unidas celebrado em 18 de março de 2015, na cidade de Sendai, Japão. Este Marco é sucessor da Ação de Kyoto para 2005-2015 que incentiva o aumento da resiliência das nações e comunidades frente aos desastres. O Marco de Sendai sinaliza uma mudança de foco da ONU, até então baseada na resposta frente aos desastres, para a gestão de risco dos desastres. Essa nova perspectiva, além de reforçar a resiliência, inclui aspectos de educação ambiental e comunicação para a prevenção de riscos, além da participação popular e de instituições públicas e privadas como atores sociais importantes.

No Brasil a preocupação com a redução de desastres está expressa na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC (Brasil, 2012), instituída em 10 de abril de 2012, que indica o ciclo de gestão de riscos e desastres composto por 4 fases: prevenção, preparação, resposta e recuperação. Entre outras exigências, prevê a elaboração de mapeamento de processos de risco (deslizamentos, inundações, processos geológicos e hidrológicos) pelos municípios com áreas suscetíveis a esses riscos ambientais, bem como a concepção de plano de contingência, fiscalização e impedimento de ocupação em áreas de risco. Em alinhamento com a PNPDEC, o município de Contagem atualizou em 2017 seu Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR), com a indicação de 126 áreas de risco, apresentadas em 61 cartas na escala de 1:4.000 (Contagem, 2017).

Peppoloni *et al.* (2019) destacam que a prevenção é um valor social a ser seguido para a resiliência das comunidades, e que as estratégias para prevenção devem considerar informações científicas precisas, comunicação de riscos, educação em geociências, bem como ações governamentais. A comunicação de riscos é uma das abordagens da geoética, e, para os geocientistas terem sucesso como intermediários eficazes entre o conhecimento científico e as comunidades leigas, é necessário o desenvolvimento de uma comunicação mais efetiva (Liverman, 2008).

Segundo Harrison & Johnson (2016), pesquisas anteriores sobre colaboração coletiva na comunicação de riscos demonstram sua ampla adoção para ajudar na resposta a desastres, contudo destacam que existe uma lacuna na compreensão do uso governamental desta plataforma para gerenciamento de emergências e para mitigação e preparação a desastres.

1.1 Comunicação de Risco e Geoética

Desastres naturais têm alto custo global e afetam milhões de pessoas todos os anos ao redor do mundo. A falta de planejamento urbano e a ocupação de áreas, como planícies de inundação e encostas com relevo acidentado, colocam algumas regiões em grande risco de desastre. Devido aos efeitos sociais e econômicos para as comunidades afetadas a comunicação se torna um tema de interesse público e pode ser aplicada para minimizar os efeitos negativos dos desastres (Novick *et al.*, 2013; Stewart & Lewis, 2017).

Stewart & Lewis (2017) destacam que a comunicação em geociências para públicos mais amplos, principalmente quando associada a questões de interesse público, requer estilos e estratégias diferentes com uma simplificação da linguagem científica, despojada de jargão técnico e apresentada de formas mais atraentes. Esse é um tema emergente e se enquadra na perspectiva da geoética. A geoética trata da ética relacionada às consequências sociais, econômicas, ambientais e culturais da pesquisa e da prática geológica, fornecendo um ponto de interseção entre geociências, sociologia e filosofia (Moore, 1997; Bosi *et al.*, 2008; Peppoloni & Di Capua, 2012; Peppoloni, 2012; Ruchkys *et al.*, 2019). Para Bobrowsky *et al.* (2017), a geoética busca estruturar conceitos para elucidar ações e comportamentos pautados em valores que possibilitem o equilíbrio entre sustentabilidade e desenvolvimento.

As principais preocupações da geoética são: o desenvolvimento sustentável no uso de recursos geológicos; a gestão adequada de riscos naturais; a comunicação geocientífica e aspectos legais; museologia; a proteção planetária e do patrimônio (Druguet *et al.*, 2013). Em se tratando de interesse público, a comunicação em geociências, incluindo a comunicação de risco, exige uma forte base ética sendo que a responsabilidade profissional vai além do conhecimento científico passando também pela comunicação para comunidades leigas (Stewart & Lewis, 2017).

A comunicação faz parte da gestão de riscos e desastres e envolve a preparação das populações localizadas em áreas de risco buscando diminuir as chances de lesões e mortes (Kirschenbaum *et al.*, 2017). Ela pode ser entendida como um processo interativo de troca de informações e opiniões entre indivíduos, grupos e instituições. Envolve várias mensagens sobre a natureza do risco e outras mensagens, não estritamente sobre risco, que expressam preocupações, opiniões ou reação a mensagens de risco ou a acordos legais ou institucionais para gerenciamento de riscos (NOAA, 2016).

Sanquini *et al.* (2016), ao utilizarem a roteirização de um filme como meio de comunicação de risco, destacam a importância da participação dos membros da comunidade para que a comunicação seja efetiva e cumpra seu papel na prevenção. Contudo, mesmo destacando a comunicação de riscos como uma estratégia importante que faz parte do valor social prevenção, não se deve negligenciar algumas limitações atuais sobre sua eficácia: o que parece óbvio, a saber, que um alto nível de percepção de risco levará a preparação pessoal e ao comportamento subsequente de mitigação de riscos, não é necessariamente verdade, e este ponto deve ser considerado para fins de gerenciamento de risco e comunicação conforme destacado por Wachinger *et al.* (2013).

Historicamente, as comunidades estão excluídas de participação nas decisões de planejamento urbano e suas variantes desde tempos remotos (Atzmanstorfer & Blaschke, 2013). Ferramentas de comunicação de riscos permitem novas formas de decisões participativas, colaboram com o compartilhamento de informações de forma dinâmica, e no tempo adequado para as decisões. Os mesmos autores apresentam uma síntese de estudos em relação a níveis de comunicação com a população, desde a comunicação unilateral que somente informa, até a comunicação bilateral que na etapa mais avançada fortalece a comunidade e fomenta a resiliência. Na Tabela 1, apresenta-se o espectro de comunicação e técnicas de participação pública, o qual foi desenvolvido pela International Association for Public Participation (IAP2) e adaptado por diversos autores.

Dentre as categorias de colaboração bilateral merece destaque o denominado *crowdsourcing*, ou colaboração coletiva, uma promissora área no campo da comunicação que pode ser utilizada na elaboração de mapas participativos no contexto das denominadas Informações Geográficas Voluntárias (VGI) (Sena *et al.*, 2017).

1.2 Crowdsourcing (Colaboração Coletiva) e sua Aplicação em Informações Geográficas Voluntárias (VGI)

O *crowdsourcing* é um modelo de colaboração que utiliza a inteligência e os conhecimentos coletivos e voluntários espalhados pela Internet para resolver problemas, criar conteúdo e soluções ou desenvolver novas tecnologias (Howe, 2006). Um bom exemplo do potencial do *crowdsourcing* são as ferramentas disponibilizadas em *open-source*, tais como a Wikipédia, Flickr, Picasa, Mozilla Firefox, Joomla, Linux e demais aplicações para os diferentes sistemas operacionais (Matos, 2011).

No caso da elaboração de mapas, destaca-se que sua produção também foi influenciada pela difusão das mídias sociais, das tecnologias digitais e da cultura do compartilhamento. O *crowdsourcing* dos mapas é chamado de Informação Geográfica de forma Voluntária (VGI), e permite a produção de informações geográficas por usuários que não tem, necessariamente, conhecimento técnico sobre manipulação de dados espaciais (Sena *et al.*, 2017).

O uso de VGI pode ser um caminho para a produção de informações geográficas e incremento de bases nacionais. As informações podem ser armazenadas e disponibilizadas em mapas interativos (*crowdmap*), que permitem para a população a visão de sua localização no território (Haklay, 2013). Exemplo de aplicação do *crowdsourcing* na gestão de riscos pode ser vista no *web site* Ushahid (<https://www.ushahidi.com>), trata-se de uma plataforma de tecnologia aberta voltada para a elaboração de mapas de crise, por meio de *twitter*, telefones, mídias sociais, *sites* e *emails*. Os mapas gerados são disponibilizados para a população (Gao *et al.*, 2011).

Tabela 1 Espectro e técnicas de participação pública (baseado em Kingston, 2002; Milovanovic, 2003; IAP2, 2007; Hennig & Vogler, 2011; Atzmanstorfer & Blaschke, 2013).

	Comunicação Unilateral		Comunicação Bilateral		
	Informa	Consulta	Envolve	Colabora	Fortalece
Objetivos	Fornecer ao público informações equilibradas e objetivas para ajudá-los a compreender o problema, alternativas, oportunidades e / ou soluções.	Para obter <i>feedback</i> do público sobre análises, alternativas e / ou decisões.	Trabalhar diretamente com o público durante todo o processo para garantir que as preocupações e aspirações do público sejam consistentemente compreendidas e consideradas.	Parceria com o público em cada aspecto da decisão incluindo o desenvolvimento de alternativas e a identificação da solução preferida.	Colocar a decisão final nas mãos do público.
Técnicas	Fichas, planilhas etc.	Comentário público, pesquisas, reuniões públicas.	Oficinas, pesquisa de opinião.	Comitês consultivos de cidadãos, construção de consenso, tomada de decisão participativa.	Júri dos cidadãos, cédulas de votação, decisão delegada
Ferramentas	<i>Sites</i>	Pesquisas on-line	Discussão on-line	Serviços on-line, formulários e documentos em formato eletrônico	Sistemas de suporte de tomada de decisão on-line

Riccardi (2016) apresenta um estudo de caso sobre o uso do *crowdsourcing* nos incêndios florestais de 2012 e 2013 no Colorado e no terremoto do Haiti em 2010. O autor destaca os benefícios desse uso na sociedade atual, sendo que as comunidades se beneficiam já que têm a sensação de que passam a ter algum tipo de controle sobre o desastre.

Harrison & Johnson (2016) destacam que apesar do *crowdsourcing* ser uma ferramenta utilizada por órgãos não governamentais e lideranças comunitárias, há uma lacuna na utilização de *crowdsourcing* por órgãos governamentais responsáveis por gestão de riscos e desastres. Nesse contexto, desenvolvem uma pesquisa com entes governamentais do Canadá e EUA para caracterizar o uso do *crowdsourcing* em todas as fases do ciclo de gestão: prevenção e mitigação; preparação; resposta ao desastre; recuperação e reconstrução. Os autores concluem que o uso

direto do *crowdsourcing* ainda é mais incipiente na fase pré-desastre, ou seja, na prevenção, mitigação e preparação.

1.3 Características da Área de Estudo

O município de Contagem possui área de 195,045 km² e população estimada de 603.442 habitantes (IBGE, 2017). Está localizado à oeste de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, e além da capital, faz divisa com os municípios de Betim, Esmeraldas, Ibirité e Ribeirão das Neves. Possui oito regiões administrativas denominadas Sede, Eldorado, Riacho, Industrial, Ressaca, Nacional, Petrolândia, Vargem das Flores, apresentadas na Figura 1, com ênfase para a Regional Vargem das Flores, campo experimental desta pesquisa.



Figura 1 Município de Contagem e suas 8 regionais, com destaque para Vargem das Flores.

Os principais processos da dinâmica superficial do município são escorregamentos, erosões, inundações, enchentes e alagamentos, quedas de blocos, assoreamento (IPT, 2015; Contagem, 2017). O domínio de rochas gnáissicas do Complexo Belo Horizonte é predominante em Contagem, ocupando quase a área total com a rocha gnaisse, e em proporções menores dioritos e migmatitos. Conforme Parizzi, 2004, os solos residuais formados a partir do gnaisse são suscetíveis à erosão e escorregamentos, e a evolução das erosões para ravinas e voçorocas, juntamente com as ações antrópicas como cortes e desmatamentos, contribuem para a exposição do horizonte C em taludes subverticais que são bastante suscetíveis a escorregamentos. A Figura 2 ilustra uma voçoroca que se formou na Vila Barroquinha, localizada na regional Vargem das Flores em Contagem, com visão da área ainda não ocupada desta voçoroca, com feições erosivas acentuadas e ilhas em seu interior.

Já a Figura 3 apresenta a mesma voçoroca, mas em área habitada, com construções na crista e paredes com

cicatrizes de escorregamentos sob a fundação da moradia. A identificação visual e tátil do solo local foi realizada, e há predominância de areia argilosa no horizonte A mais superficial, e areia siltosa nos horizontes B e C, o que confirma o caráter de suscetibilidade à erosão do material.

Em relação aos processos hidrológicos, conforme o IPT (2015), Contagem apresenta altura pluviométrica média anual de 1450,8 mm, sendo janeiro e dezembro os meses mais chuvosos: 330,5 mm e 327,4 mm respectivamente. Áreas de inundação e alagamentos em períodos chuvosos são comuns no município, principalmente na planície de inundação do Rio Arrudas e seu afluente Córrego Ferrugem.

Destaca-se o mês de janeiro de 2020 que apresentou uma precipitação mensal de 934,7 mm na estação meteorológica de Belo Horizonte (INMET, 2020). Nesse período mais de 200 pessoas ficaram temporariamente desabrigadas, e a utilização das ferramentas de comunicação de riscos e desastres foi importante para a mitigação dos danos.



Figura 2 Vista da área não ocupada da voçoroca da Vila Barroquinha, Contagem, MG.

2 Métodos

O método para o diagnóstico da comunicação de riscos da Defesa Civil de Contagem foi adaptado de Harrison & Johnson (2016), os quais caracterizaram o *crowdsourcing* em órgãos governamentais de proteção e defesa civil do Canadá e EUA, para cada etapa do ciclo de gestão de riscos e desastres.

Foi realizada uma descrição da comunicação de riscos considerando as diferentes etapas do ciclo de gestão

de risco como apresentado na lei PNPDEC (Brasil, 2012) (Figura 4).

Na sequência foram feitas entrevistas semiestruturadas junto a funcionários da Defesa Civil de Contagem abordando: como é praticada a comunicação de riscos; quais são os canais de comunicação utilizados; quais as possibilidades para melhorias considerando a comunicação bilateral. Para compreender o contexto das ocorrências de risco foram realizadas visitas de campo em acompanhamento aos atendimentos da Defesa Civil.

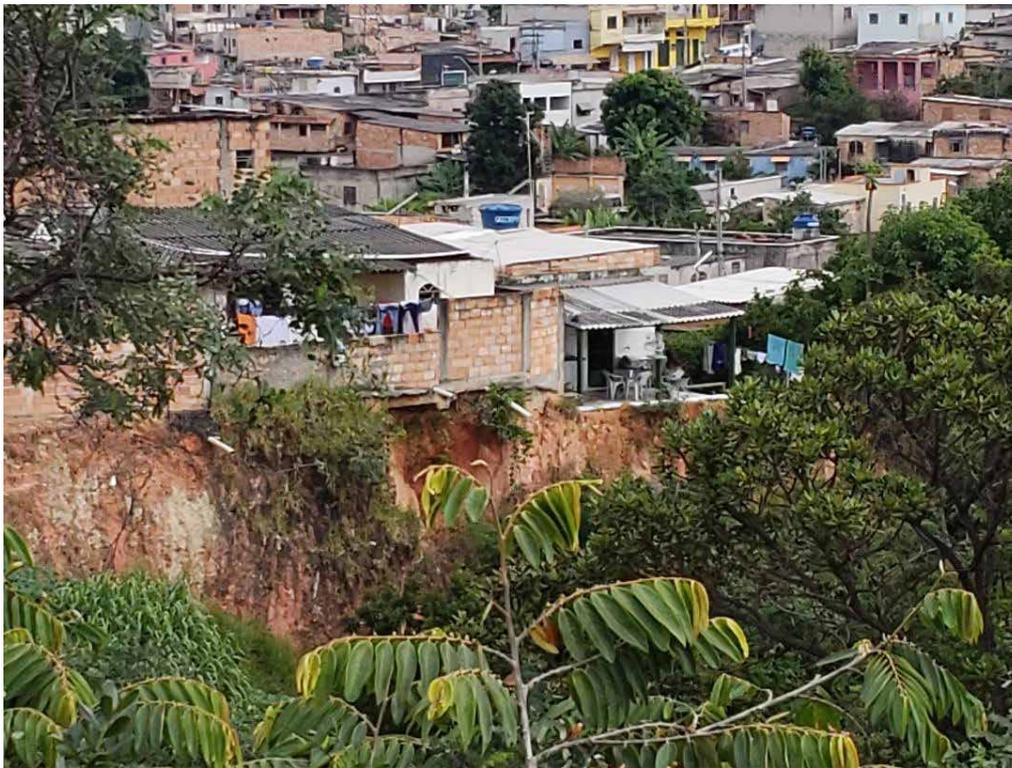


Figura 3 Vista da área ocupada da voçoroca e moradias construídas na crista, Vila Barroquinha, Contagem, MG.



Figura 4 Ciclo de gestão de riscos e desastres conforme etapas descritas na PNPDEC e perguntas norteadoras da pesquisa.

Para verificar se os moradores das áreas mapeadas como críticas por especialistas estavam se comunicando com a Defesa Civil pelo telefone 199, foi realizada uma análise comparativa entre os chamados telefônicos da população para a Defesa Civil e abertura de ocorrências, com as áreas de risco mapeadas no município. A amostra selecionada corresponde a 117 ocorrências da Regional Vargem das Flores, do ano de 2017. Esta amostra representa cerca de 15% das ocorrências anuais do município. Para a análise de ocorrências, a Defesa Civil disponibilizou os registros existentes em uma planilha no *software* Excel. A partir destes dados brutos foi realizada a verificação e complementação de informações, como as coordenadas geográficas do local de cada ocorrência, de forma a possibilitar a geração de um mapa de pontos de ocorrências georreferenciadas no *software* ArcGis, que foi sobreposto ao mapa de áreas de risco de Contagem (2017), possibilitando a análise comparativa das informações.

A última etapa envolveu a proposta de melhorias na comunicação de risco de forma bilateral com abordagem interativa entre a Defesa Civil e os pesquisadores. Foi desenvolvido um *web map* com indicação de ocorrências e áreas de risco georreferenciadas, e uma proposta para aplicativo em celular (APP). O desenvolvimento do *web map* se deu na plataforma de livre acesso do *Google Maps*. A opção pelo software foi para fomentar a participação popular no tema riscos por meio de uma ferramenta simples, de fácil acesso e conhecimento de todos, e evitar a necessidade de investimentos maiores nesta etapa inicial. Nesta plataforma foram plotados os pontos de ocorrências com sua respectiva categorização, os mapas de risco do PMRR, o limite de Contagem e limites de regionais. O desenvolvimento do APP se deu a partir de uma parceria entre a Defesa Civil e a PUC Minas, especificamente com o curso de Engenharia de Software, que realizou a elicitação dos requisitos por meio das técnicas de questionário, entrevista e *brainstorm* com a equipe da Defesa Civil e pesquisadores.

3 Resultados

3.1 Diagnóstico da Comunicação de Riscos

A comunicação de riscos com a população acontece pelos seguintes canais: telefone; mídias sociais; *site* oficial da prefeitura; e por um grupo de aplicativo de mensagens de celular com integrantes da Defesa Civil, de universidades, e de lideranças comunitárias. Na Tabela 2 apresenta-se uma síntese dos canais de comunicação em uso e o acesso aos mesmos; a indicação de qual fase do ciclo de gestão de riscos e desastres, conforme Figura 4, o canal de comunicação é atuante; bem como a classificação do tipo de comunicação adotada, sendo unilateral que informa, ou bilateral que favorece a consulta, envolvimento, colaboração ou fortalece a comunidade. Os critérios para a classificação estão de acordo com os apresentados na Tabela 1.

Dos canais apresentados, o que mantém maior número de interações é o telefone 199, com mais de 700 chamadas no ano de investigação. Contudo, trata-se de um meio de comunicação unilateral na maior parte das vezes, pois o morador faz a ligação, solicita a visita, e as conclusões da vistoria somente são apresentadas posteriormente e por escrito quando solicitadas. O telefone é utilizado quando o morador observa um risco no local, ou mesmo após um desastre para solicitar vistoria. Portanto, o telefone é um canal oficial importante de comunicação na fase de prevenção dos riscos e resposta a um desastre ou evento danoso já ocorrido. As redes sociais também são um canal de informação, atuando nas fases de prevenção com campanhas educacionais e divulgação de informações climáticas e possibilidade de escorregamentos, inundações e outros processos que envolvem riscos. Na fase de resposta, apresenta informações de suporte aos atingidos por um evento danoso. Na fase de reconstrução também são apresentadas as ações governamentais adotadas.

Tabela 2 Canais de comunicação utilizados pela Defesa Civil, aspectos do ciclo de gestão de riscos e desastres, e classificação da comunicação.

Canal de comunicação	Acesso	Fase do ciclo de riscos e desastres	Comunicação Unilateral		Comunicação Bilateral		
			Informa	Consulta	Envolve	Colabora	Fortalece
Telefone	199 ou 3198-8678	Prevenção, Resposta	X				
Rede social	https://www.facebook.com/Defesa-Civil-Contagem-1427528064205801	Prevenção, Resposta, Reparação	X				
<i>Site</i> oficial	http://www.contagem.mg.gov.br/defesa-civil/	Prevenção, Resposta, Reparação	X				
Grupo em aplicativo de mensagens por celular	Grupo denominado NUPDEC Contagem - Núcleo de Voluntários de Proteção e Defesa Civil	Prevenção, Resposta e Reparação	X	X	X	X	

O *site* oficial da prefeitura tem os mesmos aspectos das redes sociais, porém, apesar de ter o mesmo caráter informativo, as redes sociais apresentam a vantagem de indicar pelo número de “likes” um retrato da interação. Os *sites* e redes sociais possuem potencial para a realização de consultas *online*, e fomento da comunicação bilateral.

O grupo em aplicativo de mensagens do celular, denominado NUPDEC, apesar de não possuir caráter de canal de comunicação oficial da Defesa Civil é o que tem possibilitado a comunicação mais abrangente, considerando informação, consulta, envolvimento e colaboração coletiva. Como exemplo, no último evento chuvoso de janeiro de 2020, as lideranças comunitárias filmaram e enviaram fotografias para este grupo, auxiliando a Defesa Civil no monitoramento e priorização de áreas afetadas por alagamentos e inundações, além de informarem no grupo o início de chuvas em determinadas localidades, e indicarem endereços que necessitavam de atendimento. Esse canal ainda permitiu a manifestação de agradecimento em relação às ações de resposta e recuperação realizadas pela Defesa Civil. Em contrapartida, a Defesa Civil também informava sobre os atendimentos e mobilização da equipe. Portanto, um canal de comunicação atuante na prevenção, resposta e recuperação, além de possibilitar uma comunicação bilateral com exemplos de colaboração coletiva, ou *crowdsourcing*.

A partir dos resultados percebe-se que há uma lacuna para a comunicação de riscos na fase de preparação. O grupo NUPDEC de aplicativo de celular, embora não seja um canal oficial de comunicação, é o único que apresenta comunicação bilateral, mas não em todas as etapas do ciclo de gestão de riscos. Buscando suprir as lacunas observadas foram propostos novos canais de comunicação que são o *web map* Georiscos Contagem, e o desenvolvimento de um aplicativo para celular. As características desses canais estão apresentadas na Tabela 3.

3.2 Georiscos Contagem – Web Map com Áreas de Risco e Ocorrências da Defesa Civil

A proposta para desenvolvimento de um *web map* para visualização das ocorrências da Defesa Civil e áreas de risco busca fomentar a comunicação e informar a comunidade sobre as áreas de risco e ocorrências

registradas por chamada telefônica e inseridas na base da Defesa Civil de forma georreferenciada. Foi realizado um estudo comparativo entre as ocorrências georreferenciadas abertas na Defesa Civil e as áreas de risco mapeadas, em um ano de investigação na regional Vargem das Flores. Observou-se a existência de regiões com ocorrências fora de áreas mapeadas; bem como o oposto, ou seja, áreas mapeadas como de risco alto sem nenhum registro de chamada telefônica para a Defesa Civil realizada. A partir desta observação, foi definido em parceria com a Defesa Civil a criação do *web map* Georiscos Contagem que irá informar a população sobre áreas de risco por meio de mapas com dados e imagens georreferenciadas, o que possibilita ao morador digitar seu endereço e verificar em qual categoria de risco sua moradia se encontra, e quais as ocorrências já relatadas próximo de sua residência. Para os agentes da Defesa Civil, o Georiscos Contagem possibilita a localização da ocorrência e acompanhamento do trajeto até o local de forma facilitada.

Foi criado um link de acesso livre para a população, com permissão para visualização do mapa apresentado na Figura 5, bem como as áreas de risco do município. Os arquivos kml com os diversos shapes do Georiscos Contagem estão disponíveis para visualização no aplicativo *google maps* com o seguinte link: <https://is.gd/9xNuLt>.

A tela inicial do Georiscos Contagem (Figura 5 A) apresenta como alternativas de visualização: limite municipal; regiões administrativas; áreas de risco geológico-geotécnico subdivididas em áreas de risco inexistente ou baixo (verde), alto (vermelho), médio (amarelo), muito alto (vermelho escuro); ocorrências da Defesa Civil subdivididas em risco construtivo, interdição, escorregamento, remoção, abatimento de solo, solapamento, drenagem, erosão, inundação, alagamento, desabamento, terreno impróprio, outros; e por fim pontos de alagamentos e inundações observados em janeiro de 2020. A Figura 5 B ilustra um resultado de busca feito por usuário, que possibilita a partir da digitação de um endereço verificar se o local de destino encontra-se em área de risco, qual a classificação do risco no local, e se houve ocorrências da Defesa Civil no local ou próximo dele. No caso, o endereço digitado foi a Vila Feliz, local de risco alto em relação a processos erosivos e escorregamentos, e local de ocorrências da Defesa Civil.

Tabela 3 Canais de comunicação propostos em parceria com a Defesa Civil.

Canal de comunicação	Acesso	Situação	Comunicação Unilateral		Comunicação Bilateral		
			Informa	Consulta	Envolve	Colabora	Fortalece
Georiscos Contagem	Georiscos Contagem (https://is.gd/9xNuLt)	Em implantação	X				
APP Defesa Civil de Contagem	Em desenvolvimento	Em desenvolvimento	X	X	X	X	X

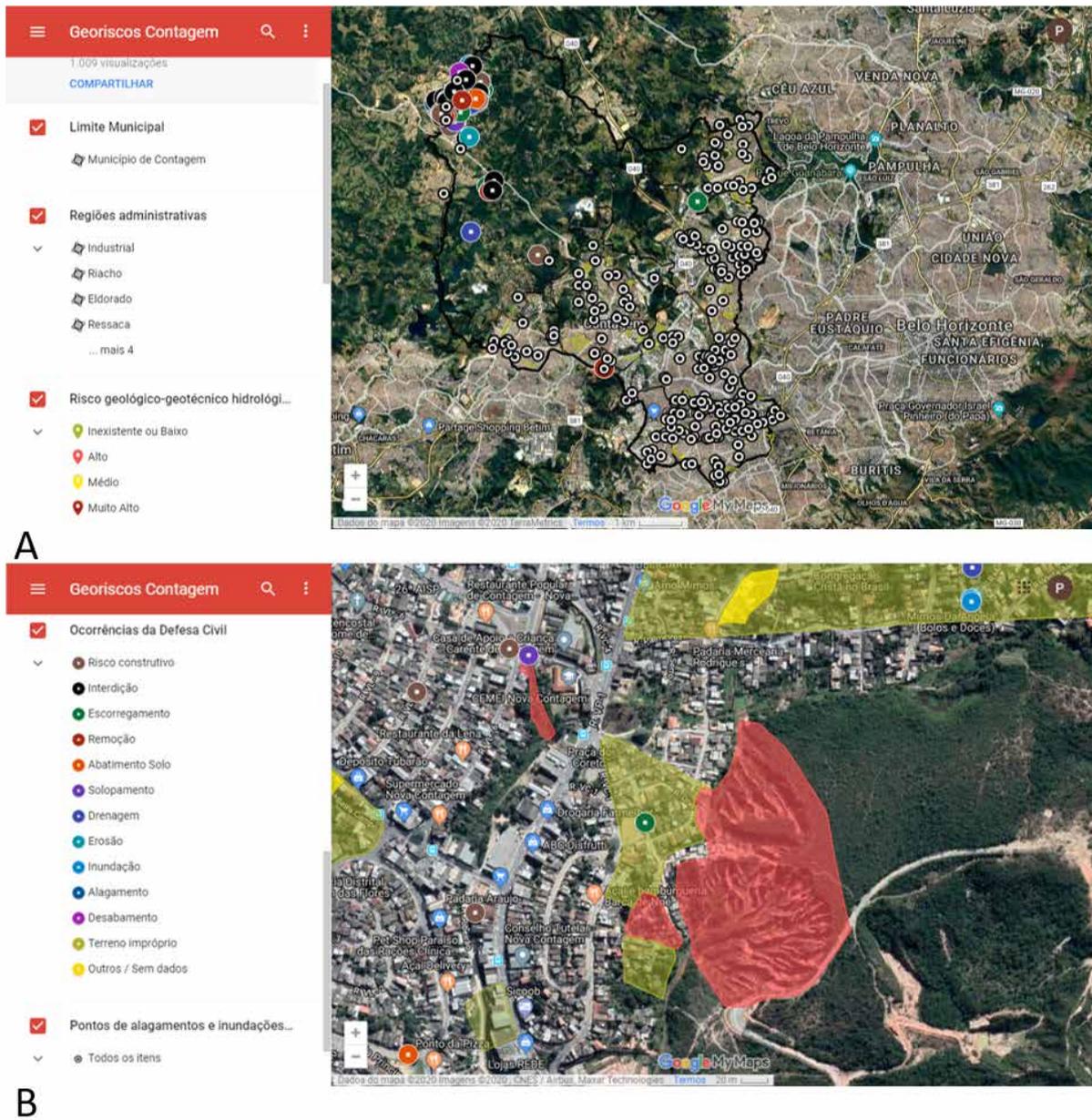


Figura 5 Telas do *web map* Georiscos Contagem: A. Tela inicial com o limite municipal; B. Tela com visualização do bairro Vila Feliz, com legenda de riscos e ocorrências.

A Defesa Civil utilizou o *web map*, em janeiro de 2020 com o evento chuvoso de alta intensidade. Nesse período, o Georiscos Contagem foi utilizado como suporte para os técnicos e indicação de trajetos seguros e áreas críticas. Sobretudo foi utilizado para informar a população sobre as áreas interditadas com risco muito alto de inundações, alagamentos e enchentes. Na Figura 6 apresenta-se a tela com exemplo de áreas interditadas.

3.3 Aplicativo para Celular da Defesa Civil de Contagem

Por meio de uma parceria entre universidade e a Defesa Civil de Contagem, encontra-se em desenvolvimento um aplicativo para celular, de forma a ampliar o espectro de comunicação com a população em risco, de unilateral por meio dos canais tradicionais e do Georiscos Contagem, para comunicação bilateral, ou seja, com informações da

4 Considerações Finais

A comunicação de riscos aplicada na gestão de riscos ambientais pode propiciar uma maior conscientização da população em relação ao território que ocupa. Acredita-se que a partir do conhecimento dos riscos locais, os moradores da Regional Vargem das Flores e demais regionais poderão participar mais ativamente das ações de prevenção e mitigação de riscos, preparação, resposta e reparação, em parceria com a Defesa Civil e outros atores de interesse como ONGs, universidades, geocientistas, engenheiros e outros profissionais.

Um dos maiores desafios para a geoética está associado à comunicação de riscos que deve encontrar alternativas de maior participação da sociedade. Essa questão é indispensável para que a geoética seja incorporada nessa área de atuação dos geocientistas que está muito próxima das comunidades leigas.

Espera-se que as ferramentas aqui propostas, desenvolvidas e implementadas, possam contribuir com o processo de fortalecimento e resiliência das comunidades, permitindo que a população possa efetivamente se envolver e participar das decisões na gestão de riscos e desastres, participar de comissões para julgamento de decisões, e interaja com os serviços disponíveis via internet para gerenciamento de seu território.

5 Referências

- Atzmanstorfer, K. & Blaschke, T. 2013. The Geospatial Web: A Tool to Support the Empowerment of Citizens through E-Participation? In: NUNEZ, C. (ed). Citizen E-Participation in Urban Governance: Crowdsourcing and Collaborative Creativity. Hershey, PA: IGI Global, p. 144-171. DOI: 10.4018/978-1-4666-4169-3.ch009.
- Bobrowsky, P.; Cronin, V.S.; Di Capua, G.; Kieffer, S.W. & Peppoloni, S. 2017. The Emerging Field of Geoethics. In: GUNDERSEN, L.C. (ed.). Scientific Integrity and Ethics with Applications to the Geosciences, Special Publication American Geophysical Union, John Wiley and Sons, Inc. DOI: 10.1002/9781119067825.ch11.
- Bosi, C.; Peppoloni, S. & Piacente, S. 2008. Philosophical and epistemological debate in Italy within an ethical perspective of Earth Sciences. In: Proceedings of the International Geological Congress, 33, Oslo, 2008.
- Brasil. 2012. Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 10 abr. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- Contagem. 2017. Plano Municipal de Redução de Risco - PMRR Contagem - MG - 2a Etapa: Elaboração do Mapeamento das áreas de risco geológico. Fundação Israel Pinheiro - FIP, Governo do Estado de Minas Gerais, Ministério das Cidades, 598 p.
- Druguet, E.; Passchier, C.W.; Pennacchioni, G. & Carreras, J. 2013. Geoethical education: A critical issue for geoconservation. *Episodes*, 36(1): 11-18. DOI: 10.18814/epiiugs/2013/v36i1/003.
- Gao, H.; Wang, X., Barbier, G. & Liu, H. 2011. Promoting Coordination for Disaster Relief: From Crowdsourcing to Coordination. In: Social Computing, Behavioral-Cultural Modeling and Prediction - 4th International Conference, SBP 2011, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science. College Park, MD, USA, 2011, p. 197-204. DOI: 10.1007/978-3-642-19656-0_29.
- Haklay, M. 2013. Citizen Science and Volunteered Geographic Information – overview and typology of participation. In: SUI, D.Z; ELWOOD, S. & GOODCHILD, M.F. (Eds.). Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice. Berlin: Springer, p. 105-122. DOI: 10.1007/978-94-007-4587-2_7.
- Harrison, S. & Johnson, P. 2016. Crowdsourcing the Disaster Management Cycle. *International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management*, 8(4): 17-40. DOI: 10.4018/IJISCRAM.2016100102.
- Hennig, S. & Vogler, R. 2011. Participatory Tool Development for Participatory Spatial Planning: The GEOKOM-PEP environment. In: Jekel, T.; Koller, A. & Vogler, R. (Eds.). Learning with GI 2011: Implementing digital earth in education. Berlin, Offenbach: Wichmann, p. 79-88.
- Howe, J. 2006. The Rise of Crowdsourcing. *Wired Magazine*, 14-06. Disponível em: <<http://www.wired.com/wired/archive/14.06/crowds.html>>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- IAP2. 2007. International Association of Public Participation. Spectrum of Public Participation. Disponível em: <https://cdn.ymaws.com/www.iap2.org/resource/resmgr/pillars/Spectrum_8.5x11_Print.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- IBGE. 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=311860>>. Acesso em: 26 jul. 2019.
- INMET. 2020. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 05 jul 2020.
- IPT. 2015. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Contagem - MG. Rio de Janeiro, 2015. 1 mapa: 144,99 cm x 89,01 cm. Escala 1:25.000. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14926>>. Acesso em: 05 jul 2020.
- Kingston, R. 2002. The Role of E-government and Public Participation in the Planning Process. In: XVI AESOP CONGRESS. July 10th - 14th, 2002. Volos, Greece.
- Kirschenbaum, A.; Rapaport, C. & Canetti, D. 2017. The impact of information sources on earthquake preparedness. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21: 99-109. DOI: 10.1016/j.ijdr.2016.10.018.
- Liverman, D.G.E. 2008. Environmental geoscience; communication challenges. In: Liverman, D.; Pereira, C.P. & Marker, B. (Eds.). Communicating environmental geoscience. Geological Society, London, Special Publications, 305(1): 197-209. DOI: 10.1144/SP305.17.

- Matos, D.S.B.M. 2011. Gestão de Riscos em Crowdsourcing. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Sistemas de Informação, Universidade do Minho, Dissertação de Mestrado, 135p.
- Milovanovic, D. 2003. Interactive Planning - Use of the ICT as a Support for Public Participation in Planning Urban Development: Serbia and Montenegro Cases. In: 39th ISoCaPR CONGRESS, 2003.
- Moore, E.M. 1997. Geology and culture: a call for action. *GSA Today*, 7(1): 7-11.
- NOAA. 2016. National Oceanic and Atmospheric Administration. Risk communication and behavior: Best practices and research findings. Silver Spring, MD: NOAA Social Science Committee.
- Novick, L.F.; Morrow, C.B. & Mays, G.P. 2013. Public Health Administration: Principles for Population-Based Management. Burlington, MA, Jones & Bartlett Learning, 714p.
- ONU. 2015. Organização das Nações Unidas. Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015 - 2030. Ginebra: UNISDR. Disponível em: <https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2018.
- Parizzi, M.G. 2004. Condicionantes e Mecanismos de Ruptura em Taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Tese de Doutorado, 211p.
- Peppoloni, S. 2012. Social aspects of the Earth sciences. Interview with Prof. Franco Ferrarotti. *Annals of Geophysics*, 55: 347-348. DOI: 10.4401/ag-5632.
- Peppoloni, S. & Di Capua, G. 2012. Geoethics and geological culture: awareness, responsibility and challenges. *Annals of Geophysics*, 55(3): 335-341. DOI: 10.4401/ag-6099.
- Peppoloni, S.; Bilham, N. & Di Capua, G. 2019. Contemporary Geoethics Within the Geosciences. In: BOHLE, M. (Eds.). Exploring Geoethics: Palgrave Pivot, p. 25-70. DOI: 10.1007/978-3-030-12010-8_2.
- Riccardi, M.T. 2016. The power of crowdsourcing in disaster response operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 20: 123-128. DOI: 10.1016/j.ijdr.2016.11.001.
- Ruchkys, U.A.; Castro, P.T.A. & Miranda, M.P.S. 2019. Mineração em Geossistemas Ferruginosos e Questões de Geoética: o Caso do Rompimento da Barragem de Córrego do Feijão, Minas Gerais - Brasil. *CONFINS (PARIS)*, 40. DOI: 10.4000/confins.19973.
- Sanquini, A.M.; Thapaliya, S.M. & Wood, M.M. 2016. A communications intervention to motivate disaster risk reduction. *Disaster Prevention and Management*, 25(3): 345-359. DOI: 10.1108/DPM-11-2015-0256.
- Sena, I.S.; Casagrande, P.B.; Da Rocha, N.A.; Fonseca, B.M. & Ruchkys, U.A. 2017. Crowdsourcing and geoprocessing as a support to the elaboration of geotouristic routes. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(8): 1536-1548.
- Stewart, I.S. & Lewis, D. 2017. Communicating Contested Geoscience to the Public: Moving from 'Matters of Fact' to 'Matters of Concern'. *Earth-Science Reviews*, 174: 22-133. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.09.003.
- Wachinger, G.; Renn, O.; Begg, C. & Kuhlicke, C. 2013. The Risk Perception Paradox: Implications for Governance and Communication of Natural Hazards. *Risk Analysis*, 33(6): 1049-1065. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2012.01942.x.

Recebido em: 28/05/2020

Aprovado em: 12/11/2020

How to cite:

Menezes, L.O.; Parisi, M.G.; Ruchkys, U.A.; & Jardim, A.H. 2021. Comunicação em Geociências na Gestão de Riscos e Desastres Ambientais. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44: 37273. DOI 10.1111/j.1539-6924.2021.01942.x

**APÊNDICE G – Artigo 2: Metodologia FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)
aplicada à gestão de riscos de escorregamentos de solo em Porto, Portugal**

**A METODOLOGIA *FMEA* (*FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS*) APLICADA À
GESTÃO DE RISCOS DE ESCORREGAMENTOS DE SOLO EM PORTO, PORTUGAL**
***FMEA* (*FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS*) METHODOLOGY APPLIED TO
THE RISK MANAGEMENT OF LANDSLIDES IN PORTO, PORTUGAL**

**Luciene Oliveira MENEZES^{1 e 2}, António VIANA DA FONSECA^{2 e 3}, Maria Giovana PARISI⁴, Maria
Luisa BORGES⁵**

¹Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte, MG. CEP: 31270-901. Email: cienemenezes@yahoo.com.br;

²Programa Doutoral em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto: CONSTRUCT-GEO. Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto, Portugal. Email: cienemenezes@yahoo.com.br;

³CONSTRUCT-GEO. Dep. Eng^o Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto, Portugal. Email: viana@fe.up.pt;

⁴Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte, MG. CEP: 31270-901. Email: mgsparizzi18@gmail.com

⁵Departamento Municipal de Proteção Civil, Divisão Municipal de Planeamento e Monitorização de Risco. Largo Duque da Ribeira, 47, Porto, Portugal. CEP: 4050-006 Ext. 50033. Email: luisaborges@cm-porto.pt

Introdução

O método *FMEA*

Contexto de riscos

Síntese fisiográfica e geológico-geotécnica do Porto

Metodologia

Análise de suscetibilidade e definição dos taludes avaliados

Etapas do *FMEA* e planilha síntese

Desenvolvimento da ficha de perigosidade

Desenvolvimento da ficha de consequências

Matriz de risco

Resultados e discussões

Índices de perigosidade e consequências por talude

Matrizes de risco

Planilha *FMEA*

Conclusões

Agradecimentos

Referências

RESUMO - A metodologia *FMEA* – *Failure Mode and Effects Analysis* é citada em normas internacionais de gestão de riscos, e com aplicações já conhecidas em barragens e indústrias em geral, que por meio da análise de modos de falha e seus efeitos busca analisar riscos antes que os eventos

danosos se concretizem. O objetivo principal desta pesquisa é propor e adaptar essa metodologia para a gestão de riscos de escorregamentos de solo no âmbito da Proteção Civil do Porto, de forma a possibilitar menores discrepâncias entre avaliadores e fomentar a discussão dos riscos em equipe. Para tal, as seguintes etapas são propostas: i) definição dos taludes a serem avaliados; ii) desenvolvimento de uma ficha de campo para análise de perigosidade e consequências atribuindo pontos para os índices de acordo com sua criticidade; iii) análise do risco com definição de cenários, e combinação dos resultados de perigosidade e consequências em uma matriz e planilha. Foram identificados oito taludes de solo com graus de risco diferentes, e os resultados indicam a aplicabilidade do método *FMEA*, principalmente quando associado à ficha de campo com índices quantitativos, que minimiza as discrepâncias nas análises e facilita a escolha de ações preventivas, mitigatórias ou corretivas.

Palavras-chave: Riscos Geológico-geotécnicos. Proteção e Defesa Civil. Taludes de Solo. *FMEA*

ABSTRACT - The FMEA - Failure Mode and Effects Analysis methodology is cited in international risk management standards, and with use already known in dams and industries in general, which, through the analysis of failure modes and their effects, aims to analyze risks before the events harmful to materialize. The main objective of this research is to propose and adapt the methodology for landslide risk management within the scope of the Civil Protection of Porto, Portugal, in order to allow for lesser discrepancies between evaluators and to encourage the discussion of risks as a team. For such, the following steps are proposed: i) definition of the slopes to be evaluated; ii) development of a field sheet for the analysis of hazards and consequences, attributing points to the indices according to their criticality; iii) risk analysis with definition of scenarios, and combination of hazard and consequences results in a matrix and informative table. Eight soil slopes with different degrees of risk were identified, and the results indicate the applicability of the FMEA method, especially when associated with the field record with quantitative indices, which minimizes discrepancies in the analyzes and facilitates the choice of preventive, mitigating or corrective actions.

Keywords: Geological-geotechnical risks. Civil Protection. Soil Slopes. FMEA.

INTRODUÇÃO

O MÉTODO *FMEA*

Segundo Petronilho (2010), uma das primeiras descrições do método encontra-se na norma *Mil-STD-1629A* (1980), desenvolvida pelo exército americano, e define a forma básica para se analisar um sistema e seus modos de falhas, os impactos potenciais e a gravidade das consequências. A partir do ano de 2000, essas técnicas foram difundidas e atualmente o *FMEA* consta na norma internacional ISO 31010 (2012) como um dos 31 métodos indicados para gestão de riscos de um modo geral. Em síntese, o método avalia riscos em uma matriz bidimensional, que pode ter diferentes eixos a depender da aplicação, como probabilidade de ocorrência de um evento danoso, e no outro eixo as consequências; ou perigo e vulnerabilidade. A ordem da matriz, a definição de quais variáveis serão adotadas para os eixos, e principalmente a forma de se obter essas variáveis (se por análise qualitativa, quantitativa ou semiquantitativa) são as principais adaptações a serem realizadas no método. Além da matriz, os resultados do método são apresentados em uma tabela, com possibilidade de se avaliar vários modos de falha para um mesmo talude e de fácil visualização para discussão em equipe.

CONTEXTO DE RISCOS

Em termos de metas globais para a redução de riscos e desastres há uma mudança de paradigma com o Marco de Sendai, que tem o foco na prevenção de riscos, além da resposta ao desastre, bem como no fortalecimento dos municípios e na gestão integrada dos riscos em diferentes escalas de análise; na recomendação do estudo de mecanismos típicos de deslizamentos em escala local; e na identificação dos principais processos, fatores condicionantes e deflagadores dos movimentos de massa com implementação de ferramentas de análise de estabilidade por equilíbrio limite (UNDRR, 2019). Nesse contexto, a ficha de campo desenvolvida busca considerar análises de estabilidade para definição dos índices de perigosidade, de acordo com as características geotécnicas dos solos locais.

No contexto nacional, a ANEPC – Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil de Portugal, sob a tutela do Ministério da Administração Interna do Estado, é a responsável pelas atribuições no âmbito do planejamento civil de emergência, da previsão e gestão de riscos dentre

outras atribuições. Essa instituição publicou em ANPC (2009) a sugestão para adotar a matriz de risco de 5 x 5 (perigo x consequências), e critérios qualitativos para a determinação desses parâmetros, o que está em alinhamento com o método *FMEA*. No município do Porto, Borges (2017) desenvolveu uma metodologia para análise de risco de taludes rochosos e estabeleceu uma ficha de campo com parâmetros de perigosidade e vulnerabilidade que recebem pontuação de 3, 9, 27, 81 pontos de acordo com a criticidade de cada parâmetro. Para taludes de solo, a presente pesquisa se propõe a desenvolver a ficha de campo buscando coerência, na medida do possível, com o que já foi desenvolvido para taludes rochosos no Porto.

Neste artigo apresenta-se uma proposta de análise qualitativa de risco, com terminologia coerente com as recomendações da ISO 31000 (2018), quais sejam: ameaça - fenômeno que pode causar danos; suscetibilidade - propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado; perigo ou perigosidade - probabilidade de que uma ameaça ou evento ocorra dentro de um determinado período de tempo; exposição - as circunstâncias de exposição a um perigo; vulnerabilidade - o grau de perda de um determinado elemento ou conjunto de elementos afetados por um perigo; consequências - representa perda ou dano potencial dos elementos expostos a partir de análises da exposição, vulnerabilidade e valor dos elementos expostos; e risco - medida da probabilidade e gravidade de um efeito na vida, saúde, propriedade ou meio ambiente. Aplicações destes conceitos relativos a riscos podem ser vistos em Nogueira (2002); Viana da Fonseca et al. (2018) e Lai et al. (2019). O risco, portanto, pode ser ilustrado pela relação Perigosidade (P) *versus* Consequências (C). Ressalta-se que não será calculado o valor monetário das consequências, a qual terá medida qualitativa, assim como a vulnerabilidade e a perigosidade.

SÍNTESE FISIAGRÁFICA E GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DO PORTO

O município do Porto faz parte do distrito do Porto na região norte de Portugal e representa uma área de importância econômica e turística. É margeado ao sul pelo Rio Douro, que nasce em serras espanholas e tem a sua foz entre Vila Nova de Gaia e Porto. A passagem do rio pela cidade e o contexto geológico histórico esculpiram escarpas predominantemente de granito na parte central e

histórica de maior altitude; e em menor proporção observam-se áreas com rochas metamórficas representadas pelos xistos grauváquicos na porção oriental do município, e gnaisses e xistos na porção ocidental e litorânea, dentre outras formações. Taludes em solo são mais facilmente observados nas áreas de rochas metamórficas. Boa parte da área de recarga em planalto e planície intermediária encontra-se hoje urbanizada, e com parte de seus canais fluviais sotopostos. Portanto, surgências nas escarpas de granito nas margens do Douro podem ser observadas, provenientes de canais fluviais e percolações subsuperficiais já modificadas pelas fundações das construções, cortes e aterros realizados no processo de urbanização. A percolação pelas discontinuidades conjuntamente com o sistema de fraturas das rochas graníticas e inclinação elevada condicionam os taludes às quedas de blocos e escorregamentos, sendo que em boa parte dos locais, o risco foi mitigado por obras de estabilização, como observados em áreas mais centrais da cidade, em taludes de granito. Próximo à região da Ponte Arrábida e Via Panorâmica observa-se, além da possibilidade de quedas de blocos, depósitos superficiais sobre os granitos, que associados à declividade e ocorrência de caminhos naturais de drenagem pluvial condicionam o local a movimentos de massa do tipo escorregamento planar ou corrida de detritos. Na parte oriental, nos vales do Rio Tinto e Rio Torto, afluentes de maior aporte para o Douro, observam-se vertentes urbanizadas e com inclinações e exposição das faces dos taludes que por vezes podem condicionar os taludes de xisto grauváquico ou de solo a escorregamentos planares, principalmente quando discontinuidades das rochas ou estruturas reliquias em solo possuem direção e mergulho desfavoráveis. Processos erosivos nos depósitos aluvionares nas margens do Rio Tinto eventualmente são observados, principalmente quando sujeitos a ação antrópica de cortes e aterros. Para estabelecer esse contexto dos riscos no Porto foi realizado o reconhecimento de campo e consulta a referências bibliográficas, tais como a Carta Geotécnica do Porto (CGP) (Porto, 2003), o Plano Diretor Municipal (Porto, 2018, 2020, 2021), e Borges (2017).

METODOLOGIA

ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE E DEFINIÇÃO DOS TALUDES AVALIADOS

A suscetibilidade de escorregamentos de solo foi avaliada anteriormente à escolha dos taludes. Somente após verificada a propensão de ocorrência de escorregamentos em determinada área ou local, partiu-se para análise da perigosidade e risco. As informações de suscetibilidade e das unidades geotécnicas foram obtidas principalmente na CGP (Porto, 2003) e no Plano Diretor Municipal (Porto, 2018, 2020), bem como no reconhecimento de campo realizado no período de outubro de 2020 a fevereiro de 2021 e informações de ocorrências da Proteção Civil. Os seguintes critérios foram definidos para escolha dos taludes: i) que estejam em áreas de risco já mapeadas; ii) que estejam em áreas com feições de escorregamentos ou processos erosivos identificados em campo; iii) que possuam declividade superior a 25° e altura > 5 m, pois segundo CPRM (2018) esse é um critério de definição de taludes com risco potencial; iv) que estejam em local de ocorrência registrada ou próximo; v) com interferências identificadas nas cartas temáticas, quer seja por suscetibilidade geotécnica ou outras condicionantes das cartas de caracterização física e de infraestruturas. Os oito taludes escolhidos para a análise de risco atendem a pelo menos um dos critérios elencados, e são apresentados na Figura 1.

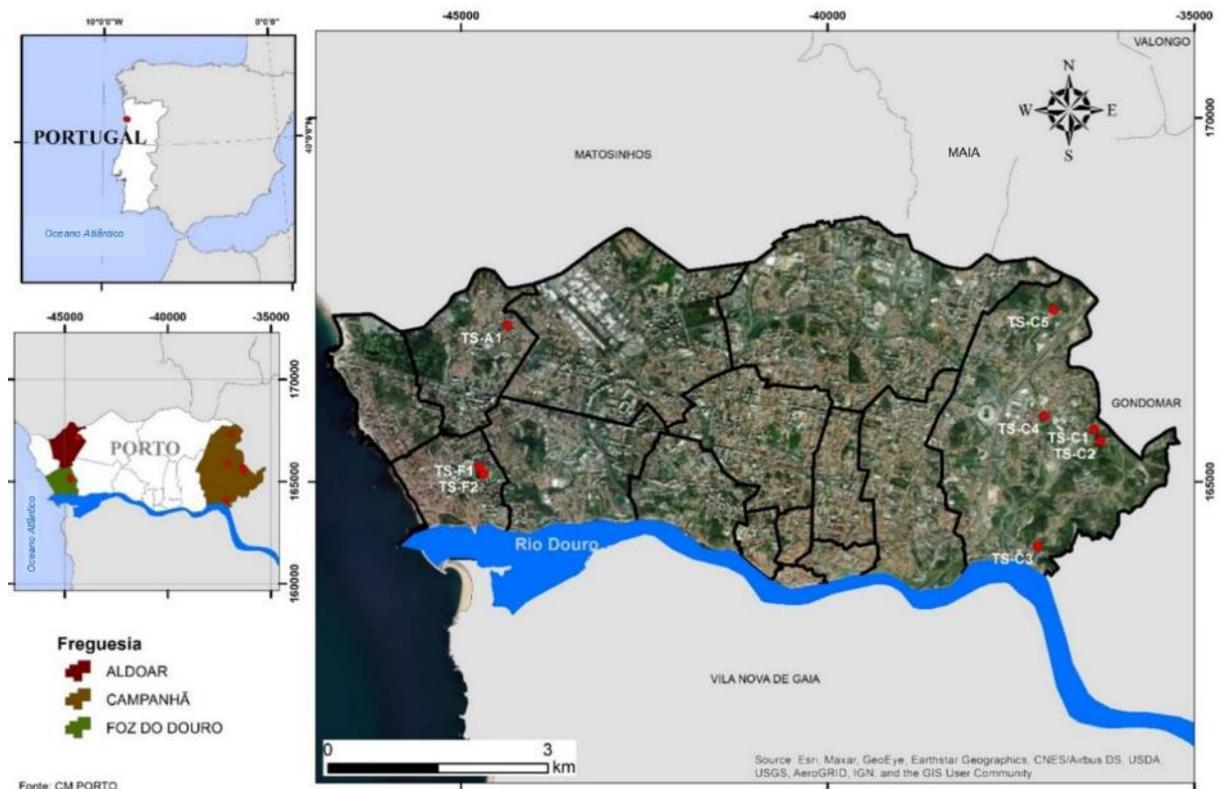


Figura 1- Localização dos taludes avaliados quanto ao risco, no município do Porto, Portugal

Foram priorizadas as áreas: oriental, devido a presença da unidade geotécnica de xisto grauváquico mapeada em Porto (2003) que por vezes origina solos pouco espessos, areno-pedregulhosos, e com estruturas reliquias que condicionam escorregamentos; bem como a parte ocidental da cidade, a qual também possui solos originados de xistos e gnaisses, além do próprio granito. Os taludes são denominados TS-C1, TS-C2, TS-C3, TS-C4 e TS-C5, em Campanhã, e TS-F1, TS-F2 e TS-A1, na Foz do Douro e Aldoar. A Figura 2 apresenta fotos ilustrativas dos taludes avaliados.



Figura 2 – Fotos dos taludes avaliados. a) TS-C1; b) TS-C2; c) TS-C3; d) TS-C4; e) TS-C5; f) TS-A1; g) TS-F1; h) TS-F2.

ETAPAS PROPOSTAS PARA O *FMEA* E PLANILHA SÍNTESE

A partir da ISO 31010 (2012) as etapas de aplicação do método *FMEA* foram adaptadas para utilização em taludes de solo em áreas urbanas monitoradas pela Proteção Civil, e estão apresentadas na Figura 3.

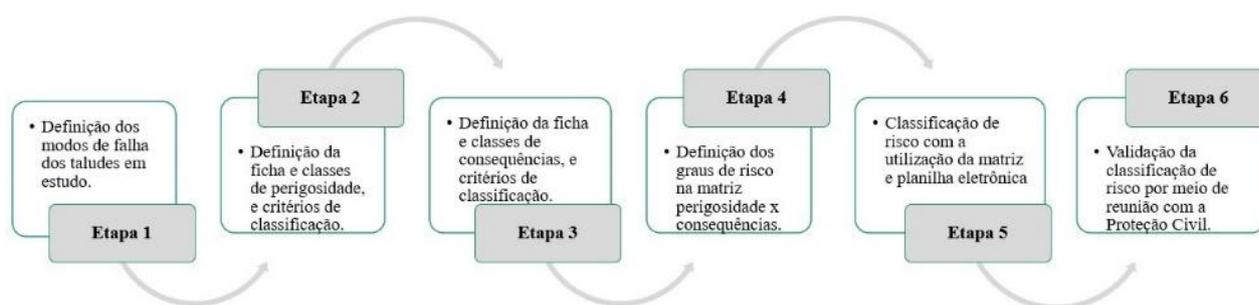


Figura 3 - Etapas de aplicação do método FMEA para riscos de escorregamentos em áreas urbanas. Na etapa 1, foi realizada a análise do histórico de ocorrências e estudo da CGP (Porto, 2003) e demais mapas temáticos (Porto, 2018, 2020) a fim de elencar possíveis mecanismos de ruptura, condicionantes, indícios de instabilidade e possíveis agentes deflagadores de ruptura, confirmados pelos trabalhos de campo, e mais de um cenário de ruptura pode ser avaliado por talude. Já a etapa 2 contemplou a definição da ficha de perigosidade, índices e critérios para definição de classes. Foi

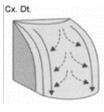
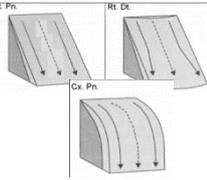
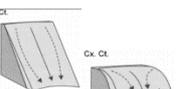
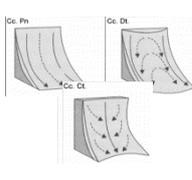
adotada uma tabela de pontos que considera 11 parâmetros a serem avaliados por talude. Após a soma dos pontos de cada índice, enquadra-se o talude em 5 classes de perigosidade. A etapa 3, para definição da ficha e classes de consequências, contempla os mesmos passos da etapa 2, contudo a ficha de consequências possui 5 índices a serem pontuados. A etapa 4 consiste na definição das classes de risco na matriz de perigosidade e consequências, a qual foi adotada com a ordem 5x5. De posse do somatório dos pontos e classes de perigosidade e consequências, aplica-se esse resultado de cada talude na matriz de risco e planilha *FMEA*, que consiste da etapa 5. Já na etapa 6, o resultado da classificação dos riscos dos taludes é discutido em reunião técnica, bem como as ações preventivas, mitigatórias e corretivas.

DESENVOLVIMENTO DA FICHA DE PERIGOSIDADE

Além dos indícios de instabilidade (trincas, surgências, movimentação de árvores e estreitamentos, degraus de abatimento), são consideradas as condicionantes hidrogeomorfológicas, geológico-geotécnicas e de cobertura vegetal (altura e inclinação do talude, forma do talude e sua condição de concentração de água, cobertura vegetal benéfica); bem como se considerou o histórico de ocorrências. A ficha possui quatro faixas de pontuação: 3, 9, 27 e 81 pontos, a serem escolhidas para cada parâmetro de perigosidade e consequências. As referências principais foram Borges (2017), que adota o método *RHRS – Rockfall Hazard Rating System*, para análise de perigosidade e vulnerabilidade de taludes rochosos em Porto, a partir da proposta original de Pierson et. al (1990) para taludes rochosos rodoviários no Estado de Oregon (EUA); Silva (2016), que propôs uma tabela de perigo para taludes rochosos na região de Ouro Preto, MG, Brasil; e Budetta (2004), que adaptou o *RHRS* para taludes rodoviários no sul da Itália. Especificamente para taludes de solo, Pratt & Santi (2014) apresentam um sistema de avaliação de perigo e riscos de escorregamentos de taludes rodoviários de solo para as autoestradas do Colorado (*CLHRS – Colorado Landslides Hazard Rating System*), o qual foi desenvolvido em complemento ao sistema de análise de queda de blocos rochosos usados pelo CDOT – *Colorado Department of Transportation*. O *CLHRS* considera parâmetros relacionados à perigosidade e às consequências. Para fatores de perigosidade cita-se geologia,

cobertura vegetal, aspecto de orientação de vertentes, influência da água de superfície, frequência de descontinuidades e inclinação do talude. Para análise das consequências, os seguintes fatores são considerados: profundidade do plano deslizante, comprimento da rodovia afetada, tráfego médio diário, opções de desvio, tempo de desvio do pior cenário e custo anual de manutenção. Por meio de uma tabela de pontos com faixas de 3, 9, 27 e 81, e multiplicação dos pontos de perigosidade e consequências, os autores chegam a uma pontuação dos parâmetros que é enquadrada em 5 classes de risco. A partir dessas referências, bem como conceitos de CPRM (2018) apresenta-se no Quadro 1 a ficha de perigosidade proposta para escorregamentos planares, circulares e rastejo.

Quadro 1- Ficha de campo para determinação da perigosidade de escorregamentos de solo

Perigosidade		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Condicionantes fisiográficas e geológico-geotécnicas	Altura do talude (I_{AL})	$I_{AL} \leq 5$ m	$5 \text{ m} < I_{AL} \leq 10$ m	$10 \text{ m} < I_{AL} \leq 15$ m	$I_{AL} > 15$ m
	Inclinação do talude (I_{IN})	$I_{IN} \leq 25^\circ$	$25^\circ < I_{IN} \leq 30^\circ$	$30^\circ < I_{IN} \leq 35^\circ$	$I_{IN} > 35^\circ$
	Condições para acúmulo de água superficial, considerando o índice pluviométrico médio para o mês mais chuvoso do ano (I_{AG}) ⁽¹⁾				
	Cobertura superficial benéfica (I_{VG})	Existente área >75% e/ou presença marcante de árvores com raízes profundas	Existente 50% < área <75% e/ou alguma presença de árvores com raízes profundas	Existente 25% < área < 50% e/ou pouca presença de árvores com raízes profundas	Não existente ou existente c/ área < 25%. Inexistência de árvores com raízes profundas e/ou presença de plantas que acumulam água em suas raízes.
Condições estruturais relativas às descontinuidades ou estruturas reliquiárias; e/ou suscetibilidade a processos erosivos (I_{DE})	Sem descontinuidades visíveis e/ou processos erosivos	Uma ou mais descontinuidades com orientação favorável à segurança; e/ou processos erosivos de pequena magnitude (sulcos e/ou erosão laminar)	Uma ou mais descontinuidades com orientação desfavorável à segurança; e/ou processos erosivos de média magnitude (sulcos e ravinas)	Uma ou mais descontinuidades, e/ou erosões de grande magnitude (voçorocas) ou acentuadas. Com orientação desfavorável, saindo na face do talude e possibilidade de escorregamento planar e/ou cunha	
Indícios de instabilidade	Trincas no terreno (I_{TR})	Ausentes	Presentes, mas superficiais	Presentes, concentradas na crista, com profundidade até 10 cm, sem preenchimento por água	Marcantes, concentradas na crista, com profundidade maior que 10 cm, preenchidas ou não com água.
	Grau de saturação/surgência de água/vazamentos e lançamentos de água/esgoto (I_{SU})	Talude seco, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Ligeiramente úmido, sem surgências ou lançamentos/vazamentos	Úmido, com surgências e/ou lançamentos/vazamentos de pequena magnitude	Presença de surgências ou lançamentos/vazamento de água/esgoto significativos
	Árvores inclinadas (se rastejo escorregamento planar); estreitamento de margem de rios ou vias e/ou aumento de volume na base (se escorregamento circular) - (I_{MV})	Ausente	Presente, mas escasso ou suave	Presente	Marcante
	Degrau de abatimento (I_{DG})	Ausente	Presente, mas suave	Presente	Marcante

	Cicatriz de deslizamento (ICD)	Ausente	Presente, mas pequenas magnitudes	Presente	Marcante
Possibilidade de ocorrência de evento danoso	Histórico de ocorrências de movimentos de massa (IH0)	Sem histórico ou desconhecido	1 a 2 ocorrências de movimentos nos últimos 5 anos	1 ocorrência observada anualmente	Múltiplas ocorrências ao longo do ano
Total de perigosidade:	Baixa (1): 22 a 162 pontos	Média-baixa (2): 163 a 243	Média (3): 244 a 405	Média-alta (4): 406 a 648	Elevada (5): 649 a 891

Notas: (1) desenhos de Hugget (1975) segundo Robaina et. al. (2016).

A determinação dos valores para pontuação 3, 9, 27 ou 81 dos índices de perigosidade foram validados por análises de estabilidade, e/ou por referências bibliográficas, e também por análise crítica qualitativa dos resultados das análises de risco dos taludes após a utilização da ficha.

Altura do talude

Para verificar se as alturas de 5, 10, 15, 20 m estão coerentes com as pontuações de 3, 9, 27 e 81 respectivamente, foram atribuídas faixas de FS (Fatores de Segurança) do talude para cada pontuação, de acordo com o nível de segurança requerido, conforme apresenta-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios para pontuação dos índices altura e inclinação

Faixas admissíveis de FS	Condição em relação à segurança	Pontuação atribuída
$FS \geq 1,5$	Normal	3
$1,3 \leq FS < 1,5$	Atenção	9
$1,1 \leq FS < 1,3$	Alerta	27
$FS < 1,1$	Emergência	81

A definição de faixas admissíveis de FS de acordo com a condição do talude e respectiva pontuação, foi estipulada a partir da análise dos FS preconizados pela ABNT NBR 11682 (2009) e práticas para determinação de condições de segurança em barragens como estabelecido em DNPM (2017). Os resultados dos fatores de segurança obtidos nas análises de sensibilidade de um talude hipotético de material de aterro estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Validação das pontuações correspondentes por altura do talude.

Altura (m)	FS obtido	FS atribuído	Validação
5	1,51	$FS \geq 1,5$	$1,52 > 1,5$ ok!
10	1,36	$1,3 \leq FS < 1,5$	$1,36 > 1,3$ ok!
15	1,30	$1,1 \leq FS < 1,3$	$1,29 < 1,30$ ok!
20	1,26	$FS < 1,1$	$1,26 > 1,1$ não ok!

Somente para a altura de 20 m não se obteve $FS < 1,1$, o qual corresponderia à condição de emergência com pontuação máxima (81 pontos). Contudo, como o FS encontrado foi maior (1,26)

manteve-se a relação de 81 pontos para altura de 20 m, a favor da segurança. Foram adotados parâmetros da unidade geotécnica de aterros, por possuir menores valores de coesão e ângulo de atrito dentre as demais unidades do Porto, quais sejam: peso específico total 18 kN/m³; coesão 2 kPa, adotada para evitar o efeito de círculos de ruptura muito superficiais (“casquinhas”), mas que pela CGP seria zero; ângulo de atrito de 28°; sem nível freático, pois conforme a CGP esse nível costuma estar associado com a base do aterro; condição drenada, parâmetros efetivos. Apresenta-se na Figura 4 uma das análises de estabilidade realizadas para verificação dos FS variando com a altura, especificamente a que considera o talude com 5 m de altura e inclinação de 25° (mantida constante nas verificações de FS com variação da altura). Foi utilizado o programa Slide 6.0 da Rocscience, método de Bishop Simplificado. O fator de segurança obtido nesse caso foi de 1,51, o que está coerente com a condição normal de segurança (FS \geq 1,5 conforme Tabela 1), e corresponde a 3 pontos. Portanto, após validação por meio de análises de estabilidade, mantiveram-se as classes de altura e respectivas pontuações conforme Quadro 1.

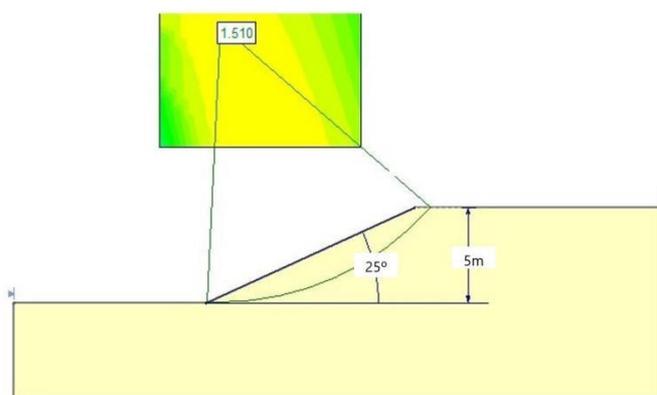


Figura 4 - Análise de estabilidade de talude hipotético, altura 5m, inclinação 25°, sem nível de água, condições drenadas.

Inclinação do talude

Inicialmente as classes de inclinação dos taludes de solo foram 25°; 30°; 40° e 50°. Valores determinados a partir de observação de taludes em campo, pelas informações da CGP (Porto, 2003) sobre inclinações frequentes no município, além de sugestões de referências bibliográficas. Segundo CPRM (2018), a análise de dados japoneses e de experiências em municípios brasileiros, indicam que encostas com inclinação superior a 25° e altura maior ou igual a 5 m já se enquadram na condição

onde recomenda-se delimitar e verificar o perigo e risco potencial para movimentos de massa do tipo escorregamento planar, dentre outros critérios. Já a inclinação do talude de 50°, o que seria correspondente ao patamar de maior pontuação quanto à inclinação (81 pontos), está coerente com o mergulho de descontinuidades observadas em Porto (2003), principalmente nas unidades geotécnicas de formações metamórficas como os xistos grauváquicos, as quais associadas a taludes com face orientada para leste condicionam escorregamentos planares ou cunha, quando a inclinação do talude é maior que o mergulho da descontinuidade. A validação preliminar desses valores de inclinação foi realizada por meio de análises de estabilidade para um talude hipotético da unidade geotécnica de aterros, com parâmetros já apresentados. Fixando a altura em 5m, e variando a inclinação do talude em 25°, 30°, 40° e 50°, similar ao método de verificação para o parâmetro altura, os fatores de segurança encontrados inicialmente foram 1,51; 1,27; 1,02 e 0,80. Para a inclinação de 40° e 50° os valores ficaram aquém dos intervalos especificados na Tabela 1. Portanto, optou-se por alterar as classes de inclinações para 25°, 30°, 35° e 40°, para atribuir respectivamente 3, 9, 27 e 81 pontos conforme Quadro 1. Os novos fatores de segurança encontrados e a validação das classes estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Validação das pontuações correspondentes por inclinação do talude.

Inclinação do talude (graus)	FS obtido	FS atribuído	Validação
25	1,51	$FS \geq 1,5$	$1,51 > 1,5$ ok!
30	1,27	$1,3 \leq FS < 1,5$	$1,27 \geq 1,3$ ok!
35	1,15	$1,1 \leq FS < 1,3$	$1,1 \leq 1,15 < 1,30$ ok!
40	1,02	$FS < 1,1$	$1,02 < 1,15$ ok!

Acúmulo de água superficial no talude

A forma das encostas e taludes interferem na condição de acumulação ou espraiamento da água superficial. Hugget (1975) estabelece nove combinações de forma de vertentes relacionadas às curvaturas vistas em perfil e em planta. As encostas com curvaturas verticais côncavas tendem a ser mais críticas quanto à acumulação de água superficial, portanto foram relacionadas com a pontuação máxima na tabela de perigosidade (81 pontos). Já para a encosta convexa no perfil vertical e contorno horizontal foi atribuída a pontuação mínima (3 pontos). Para as encostas com perfil vertical planar ou convexo e contorno horizontal da mesma forma, foi atribuído 9 pontos. E por fim, para encostas com

perfil vertical planar ou côncavo e contorno horizontal côncavo, foi atribuído 27 pontos, conforme Quadro 1.

Cobertura superficial benéfica

Embora a influência da vegetação para a estabilidade de taludes ainda não seja considerada de forma generalizada nas análises, inúmeras pesquisas apresentam resultados favoráveis no FS do talude devido à vegetação (Li et al., 2021; Wu et. al., 2015; Fiori & Carmingnani, 2009). Li et. al. (2021) construíram um modelo de avaliação da vegetação no FS com variação no tempo (considerando o crescimento da vegetação), e obtiveram resultados dos acréscimos na segurança para seis padrões de *layouts* de vegetação com diferentes combinações, além de uma encosta sem vegetação para comparação. Nesse estudo, os autores apresentam que o FS das encostas com vegetação aumentou de 12,1% para 49,6% em relação à encosta sem vegetação; sendo que ao considerar a força do vento na copa das árvores o ganho não foi tão elevado, pois o FS passou de 3,5% para 43,5%, mesmo assim com benefícios ainda significativos. As misturas de vegetação de árvores e gramíneas resultaram na melhor estabilidade de encostas. Portanto, adotou-se nesta pesquisa para as classes de pontuação quanto à vegetação uma combinação de área coberta por gramíneas ou pequenos arbustos conforme Pratt & Santi (2014), e árvores robustas devido ao seu benefício caso suas raízes ultrapassem a superfície de ruptura provável.

Critérios para pontuação quanto às discontinuidades e processos erosivos

As discontinuidades são condicionantes importantes para os solos residuais graníticos do Porto, mas principalmente para solos residuais metamórficos. Para as unidades geotécnicas relativas a maciço rochoso, as discontinuidades são relevantes, contudo, estes taludes não são avaliados nesta pesquisa. Os taludes das unidades de formações sedimentares possivelmente recebem nota 3 neste quesito, por não possuírem estruturas reliquias, a não ser que apresentem processos erosivos. Inclusive, foi acrescentado o critério de erosões em sulcos, ravinas e voçorocas para que a ficha possa ser utilizada também em solos residuais de gnaisses ou outras formações que são mais homogêneas e com comportamento geotécnico menos influenciado pelas estruturas reliquias. A classificação de

9 pontos foi definida para o talude que apresentar uma ou mais descontinuidades favoráveis à segurança, ou seja, com mergulho para dentro do talude. Já a pontuação de 27 pontos foi adotada para descontinuidades com mergulho em direção à face, independente do ângulo. Este critério foi adotado pois mesmo descontinuidades no sentido da face do talude, porém, sem interceptar a mesma por ter ângulo de mergulho maior que a inclinação da face, favorecem a percolação preferencial de água no plano da descontinuidade e podem condicionar escorregamentos plano circulares ou poligonais. A pontuação de 81 pontos será para descontinuidades com mergulho inferior à inclinação da face do talude, ou mais descontinuidades que condicionem escorregamentos planares e/ou cunha.

Trincas no terreno

As trincas representam um importante indício de instabilidade de taludes, pois, indicam que a movimentação do terreno está a ocorrer e geralmente a direção do movimento é perpendicular à direção das trincas. CPRM (2018) apresenta a classificação de perigosidade em relação ao parâmetro trincas com 3 graus de criticidade: ausente, presente e marcante. Para esta pesquisa foi adotado o critério desse autor, contudo adaptado para os 4 graus de criticidade propostos no Quadro 1, bem como o acréscimo da condição de fenda de tração preenchida ou não com água, por ser esse fator representativo para o FS do talude.

Critérios para pontuação das surgências

Conforme Fiori & Carmingnani (2009) os escorregamentos podem ocorrer por aumento do grau de saturação do solo e consequente perda de coesão aparente; desenvolvimento de pressão neutra, o que diminui a tensão efetiva; aumento do peso total do solo pelo acréscimo de saturação; desenvolvimento de pressões hidrostáticas sobre a massa do solo ou rocha pelo acúmulo de água em fendas ou trincas; aumento da percolação por causa do fluxo subsuperficial, entre outros efeitos. CPRM (2018) define este indício de instabilidade, grau de Saturação/Surgência, como determinado grau de umidade constante da encosta, inclusive em períodos secos (baixa pluviosidade), e o classifica desde ausente, presente e um terceiro grau de criticidade como marcante, com quantidades

consideráveis de água minando da encosta. A partir desses conceitos definiram-se os critérios de classificação das surgências conforme apresentado no Quadro 1.

Árvores inclinadas, estreitamento de margens de vias/rios ou aumento de volume na base

CPRM (2018) definiu como indício de instabilidade para escorregamento planar e rastejo, árvores inclinadas em 3 graus de criticidade: ausente, presente e marcante; bem como definiu como indício de escorregamento rotacional, deformações no sopé da encosta ou estreitamento de margens de rios e aumento do volume na base, em 2 graus de criticidade: presente ou marcante. A partir desse conceito, foram definidas 4 classes de perigosidade para este parâmetro: ausente (3 pontos); presente, mas escasso ou suave (9 pontos); presente (27 pontos); e marcante (81 pontos), conforme Quadro 1.

Degrau de abatimento

CPRM (2018) define degrau de abatimento como uma fenda em estágio avançado, com deslocamento vertical, para baixo, de um nível do terreno em relação ao outro, e classificou este parâmetro como ausente, presente ou marcante para fins de análise da perigosidade em escorregamentos rotacionais. Estes critérios foram adaptados conforme Quadro 1.

Cicatrizes de deslizamento

A CPRM (2018) define cicatrizes de deslizamentos como movimentos de massa anteriores que deixam marcas (cicatrizes) na encosta, na forma de áreas sem vegetação com solo ou rocha exposta. No sopé da encosta pode haver também acúmulo de solo junto de vegetação soterrada. Esse autor utilizou a cicatriz de deslizamento somente para escorregamentos planares, e dividiu nas classes: ausente, presente e marcante. Esses critérios foram adaptados e se utilizou as cicatrizes tanto para escorregamentos planares ou rotacionais, com as classes: ausente (3 pontos); presente, mas com pequenas magnitudes (9 pontos); presente em mais de um ponto na encosta (27 pontos); marcante (81 pontos).

Histórico de ocorrências ou previsão de movimentos de massa

Foram adotados os critérios de classificação de Pratt & Santi (2014) quanto às classes de perigosidade para ocorrências de movimentos de massa, os quais são: para o desconhecimento de

ocorrências de movimentos de massa ou sem ocorrências, se atribui 3 pontos; para de 1 a 2 ocorrências nos últimos 5 anos, 9 pontos; para 1 ocorrência observada anualmente, se atribui 27 pontos; e para múltiplas ocorrências durante o ano, atribui-se 81 pontos, conforme apresentado no Quadro 1.

Definição das classes de perigosidade

As seguintes etapas foram seguidas para definir os critérios de pontuação de perigosidade para taludes em solo, de forma a possibilitar a aplicação do resultado de pontos da tabela de perigosidade na matriz de risco: i) estudo e consideração dos critérios qualitativos para classificação de perigosidade apresentados em ANPC (2009); ii) estudo e consideração de parâmetros de perigosidade e escala de pontuação conforme considerações de Borges (2017); Pratt & Santi (2014); CPRM (2018) e Campos (2011); iii) Validação dos critérios de divisão dos intervalos de classes de perigosidade por meio de simulações de combinações de pontos e reunião técnica, e/ou avaliação de FS dos taludes. Os intervalos de classes de perigosidade e critérios estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Critérios para divisão de classes de perigosidade

Classes de Perigosidade (ANPC, 2009)	Critérios para classificação (ANPC, 2009)	Intervalos de classes (i)	Detalhamento dos critérios adotados nesta pesquisa para a definição dos intervalos de classes (2)
Baixa (1)	- Poderá ocorrer apenas em circunstâncias excepcionais. - Pode ocorrer uma vez em cada 500 anos ou mais (< 0,2% chance de ocorrência em um ano qualquer).	33 a 162	O limite de 162 pontos (6x27) foi definido a partir das seguintes situações limítrofes: i) 4 parâmetros de 27 pontos + 5 parâmetros de 9 pontos + 3 parâmetros de 3 pontos (total 162 pontos); ii) 1 parâmetro de 81 pontos + 2 parâmetros de 27 pontos + 8 parâmetros de 3 pontos (total 159 pontos); iii) 5 parâmetros com 27 pontos + 1 parâmetro com 9 pontos + 5 parâmetros com 3 pontos (total 159 pontos); iv) Qualquer outra combinação, com no máximo 1 parâmetro de 81 pontos e 5 parâmetros de 27 pontos.
Média-baixa (2)	- Não é provável que ocorra. - Não há registros ou razões que levem a estimar que ocorram. - Pode ocorrer uma vez em cada 100 anos (<=1% de chance de ocorrência em um ano qualquer).	163 a 243	O limite de 243 pontos (9x27) foi definido a partir das seguintes situações limítrofes: i) 2 parâmetros de 81 pontos + 2 parâmetros de 27 pontos + 1 parâmetro de 9 pontos + 6 parâmetros de 3 pontos (total 243 pontos); ii) 8 parâmetros de 27 pontos + 3 parâmetros de 9 pontos (total 243 pontos); iii) Qualquer outra combinação, com no máximo 2 parâmetros de 81 pontos e 8 parâmetros de 27 pontos.
Média (3)	- Poderá ocorrer em algum momento. - E ou com uma periodicidade incerta, aleatória, e com fracas razões para ocorrer. - Pode ocorrer uma vez a cada 20 anos. - Pode ocorrer em períodos entre 20 a 50 anos (de 2% a 5% de chance de ocorrência em um ano qualquer).	244 a 405	O limite de 405 pontos (15x27) foi definido a partir das seguintes situações limítrofes: i) 4 parâmetros de 81 pontos + 2 parâmetros de 27 pontos + 2 parâmetros de 9 pontos + 3 parâmetros de 3 pontos (total de 405 pontos); ii) Outras combinações sendo com máximo 4 parâmetros de 81 e 11 parâmetros de 27 pontos.
Média-alta (4)	- Irá provavelmente ocorrer em quase todas as circunstâncias. - E ou registros regulares de incidentes e razões fortes para ocorrer. - Pode ocorrer uma vez em cada cinco anos.	406 a 648	O limite de 645 pontos (arredondado para 648 (24x27) foi definido a partir das seguintes situações limítrofes: i) 7 parâmetros com 81 pontos + 2 parâmetros com 27 + 2 parâmetros com 9 pontos + 2 parâmetros com 3 pontos; ii) Outras combinações com máximo 7 parâmetros de 81 e 11 parâmetros de 27 pontos.

	- Pode ocorrer uma vez em períodos de 5 a 10 anos (de 10% a 20% de chance de ocorrência em um ano qualquer).		
Elevada (5)	- É expectável que ocorra em quase todas as circunstâncias. - E ou nível elevado de incidentes registrados. - E ou fortes evidências. E ou forte probabilidade de ocorrência do evento. - E ou fortes razões de ocorrer. - Pode ocorrer uma vez por ano ou mais (próximo de 100% de chance de ocorrência em um ano qualquer).	649 a 891	Qualquer combinação de pontos superior a 649 e até 891 (11x81).

Nota (1): Divisão de classes mantendo o padrão de BORGES, 2017, com 11 parâmetros de análise de perigosidade. Portanto, a pontuação mínima é 33 (11 x 3 pontos), a pontuação máxima é 891 (11 x 81 pontos), e limites de classes sempre múltiplos de 27. Contudo, as pontuações limítrofes dos intervalos foram verificadas de forma a atender os critérios de classes de perigosidade de ANPC, 2009, bem como adaptar a metodologia para taludes de solo. Nota (2): Para verificar os limites dos intervalos foram testadas várias combinações na matriz de perigosidade de ordem 4 x 11.

DESENVOLVIMENTO DA FICHA DE CONSEQUÊNCIAS

Para consequências, procurou-se reunir parâmetros de exposição (ocupação do talude, relação entre afastamento da moradia à base do talude/altura do talude); parâmetros de vulnerabilidade das edificações (condições das moradias ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos e largura da plataforma para contenção do escorregamento antes que atinja a moradia ou estrutura); e condicionantes do contexto urbanístico (como áreas turísticas, de interesse ambiental, social ou arqueológico). Cada parâmetro recebeu uma nota de 3, 9, 27 ou 81 pontos de acordo com seus graus de ocorrência ou relevância, sendo quanto maior a pontuação, maior criticidade. E para cada parâmetro buscou-se a validação em referências, ocorrências, e análise técnica qualitativa após o resultado da avaliação do risco com a tabela de consequências, apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 - Ficha de campo para determinação das consequências

Consequências		3 pontos	9 pontos	27 pontos	81 pontos
Exposição de elementos	Ocupação do Talude	Nula	Agrícola	Logradouro	Habitacional ou equipamento coletivo
	Afastamento da moradia/estrutura à base do talude/altura do talude	$A/H \geq 2/1$	$2/1 > A/H \geq 1/1$	$1/1 > A/H \geq 1/3$	$A/H \leq 1/3$
Vulnerabilidade das construções e capacidade de se antever ao escorregamento	Condições das moradias, ou estruturas como vias, estabelecimentos comerciais, turísticos, etc.	Visualmente resistentes ao movimento de massa e/ou que tenham um anteparo de proteção que favoreça a destruição mínima ou nula em caso de serem atingidas pelo escorregamento	Visualmente bem construídas, sem danos estruturais, com provável pouca destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais visíveis ou pouco resistentes, com provável significativa destruição se atingida por movimentos de massa	Com danos estruturais marcantes ou baixa resistência, com destruição integral se atingida por movimentos de massa
	Largura da plataforma	>9 m	6 a 9 m	3 a 6 m	< 3 m

Valor dos elementos expostos e custo de recuperação	Condicionantes do contexto urbanístico	Zonas interditas, e com mais nenhum condicionante urbanístico	Zonas habitacionais, e com até mais 1 condicionante urbanístico	Zonas de atração turística, uma vez que o trânsito de pessoas nessa área é bastante superior, e com até mais 2 condicionantes urbanísticos	Zonas de grande trânsito de pessoas, como edifícios públicos, áreas comerciais, etc., e com 3 ou mais condicionantes urbanísticos
Total de consequências:	Residual (1): 15 a 54	Reduzida (2): 55 a 108	Moderada (3): 109 a 189	Acentuada (4): 190 a 297	Crítica (5): 298 a 405

Ocupação do talude

Foram adotados os critérios de classificação de Borges (2017) quanto às pontuações para a ocupação do talude. Este parâmetro relaciona-se com os elementos expostos, sendo atribuídos 3 pontos para ocupação nula; 9 pontos para agrícola; 27 pontos para logradouros; 81 pontos para áreas habitacionais ou de equipamentos coletivos. A carta de Qualificação do Solo apresentada no PDM (Porto, 2020) foi consultada além da observação deste quesito em campo.

Afastamento da moradia

Foram adotados os critérios de classificação de Campos (2011), obtido a partir de experiência em áreas de risco de Belo Horizonte, onde a relação entre o afastamento da moradia (construção, estrutura ou via) em relação à altura do talude oferece indícios da exposição deste elemento ao movimento de massa. Este parâmetro se relaciona à probabilidade do material escorregado atingir pessoas ou estruturas.

Condições da moradia

A CPRM (2018) emprega quatro classes de vulnerabilidade segundo as condições das moradias, desde muito alta, que considera edificações precárias associadas a assentamentos não legalizados espalhados pelas várias regiões brasileiras; até baixa vulnerabilidade, que considera as construções que apresentam laudo técnico que assegure a integridade da edificação para determinado tipo de movimento de massa, apesar de estar localizada em áreas de perigo. Inclusive, as condições das moradias são o único parâmetro de vulnerabilidade avaliado por este autor, o qual se justifica pela importância desse fator na análise de risco de áreas críticas no Brasil. Para esta pesquisa adotou-se

como ponto de partida CPRM (2018), e se estabeleceu o parâmetro de condições da moradia em quatro classes de pontuação descritas no Quadro 1, para adequação às condições do Porto.

Largura da plataforma

A largura da plataforma é onde as pessoas ou veículos circulam, e que condiciona a possibilidade de se desviarem do material escorregado. Foi adotado por Borges (2017), para taludes rochosos do Porto. Optou-se por manter este fator, além do alcance, pois trata-se de um conceito diferente do afastamento da moradia em relação à altura do talude. No item de afastamento, o objetivo é estimar a probabilidade de atingimento de uma construção fixa, e pondera em relação à altura do talude se a moradia será atingida, levando em consideração pesquisas que relatam os alcances médios de escorregamentos de solo. Já a largura da plataforma, expressa a condição de possíveis elementos expostos transitando próximo ao talude no momento do escorregamento, como pessoas e veículos, e a possibilidade de se desviarem do material rompido. Além de verificar a capacidade de retenção da massa rompida, independente da altura do talude.

Contexto urbanístico

O parâmetro contexto urbanístico foi adotado por Borges (2017) para taludes rochosos do Porto, e expressa a possibilidade de taludes inseridos em diferentes contextos quanto às condicionantes da ocupação e uso da área. Foram adotadas quatro classes de pontuações: zona interdita; zona habitacional; zona de atração turística; zona com grande afluência de pessoas; acrescentando a ocorrência de um ou mais condicionantes urbanísticos, que podem estar relacionados a domínio hídrico; espécies florestais protegidas, árvores e arvoredo de interesse público; patrimônio edificado, incluindo áreas de patrimônio arqueológico, arquitetônico, natural; estabelecimentos prisionais; de Defesa Nacional; rede elétrica, gasoduto, oleoduto; rede rodoviária, ferroviária e aeroportos; farol, marcos e áreas de servidão de abastecimento de água.

Definição das classes de consequências

As consequências são avaliadas no Quadro 2 somente em relação à segurança da população. Contudo, na planilha *FMEA* e no estabelecimento de classes de consequências conforme se apresenta

na Tabela 5, também são descritos os critérios para avaliar as consequências de um evento danoso para os sistemas meio ambiente e para a socioeconomia, o que está alinhado com ANPC (2009) e UNDRR (2019). A consequência é classificada segundo 5 (cinco) categorias, variando de desprezível a extrema. Os critérios qualitativos de divisão dos intervalos de classes foram adotados conforme ANPC (2009). Contudo, para as classes reduzida e moderada, quanto ao impacto no meio ambiente e socioeconomia, foram adotados os critérios de Petronilho (2010) e Espósito & Palmier (2013).

Tabela 5 - Critérios para divisão de classes de consequências

Classes de Consequências (ANPC, 2009)	Critérios para classificação (ANPC, 2009)	Intervalos de classes ⁽¹⁾	Detalhamento dos critérios adotados nesta pesquisa para a definição dos intervalos de classes ⁽²⁾
Residual (1)	<p><i>População:</i> Não há feridos nem vítimas mortais. Não há mudança/retirada de pessoas ou apenas de um número restrito, por um período curto (até 12 horas). Pouco ou nenhum pessoal de apoio necessário (não há suporte ao nível monetário nem material). Danos sem significado.</p> <p><i>Ambiente:</i> Não há impacto no ambiente, ou é não mensurável.</p> <p><i>Socioeconomia:</i> Não há ou há um nível reduzido de constrangimentos na comunidade. Não há perda financeira.</p>	15 a 54	Intervalos apresentados para a proteção Civil, validados por análise da coerência dos resultados, bem como após a utilização desses critérios e em Contagem e comparação com o resultado do PMRR, 2017.
Reduzida (2)	<p><i>População:</i> Pequeno número de feridos, mas sem vítimas mortais. Algumas hospitalizações e retirada de pessoas por um período inferior a 24 horas. Algum pessoal de apoio e reforço necessário. Alguns danos.</p> <p><i>Ambiente:</i> Pequeno impacto no ambiente sem efeitos duradouros.</p> <p><i>Socioeconomia:</i> Disrupção (inferior a 24 horas). Alguma perda financeira.</p>	55 a 108	Intervalos apresentados para a proteção Civil, validados por análise da coerência dos resultados, bem como após a utilização desses critérios e em Contagem e comparação com o resultado do PMRR, 2017.
Moderada (3)	<p><i>População:</i> Tratamento médico necessário, mas sem vítimas mortais. Algumas hospitalizações. Retirada de pessoas por um período de 24 horas. Algum pessoal técnico necessário. Alguns danos.</p> <p><i>Ambiente:</i> Impacto Significativo e reversível no habitat</p> <p><i>Socioeconomia:</i> Alguma disrupção (superior a 24 horas). Alguma perda financeira.</p>	109 a 189	Intervalos apresentados para a proteção Civil, validados por análise da coerência dos resultados, bem como após a utilização desses critérios e em Contagem e comparação com o resultado do PMRR, 2017.
Acentuada (4)	<p><i>População:</i> Número elevado de feridos e de hospitalizações. Número elevado de retirada de pessoas por um período superior a 24 horas. Vítimas mortais. Recursos externos exigidos para suporte ao pessoal de apoio. Danos significativos que exigem recursos externos.</p> <p><i>Ambiente:</i> Impacto significativo no habitat, grande, porém reversível.</p> <p><i>Socioeconomia:</i> Funcionamento parcial da comunidade com alguns serviços indisponíveis. Perda significativa e assistência financeira necessária.</p>	190 a 297	Intervalos apresentados para a proteção Civil, validados por análise da coerência dos resultados, bem como após a utilização desses critérios e em Contagem e comparação com o resultado do PMRR, 2017.
Crítica (5)	<p><i>População:</i> Grande número de feridos e de hospitalizações. Retirada em grande escala de pessoas por uma duração longa. Significativo número de vítimas mortais. Pessoal de apoio e reforço necessário.</p> <p><i>Ambiente:</i> Impacto ambiental significativo e ou danos permanentes.</p> <p><i>Socioeconomia:</i> A comunidade deixa de conseguir funcionar sem suporte significativo.</p>	298 a 405	Qualquer combinação de pontos superior a 298 e até 405.

MATRIZ DE RISCO

A perigosidade e consequências determinam o risco de ruptura do talude, que será apresentado em uma matriz de ordem 5 x 5, perigosidade x consequências. A ordem da matriz e divisão de classes de

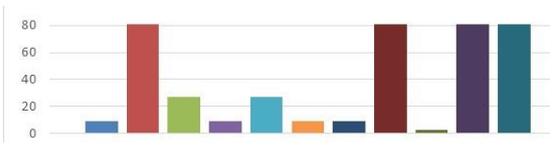
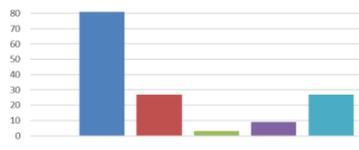
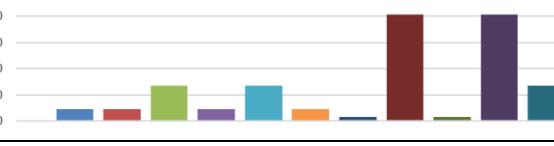
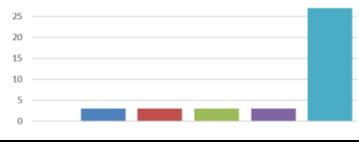
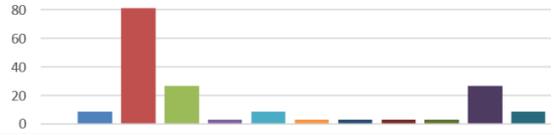
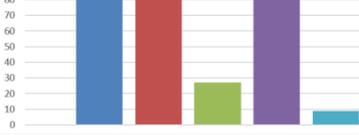
risco estão conforme ANPC (2009) e Borges (2017). A matriz bidimensional adotada mostra os graus de risco representados por cores, com nível de risco aumentando no sentido do canto inferior esquerdo para o canto superior direito. As classes de risco estão apresentadas por cores semafóricas, sendo VERDE para risco baixo (R1); AMARELO para risco moderado (R2); LARANJA para risco elevado (R3); VERMELHO para risco extremo (R4). O critério de cores difere de ANPC (2009) somente em relação à cor verde, pois essa referência adotou para risco baixo a cor roxa. As fichas de campo desta pesquisa são para a análise de risco para a saúde e segurança da população. Contudo, a partir da recomendação de ANPC (2009) e UNDRR (2019) para se avaliar os riscos para os sistemas meio ambiente e socioeconomia, apresentam-se as análises para estes sistemas, as quais foram feitas na planilha FMEA de forma qualitativa, sem atribuição de pontuação, e seguindo os critérios para definição de classes de perigosidade e consequências apresentados na Tabela 4 e Tabela 5.

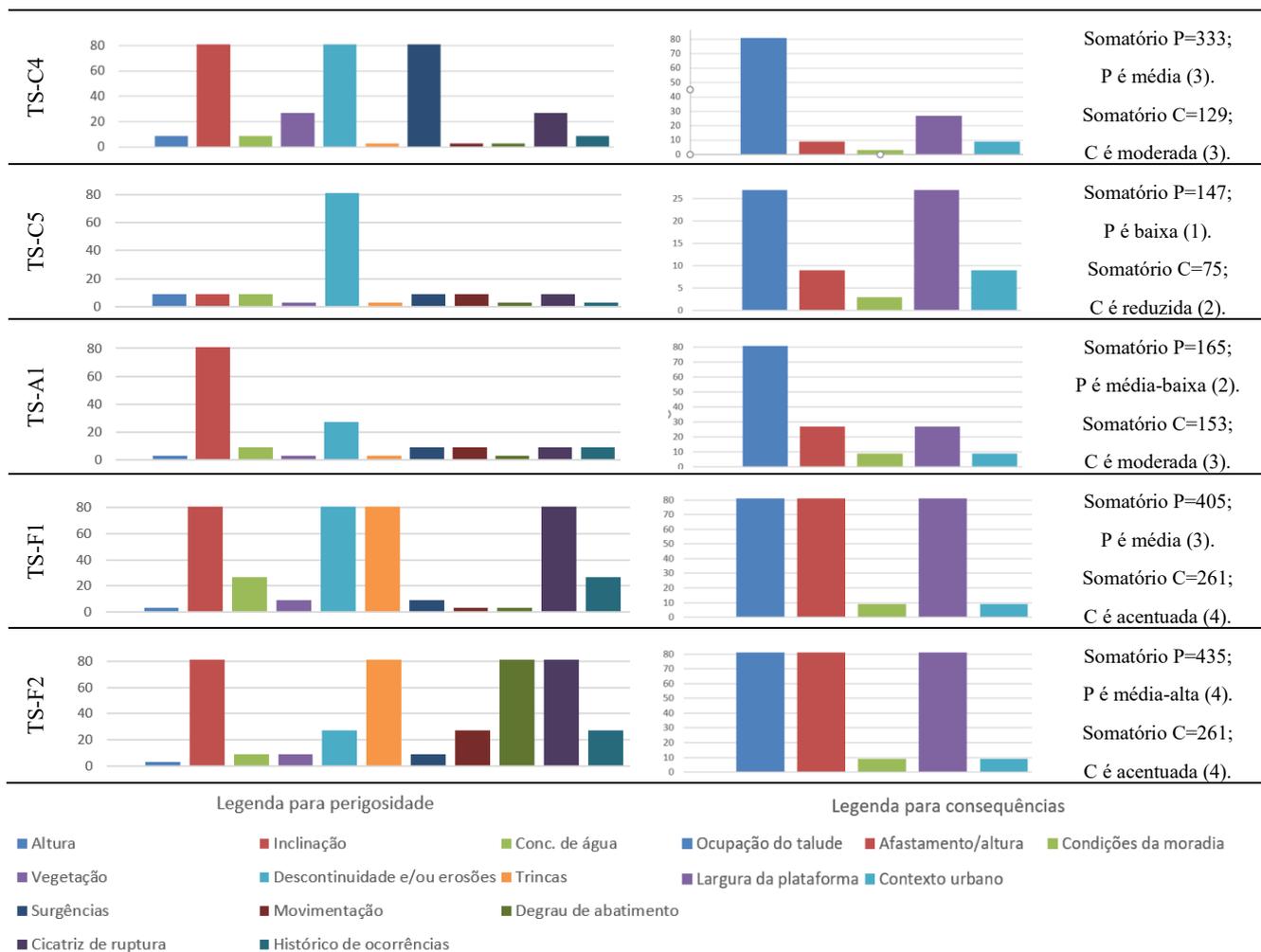
RESULTADOS E DISCUSSÕES

ÍNDICES DE PERIGOSIDADE E CONSEQUÊNCIAS POR TALUDE

A pontuação de cada índice de perigosidade e consequências está apresentada em gráficos na Tabela 6, para cada talude, bem como a indicação do somatório de pontos, a partir do qual é possível definir qual a classe de perigosidade e consequências o talude se encontra.

Tabela 6 - Gráficos de índices de perigosidade e consequências por talude e enquadramento em classes

Talude	Índices de Perigosidade (P)	Índices de Consequências (C)	Classes
TS-C1			Somatório P=417; P é média-alta (4). Somatório C=147; C é moderada (3).
TS-C2			Somatório P=285; P é média (3). Somatório C=39; C é residual (1).
TS-C3			Somatório P=177; P é média-baixa (2). Somatório C=279; C é acentuada (4).



Em termos de somatório de índices de perigosidade, o talude TS-F2 apresenta o maior valor (435 pontos), sendo enquadrado na perigosidade média-alta (4), com 4 índices com a pontuação máxima de 81: inclinação, trincas, cicatriz de ruptura e degrau de abatimento, resultado que sugere que as ações corretivas são as mais indicadas para estabilizar o talude, principalmente por haver um prédio próximo à crista; seguido do talude TS-C1 (417 pontos) que da mesma forma possui 4 índices com pontuação de 81: inclinação, sinais de movimentação, cicatriz de ruptura e histórico de ocorrências, o que também sugere ações estruturantes de estabilização na base, por haver uma via próximo à crista (Circunvalação N12). Observa-se que a inclinação recebe nota máxima (81) para 6 dos 8 taludes estudados, não sendo crítica somente para os taludes TS-C2 e TS-C5, nos quais as ações não necessitam ser de estabilização e contenção, mas sim, ações preventivas associadas ao tratamento e controle de processos erosivos.

Em relação aos indícios de instabilidade, os taludes TS-C1, TS-C2, TS-F1 e TS-F2 apresentam maiores pontuações, sendo, portanto, recomendadas ações mitigatórias principalmente em períodos chuvosos, como sinalização, colocação de lona, tamponamento de trincas na crista para evitar preenchimento com água e agravamento da situação de perigosidade. O talude TS-C3 não apresentou pontuação crítica para indícios de instabilidade, contudo, não foi possível ter acesso completo à crista do mesmo, e se recomenda o monitoramento deste local. Já o talude TS-C4 apresentou 3 notas máximas: inclinação, processos erosivos e surgências, e requer um estudo hidrogeológico prévio às análises de estabilidade e projetos de estabilização, pois foi identificado nos mapas temáticos uma nascente próxima ao talude e curso de água o qual encontra-se atualmente sotoposto. O talude TS-A1 está com perigosidade média-baixa (2) e se encontra em vias de iniciar obras no local. Na análise de índices de consequências, o talude com maior pontuação (279 pontos), consequência acentuada (4), é o TS-C3, o qual possui 3 índices com pontuação máxima de 81: ocupação da área, relação afastamento/altura do talude e largura da plataforma de retenção. Os taludes TS-F1 e TS-F2 também apresentam pontuações elevadas para consequências (261 pontos), sendo enquadrados na classe acentuada, devido à proximidade dos prédios. Em termos de índices críticos, a zona habitacional foi a mais impactante em 7 dos 8 taludes estudados, seguida da relação afastamento da construção pela altura do talude.

MATRIZ DE RISCO

A Figura 6 apresenta os resultados das análises de perigosidade e consequências para cada talude, apresentados em uma matriz de risco, sendo que a Figura 6a representa o risco para a saúde e segurança da população, a Figura 6b para o meio ambiente, Figura 6c para a socioeconomia, e a Figura 6d apresenta as classes de risco de R1 a R4 adotadas, nas quais se enquadram os taludes.

a MATRIZ DE RISCO PARA SAÚDE E SEGURANÇA DA POPULAÇÃO

PERIGOSIDADE	Elevada (5)					
	Média-alta (4)			TS-C1_a, TS-C1_b	TS-F2	
	Média (3)	TS-C2		TS-C4	TS-F1	
	Média-baixa (2)			TS-A1	TS-C3	
	baixa (1)		TS-C5			
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

b MATRIZ DE RISCO PARA MEIO AMBIENTE

PERIGOSIDADE	Elevada (5)					
	Média-alta (4)	TS-C1a, TS-C1b, TS-F2				
	Média (3)	TS-F1		TS-C2	TS-C4	
	Média-baixa (2)	TS-C3/ TS-A1				
	baixa (1)		TS-C5			
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

c MATRIZ DE RISCO PARA SOCIOECONOMIA

PERIGOSIDADE	Elevada (5)					
	Média-alta (4)	TS-C1a		TS-C1b, TS-F2		
	Média (3)		TS-C2, TS-C4	TS-F1		
	Média-baixa (2)		TS-C3	TS-A1		
	baixa (1)		TS-C5			
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

d CLASSIFICAÇÃO DE RISCO

PERIGOSIDADE	Elevada (5)	R1- Risco baixo	R2- Risco moderado	R3- Risco elevado	R4- Risco extremo	R4- Risco extremo
	Média-alta (4)	R1- Risco baixo	R2- Risco moderado	R3- Risco elevado	R3- Risco elevado	R4- Risco extremo
	Média (3)	R1- Risco baixo	R2- Risco moderado	R2- Risco moderado	R3- Risco elevado	R4- Risco extremo
	Média-baixa (2)	R1- Risco baixo	R1- Risco baixo	R2- Risco moderado	R3- Risco elevado	R4- Risco extremo
	baixa (1)	R1- Risco baixo	R1- Risco baixo	R2- Risco moderado	R2- Risco moderado	R3- Risco elevado
		Residual (1)	Reduzida (2)	Moderada (3)	Acentuada (4)	Crítica (5)
CONSEQUÊNCIA						

Figura 6 - Matriz de Risco (adaptada de ANPC, 2009 e BORGES, 2017)

Em relação à saúde e segurança da população, os taludes mais críticos, com risco R3, são o TS-F2, TS-F1, TS-C3, TS-C1 em ordem de criticidade considerando o critério de desempate a maior classe de consequências. Em seguida, tem-se os taludes TS-A1 e TS-C4 para risco R2. E com risco R1, encontram-se os taludes TS-C2 e TS-C5. Para o TS-C1 foram analisados dois modos de falha, sendo “a” para escorregamentos na base de pequena magnitude, e “b” para escorregamentos de média magnitude. Para o impacto dos riscos ao meio ambiente, somente o talude TS-C4 obteve classificação R3, por estar em região próxima a curso de água atualmente sotoposto. Em seguida, tem-se o TS-C2 com risco R2, devido aos processos erosivos avançados e transporte de sedimentos para o Rio Tinto. Os demais taludes estão classificados com risco R1. A matriz de risco para socioeconomia, associada aos custos de reparação e impactos econômicos caso os modos de falha dos taludes se efetivem, apresenta com risco R3 o TS-C1b, devido à possibilidade de um escorregamento de média magnitude

impactar o muro adjacente à via N12 que se encontra próximo à crista desse talude; e o TS-F2, devido à possibilidade de um escorregamento expor a fundação do edifício que se encontra na crista, ou causar algum dano à mesma, com o desconfinamento. Com risco R2, tem-se TS-C2, TS-C4, TS-A1 e TS-F1; e risco R1, encontram-se os taludes TS-C3, TS-C5 e TS-C1a, por haver um nível reduzido de constrangimentos na comunidade, sem perdas financeiras em caso de escorregamentos, ou no máximo alguma perda financeira, com interrupção de algum serviço por até 24 horas.

PLANILHA FMEA

As informações e resultados obtidos nos trabalhos de campo, no preenchimento das fichas de perigosidade e consequências e na análise dos históricos dos taludes, quando existentes, obtidos junto à Proteção Civil do Porto, estão consolidadas na Planilha *FMEA* apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - Planilha FMEA

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia *FMEA*, conforme apresentada na ISO 31010 (2012), não requer de modo específico o desenvolvimento das fichas semiquantitativas para perigosidade e consequência, pois aceita a determinação qualitativa destas variáveis para consolidação na planilha e matriz de risco. Contudo, as fichas que consideram pontuações dos índices de acordo com sua relevância, possibilitam a análise dos riscos dos taludes de forma mais objetiva, a realização dos trabalhos de campo com menores discrepâncias entre avaliadores, bem como torna o método reproduzível com maior facilidade.

A realização de análises de estabilidade para embasar a definição dos índices de altura e inclinação na ficha de perigosidade mostrou-se uma ferramenta importante para a calibração do método para a escala local, o que está em alinhamento com diretrizes internacionais como UNDRR (2019), que preconiza a importância de identificar mecanismos de ruptura típicos, parâmetros geotécnicos respectivos, e utilizar ferramenta computacional de análise de equilíbrio limite para obter fatores de segurança (FS) e sua relação com o risco de escorregamentos.

A visualização dos índices de perigosidade e consequências em forma de gráficos auxilia na identificação de qual índice é crítico para cada talude, colabora na definição de ações preventivas,

mitigatórias e corretivas mais adequadas para diminuição desses índices, e permite prever cenários futuros críticos diferenciados, colaborando com o planejamento de ações preventivas no âmbito da Proteção Civil. É o caso do talude TS-C1, onde escorregamentos de menor magnitude que já ocorrem na base, podem desencadear escorregamentos de média magnitude, os quais hipoteticamente podem impactar na via pública, localizada na crista.

Por fim, a aplicação da metodologia *FMEA* para a gestão de riscos de escorregamentos de solo no âmbito da Proteção Civil do Porto se mostrou viável, pois, a consolidação dos dados em forma de planilha ou tabela, bem como a apresentação dos taludes em matriz de risco, facilita a visualização da criticidade e possibilita o debate dos riscos em equipe de forma prática e com discussão dos aspectos de perigosidade e consequências.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por: Financiamento programático - UIDP/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC). Pesquisa realizada no âmbito do programa Doutoral em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, em parceria com o Departamento de Pós Graduação do Instituto de Geociências da UFMG. Os autores desejam agradecer ao Serviço Municipal de Proteção Civil da Câmara Municipal do Porto, na pessoa do Diretor do Departamento Municipal de Proteção Civil, Dr. Luís Moutinho, toda a colaboração prestada.

REFERÊNCIAS

ANPC – AUTORIDADE NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL. Guia para a Caracterização de Risco no Âmbito da Elaboração de Planos de Emergência de Proteção Civil. Cadernos Técnicos PROCIV 9, setembro de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11682:2009: Estabilidade de encostas. *Slope Stability*. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/IEC 31000:2018: Sistema de Gestão de Riscos – Diretrizes. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012: Sistema de Gestão de Riscos – Técnicas para o processo. 2012.

BORGES, A.R.C. Cartografia de Risco de Taludes no âmbito dos Planos de Emergência e Proteção Civil do Município do Porto. Porto, 2017, 144p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

BUDETTA, P. Assessment of rockfall risk along roads. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 4: 71-81, 2004.

CAMPOS, L. C. *Proposta de reanálise do risco geológico - geotécnico de escorregamentos em Belo Horizonte - Minas Gerais*. 2011. 139p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Mass. Rio de Janeiro: Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Desastres Naturais -PROJETO GIDES. Acordo de Cooperação Internacional Brasil – Japão, Serviço Geológico do Brasil, 218 p., 2018.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (Atual ANM). Portaria nº 70.389, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/documentos/portaria-dnpm-n-70389-de-17-de-maio-de-2017-seguranca-de-barragens/view>. Acessado em 25nov2021.

ESPÓSITO, T. & PALMIER. L. Application of Risks Analysis Methods on Tailings Dams. *Soils & Rocks* 36: 97-117, 2013.

FIORI, ALBERTO PIO, CARMIGNAMI, LUIGI. 2009. Fundamentos de Mecânica dos Solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes – 2ª ed. rev. e ampl. Curitiba: Ed. UFPR, 2009.

HUGGET, R. J. Soil Landscape Systems: A model of soil genesis. *Geoderma*, v.13, p. 1-22, 1975.

LAI CG, BOZZONI F, MEISINA C, CONCA D, FAMA A, OZCEBE AG, ZUCCOLO E, BONI R, POGGI V, COSENTINI RM, VIANA DA FONSECA A., FERREIRA C, COELHO C, COELHO J, QUINTERO J, RIOS S, MILLEN M, CORDEIRO D, OZTOPRAK S, BOZBEY I, OSER C, SARGIN S, AYSAL N, OZCEP F, KELESOGLU MK, MACEK M, OBLAK A, PETROVIC D, KOSIC M, SMOLAR J, KUDER S, LOGAR J (2019) Methodology for assessment of earthquake-induced risk of soil liquefaction at the four European testing sites (microzonation). Deliverable D2.7. V 1.0. Project Liquefact, H2020-DRA-2015, GA no. 700748. Disponível em : http://www.liquefact.eu/wp-content/uploads/2020/03/D2.7_ter.pdf. Acessado em : 26nov2021.

LI, YP., HU, C., JIAN, L. ET AL. Evaluation of the stability of vegetated slopes according to layout and temporal changes. *J. Mt. Sci.* 18, 275–290, 2021.

MIL-STD-1629A. Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Critically Analysis. Military Standard Procedures, 24 November, 1980. Substitui a versão MIL-STD-1629 (SHIPS), November, 1974 e MIL-STD-2070 (AS), June, 1977.

NOGUEIRA, F. R. Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal. Rio Claro, 2002, 260p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

PETRONILHO, M. R. Avaliação do comportamento geotécnico de pilhas de estéril por meio de análise de risco. Ouro Preto, 2010. 137p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto.

PIERSON, L., Davis, S., Van Vickle, R. Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual. Federal Highway Administration (FHWA) Report FHWA-OR— EG-90-01. FHWA, U.S. Department of Transportation, 1990.

PORTO (2003). Câmara Municipal do Porto. Carta Geotécnica do Porto. Notícia Explicativa.

PORTO (2018). Câmara Municipal do Porto. Plano Diretor Municipal da Cidade de Porto. Caracterização Biofísica. Disponível em: <https://www.cm-porto.pt/como-participar/como-participar>. Acessado em 11ago2020.

PORTO (2020). Câmara Municipal do Porto. Plano Diretor Municipal da Cidade de Porto. Mapa Interativo. Disponível em: <https://geopdm.cm-porto.pt/>. Acessado em 11dez2020.

PRATT, D.; SANTI, P. A (2014). Landslide Hazard Rating System for Colorado Highways. Proceedings of Rocky Mountain Geo-Conference, November 7, 2014, Lakewood, Colorado.

ROBAINA, L. & TRENTIN, R. & LAURENT, F. ROBAINA (2016). Zoneamento em unidades morfológicas da bacia do Rio Oudon, noroeste da França, a partir de MDT em ambiente SIG. Geografia 0100-7912. 41.

SAE J1739. Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes. Norma vigente (Process FMEA), 2009. Substituiu a versão SAE J1739, 1994.

SILVA, L. C. da. Aplicação do sistema de avaliação de perigo Rockfall Hazard Rating System (RHRS) aos taludes da BR-356/ Rodovia dos Inconfidentes, MG. Ouro Preto, 2016, 140p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Núcleo de Geotecnia. Engenharia Geotécnica. Área de Concentração: Investigação Geológico-Geotécnica de Maciços Rochosos. Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto.

UNDRR, 2019. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), 2019.

VIANA DA FONSECA, A., MILLEN, M., ROMÃO, X., QUINTERO, J., RIOS, S., MESLEM, A. Design guidelines for the application of soil characterisation and liquefaction risk assessment protocols. Deliverable D 3.3 - LIQUEFACT project, Horizon 2020 European Union funding for Research & Innovation, GA nº. 700748. Disponível em: http://www.liquefact.eu/wp-content/uploads/2020/03/D3.3_bis.pdf. Acessado em : 26nov2021.

WU, W. & SWITALA, B. & ACHARYA, M. & TAMAGNINI, R. & AUER, M. & GRAF, F. & DR. TE KAMP, L. & XIANG, W. Effect of Vegetation on Stability of Soil Slopes: Numerical Aspect. 10.1007/978-3-319-11053-0_15, 2015.

Quadro 3 - Planilha FMEA

Local	Identificação	Modo de falha	Causa	Efeitos	Unidade Geotécnica	Justificativas/ histórico	Perigosidade	Consequências			Ações Mitigadoras (AM) e/ou Controles Mitigatórios (CM) e/ou Ações corretivas (AC)
								Saúde e Segurança	Meio ambiente	Socioeconomia	
Taludes do Parque Oriental adjacente à circunvalação N12	TS-CL_a	Escorregamento planar de pequena magnitude	Inclinação maior de 50 graus e corte na base	Evolução do nível de risco e possível preparação das condições para escorregamento planocircular de maior profundidade	G4X e G5	Foi observada ruptura planar rasa em nov/dez/2020, condicionada pela estrutura retilinear do xisto, com foliação desfavorável e mergulho próximo de 50°. Além de corte na base (entre 70 a 100cm de altura).	Média-alta - 4	Moderada - 3	Residual - 1	Residual - 1	CM- Evitar cortes na base, monitoramento antes e após período chuvoso. AM - acerto da declividade da crista e direcionamento de água pluvial.
	TS-CL_b	Escorregamento plano-circular de média magnitude	Superfície pretérita de ruptura, inclinação maior que 50° e foliação desfavorável	Instabilização de muro da N12 por desconfinamento da base	G4X e G5	Várias superfícies de rupturas planares de pequena magnitude observadas na base, que podem condicionar rupturas de maior porte e profundidade, instabilizando o muro.	Média-alta - 4	Moderada - 3	Residual - 1	Moderada - 3	AC - Retaludamento com inclinação menor que 45°, construção de muro de pequena altura na base, acerto da declividade da bermas superior para possibilitar drenagem e/ou implantar sistema de drenagem.
Talude sob a Ponte IC29/A43 e adjacente ao Rio Tinto, Parque Oriental.	TS-C2	Escorregamento planar de colúvio/alúvio/aterro, associado à processos erosivos	Talude em aterro/alúvio, inconsolidado e com baixa resistência. A retirada da cobertura vegetal para construção da ponte e processos erosivos predisuseram o talude a escorregamentos planares superficiais quando no período chuvoso.	Assoreamento do trecho do Rio Tinto, adjacente ao talude	G2	Talude que apresenta processos erosivos acentuados, e carregamento de solo para o Rio Tinto, conforme observado em campo. O que deve se agravar em período chuvoso.	Média - 3	Residual - 1	Moderada - 3	Reduzida - 2	CM - Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento do volume de material assoreado, bem como do processo de ravinamento e escorregamentos; AM - avaliar colocação de blocos de rocha na base do talude para evitar que um volume maior de material escoc para o rio; AC - projeto de retaludamento do talude e implantação de cobertura vegetal eficaz no controle da erosão.
Talude na Rua do Bacelo com Rua do Freixo.	TS-C3	Escorregamento planar de solo ou saprolito, associado à processos erosivos	Corte verticalizado, processos erosivos, sobrecarga na crista	Danos ou desmoronamento das moradias construídas na crista	G4-X e G5	Foi observado em campo, cicatriz de ruptura pretérita e erosões. A probabilidade está média-baixa 2 pois não foi possível a identificação visual e tátil do talude. As consequências quanto à segurança é acentuada devido a moradias construídas na crista.	Média-baixa - 2	Acentuada - 4	Residual - 1	Reduzida - 2	CM - Abertura de ocorrência e monitoramento; AM - Informar aos moradores dos possíveis riscos, e avaliar a situação dos mesmos; acessar o talude e refazer a avaliação; AC - Verificar junto à câmara se há projeto para o local, já que parte da área que está na base do talude encontra-se em área verde lúdico-produtiva conforme a planta de qualificação do solo.
Alameda De Cartes, próximo a R. São Roque da Lamcira.	TS-C4	Movimentos de massa complexos, envolvendo escorregamentos planares de pequena magnitude, corrida de detritos e solo, e queda de blocos	Percolação de água pelo talude, corte com retirada de proteção vegetal, e material rochoso alterado, com discontinuidades preenchidas por solo e água, por vezes. Intercalações com aterro/colúvio.	Danos à veículos e pessoas que transitam pela via. Impactos em área de importância hídrica	Intercalações de G2 e G8	A urgência observada na face do talude estava a causar percolação de água no sentido da via. No período de frio, formou-se uma camada de gelo que gerou deslizamento de carros. Movimentos de massa de pequena magnitude foram observados, com detritos no passeio, os quais foram rapidamente retirados.	Média - 3	Moderada - 3	Acentuada - 4	Reduzida - 2	CM - Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos, bem como das surgências; AM - Implantação de drenagem superficial para direcionamento da água das surgências e água pluvial; AC - Escorregamentos associados com as surgências. Sugere-se o desenvolvimento de projeto, embasado por investigações geotécnicas
Talude R. Virginia Moura	TS-C5	Corrida de detritos e escorregamentos de pequena magnitude.	Falta de sistema formal de drenagem, com formação de caminhos preferenciais de água potencializando a corrida de material inconsolidado (aterro)	Impedimento e/ou transtornos no trânsito local.	G1, G4-G e G8	Em visita ao local foi observado trechos com detritos no passeio, pequena magnitude, sem sistema de drenagem.	Baixa - 1	Reduzida - 2	Reduzida - 2	Reduzida - 2	CM- Monitoramento periódico.
Talude na Praça Pedra Verde.	TS-A1	Movimentos de massa complexos, envolvendo escorregamentos de pequena magnitude, corrida de detritos	Corte acentuado no talude, quando da construção do estacionamento. As raízes da árvore existente na crista acelerou o processo de degradação do solo/rocha, acumulando água e tensões	Queda da árvore, além de detritos, que podem causar danos em veículos e pessoas	G4-G e G8	Ocorrência já registrada pela Proteção Civil. Foram instalados guardarruvas. Probabilidade média pois local de pouca circulação.	Média - 3	Moderada - 3	Residual - 1	Moderada - 3	CM - Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos. AM - Instruir os moradores para não estacionarem próximo do local, tampouco circular na crista e base. AC - Elaborar projeto de estabilização.
Taludes na R. Henrique Lopes de Mendonça (com R. Amadeu Souza Cardoso).	TS-F1	Escorregamentos planares ou cunha em saprolito ou solo, de pequena ou média magnitude, englobando a crista.	Corte no talude, o qual desconfinou as foliações desfavoráveis à segurança do talude	Queda de árvore, atingimento de pessoas e veículos.	G4-X e G5, G6	Cenário hipotético, mas provável, a partir dos escorregamentos na base que condicionam maiores magnitudes de deslizamentos.	Média - 3	Acentuada - 4	Residual - 1	Moderada - 3	CM - Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos; AC - Elaborar projeto de estabilização. Gabião pode ser viável, contudo sugere-se prever e acompanhar os riscos no processo construtivo, pois cortes na base para assentamento do gabião podem desencadear escorregamento.
	TS-F2	Escorregamentos planares ou cunha em saprolito ou solo, de média magnitude, englobando a crista.	Corte no talude, o qual desconfinou as foliações desfavoráveis à segurança do talude	Comprometimento da fundação do prédio à montante, atingimento de pessoas ou veículos	G4-X e G5	Verificado degrau de abatimento e trinca de tração na crista	Média-alta - 4	Acentuada - 4	Residual - 1	Moderada - 3	CM - Visitas de campo em período chuvoso para acompanhamento de possíveis escorregamentos. AM - Sobrepor lona na face do talude e crista em períodos chuvosos. AC - elaborar projeto de estabilização. Gabião pode ser viável, contudo, sugere-se prever e acompanhar os riscos no processo construtivo, pois cortes na base para assentamento do gabião podem desencadear escorregamento.

**APÊNDICE H – Ensaio e recomendações conceituais para a cartografia de risco na
Regional Vargem das Flores em Contagem, MG**

RESUMO

Neste APÊNDICE H – ENSAIOS E RECOMENDAÇÕES CONCEITUAIS PARA CARTOGRAFIA DE RISCO NA REGIONAL VARGEM DAS FLORES EM CONTAGEM, MG, apresentam-se recomendações, em nível conceitual, para a elaboração de mapa de suscetibilidade a processos erosivos, riscos geotécnicos e carta de aptidão à urbanização nessa regional. O mapa de riscos geotécnicos, em escala regional, pode ser construído a partir dos índices de risco propostos nesta pesquisa e apresentados nas fichas de campo de perigo e consequências para a escala local de análise, bem como embasados por ensaios geotécnicos. A carta de aptidão à urbanização deve considerar o Plano Diretor Municipal (CONTAGEM, 2018), a fim de gerar um mapa síntese com o cotejo de riscos ambientais e macrozoneamento, com indicação de pontos conflitantes e pontos de convergência. Como este produto não se trata do tema central da tese, pretende-se a realização do mesmo como pesquisa futura. Alguns resultados obtidos até o momento são: i) metodologia preliminar da proposta ii) resultados dos ensaios de caracterização geotécnica de materiais da voçoroca da Vila Feliz.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1- Árvore de decisões da síntese de riscos à ocupação urbana na cidade de Ouro Preto, MG (Adaptado de MOURA, 2014).....	534
Figura 1.2- Árvore de decisões proposta para a síntese de riscos à ocupação urbana em Vargem das Flores, Contagem, MG.....	534
Figura 2.1- Pontos de coleta de amostras na voçoroca Vila Feliz, em Contagem (Imagem do Google Earth).	536
Figura 2.2- Ponto de coleta e ensaio P1 – Amostras de solo da voçoroca Vila Feliz, em Contagem.	537
Figura 2.3- A) Pontos de coleta e ensaios P2, P3, P4 e P5; B) Autora e equipe de campo	538

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Resultados de ensaios de caracterização, resistência e permeabilidade.....	540
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$K_{in situ}$ – Coeficiente de permeabilidade *in situ*

PDM - Plano Diretor Municipal

ρ_d – massa específica aparente seco do solo

ρ_{nat} – massa específica na umidade natural do solo na amostra coletada

ρ_s – massa específica dos sólidos

h_{nat} - umidade natural do solo na amostra coletada

SUMÁRIO

1. PROPOSTA METODOLÓGICA PRELIMINAR	534
2. ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO	536

1. PROPOSTA METODOLÓGICA PRELIMINAR

MOURA (2014) apresenta etapas para se obter um mapa de síntese de riscos à ocupação e o compara com o macrozoneamento da cidade de Ouro Preto, MG para fins de gerar alertas em relação às áreas com previsão de adensamento que sejam coincidentes com riscos (Figura 1.1).

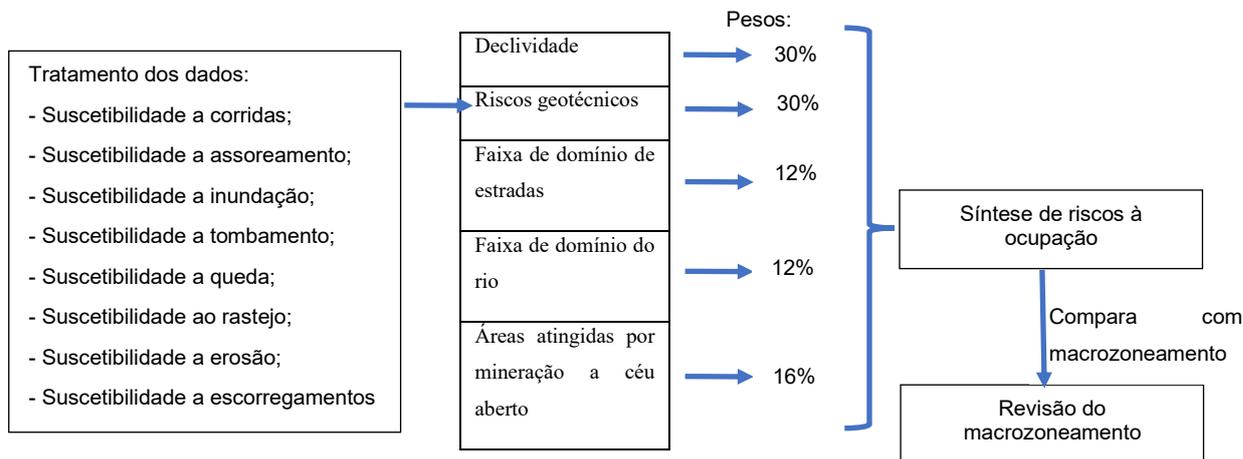


Figura 1.1- Árvore de decisões da síntese de riscos à ocupação urbana na cidade de Ouro Preto, MG (Adaptado de MOURA, 2014)

A partir dessa autora, as etapas propostas e os parâmetros de análise para se obter o mapa de aptidão à urbanização (ou riscos à ocupação e meio ambiente) e possibilitar a comparação com o Plano Diretor Municipal (CONTAGEM, 2018), estão apresentados na Figura 1.2.

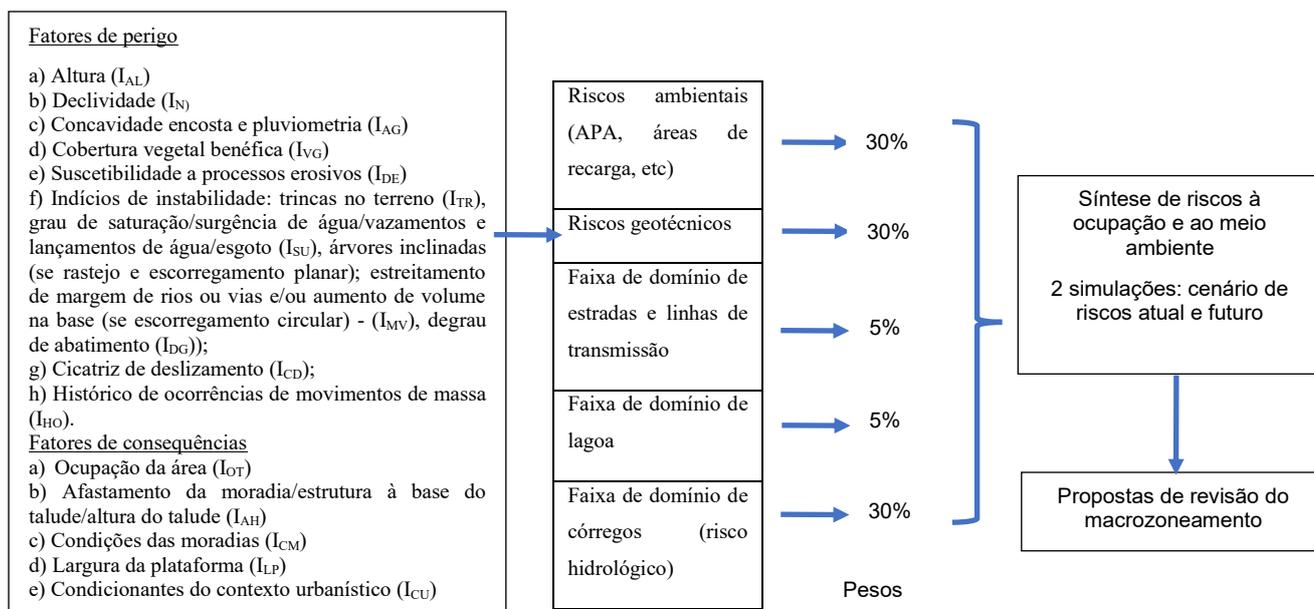


Figura 1.2- Árvore de decisões proposta para a síntese de riscos à ocupação urbana em Vargem das Flores, Contagem, MG

Conforme indicado na Figura 1.2, a proposta é utilizar tanto quanto possível os parâmetros de perigo (P) e consequências (C) adotados na ficha de campo para análise de risco em escala local, para se obter a carta de riscos geotécnicos em escala regional, que terá o conceito de risco (R) conforme a equação $R=P \times C$.

Alguns parâmetros de perigo podem ser obtidos diretamente em bases acessíveis, tais como os fatores relativos à altura, declividade, concavidade da encosta, cobertura vegetal superficial. O mapa de suscetibilidade erosiva será obtido por análise multicritério a partir da combinação de: uso da terra, declividade, curvatura do relevo, solos, geologia e precipitação. As cicatrizes de deslizamento podem ser obtidas de forma amostral por imagem de satélites para áreas de voçorocas já identificadas, bem como por meio de análise de ocorrências de risco. Os indícios de instabilidade podem ser obtidos por análise de amostras das fichas de campo. A própria autora da pesquisa possui um banco de dados de áreas que visitou, tais como na regional Ressaca, Nacional e SEDE, além das áreas visitadas na Regional Vargem das Flores. O histórico de ocorrências, pode ser obtido por meio de análise das ocorrências da Defesa Civil.

Já os parâmetros relativos às consequências, contexto urbanístico e ocupação das áreas, podem também serem obtidos em bases de fácil acesso. Já as condições das moradias requerem consulta às bases do IBGE e reconhecimento de campo. O afastamento da moradia em relação à altura do talude e largura da plataforma não há como se obter para análise regional. O que se sugere é avaliar um critério que considere a densidade demográfica, para de certa forma, considerar a exposição ao risco e suas consequências.

Ainda a partir do esquema da Figura 1.2, após a geração da carta de riscos, sugere-se a combinação com mapas de riscos ambientais (delimitando a APA Vargem das Flores, áreas de recarga e cursos de água), faixa de servidão de estradas e linhas de transmissão, faixa de domínio da lagoa, e faixa de domínio de córregos considerando também as manchas de inundação (riscos hidrológicos). Essa combinação, considerando os devidos pesos, fornecerá como resultado o mapa de riscos para ocupação e meio ambiente. Desta forma, além dos riscos para saúde e segurança da população, pode-se considerar os impactos da urbanização também no sistema meio ambiente.

Contudo, recomenda-se gerar o mapa de riscos para ocupação e meio ambiente para o cenário atual, mas também para o cenário futuro, considerando as mudanças nos fatores de perigo e consequências. Avaliar o risco a partir de um cenário futuro é relevante, pois, o próprio

processo de urbanização modifica por vezes de forma significativa os índices de risco, como por exemplo, a alteração da cobertura vegetal. Especificamente em Vargem das Flores, foi observada a rápida evolução das ravinas e voçorocas quando da retirada da cobertura vegetal para abertura de vias, principalmente sem execução simultânea de sistema de drenagem pluvial.

Ressalta-se que a árvore de decisões e pesos para os índices de risco apresentados na Figura 1.2 tem caráter conceitual, e é aplicável *a priori* somente para a área de estudo desta pesquisa.

2. ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

Para subsidiar a elaboração de análises de estabilidade e vislumbrando a geração de mapas que requerem informações de ensaios, como por exemplo o mapa de perda de solos, foi realizada uma campanha de investigação geotécnica em 2018/2019.

A Figura 2.1 apresenta a imagem da voçoroca da Vila Feliz, na Regional Vargem das Flores, com a indicação dos pontos de coleta.

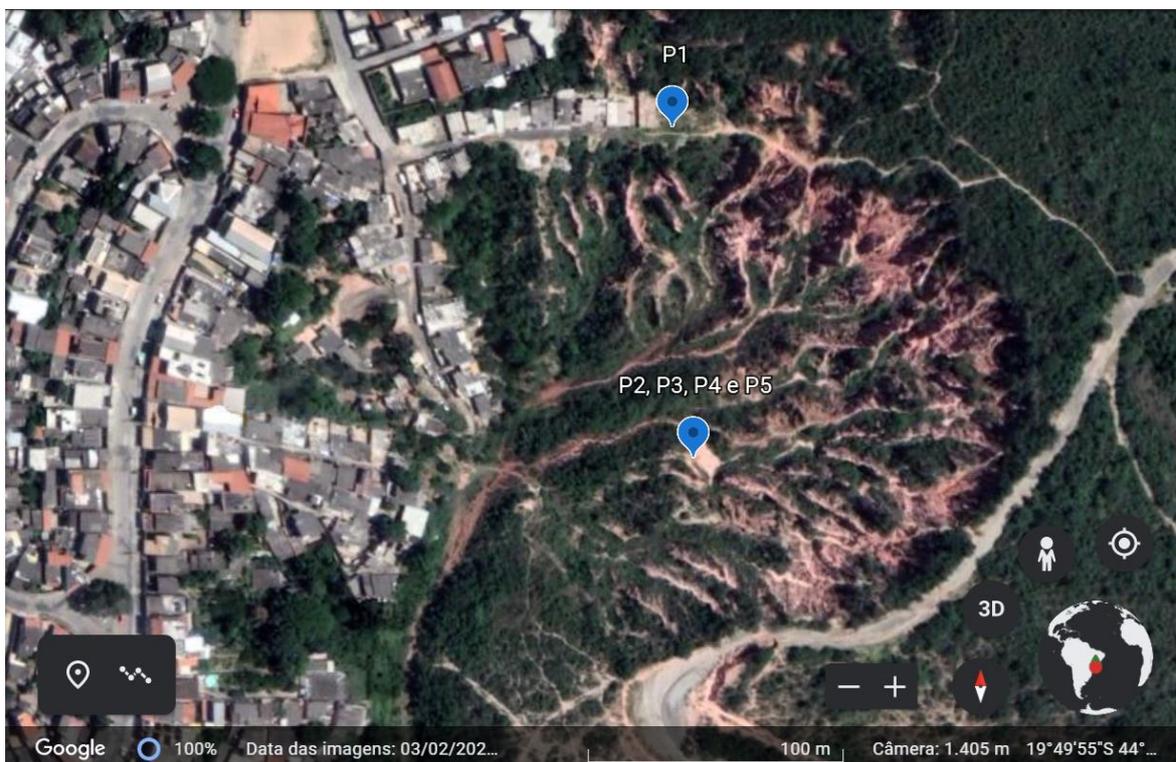


Figura 2.1- Pontos de coleta de amostras na voçoroca Vila Feliz, em Contagem (Imagem do Google Earth).

O plano de investigações consistiu na definição de 5 pontos de amostragem, sendo 4 representativos de horizontes de solo (A, B, C e solo saprolítico), e 1 representativo do alúvio-colúvio presente na base da voçoroca. Foram realizados em campo: 2 ensaios de permeabilidade *in situ* (Horizonte A, ponto P1; e solo saprolítico, ponto P4); 1 ensaio de frasco de areia para determinação da massa específica do solo *in situ* (Horizonte A, ponto P1); coleta de 1 bloco de amostra indeformada (Horizonte B, ponto P3); coleta de amostras deformadas dos 5 pontos investigados. Em laboratório, foram realizados ensaios de caracterização completa nas 5 amostras deformadas (massa específica dos sólidos, granulometria completa, limite de liquidez, limite de plasticidade, limite de contração); além de 2 ensaios de cisalhamento direto tipo pré-adensado drenado (1 com umidade natural e outro inundado), e massa específica do solo a partir de amostras indeformadas do bloco extraído em campo (Horizonte B, ponto P3).

Os ensaios de caracterização e resistência ao cisalhamento foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da PUC Minas. A Figura 2.2 mostra fotos a partir do P1, sendo que em A) uma vista para leste, a partir da crista da voçoroca; em B) uma vista para o sul, em direção aos demais pontos de coleta que se encontram na base dos dígitos da voçoroca; e em C) o preparo do terreno para realização do ensaio de permeabilidade *in situ*.



Figura 2.2- Ponto de coleta e ensaio P1 – Amostras de solo da voçoroca Vila Feliz, em Contagem.

Já a Figura 2.3 A) apresenta os demais pontos de coleta. O ponto P2 é representativo do horizonte B, mais superficial, e foram coletadas amostras deformadas para ensaios de caracterização. O ponto P3 também é representativo do horizonte B, contudo, menos intemperizado que P2, e, portanto, foram coletadas amostras deformadas para ensaios de caracterização e 1 bloco indeformado para ensaios de resistência ao cisalhamento. O ponto P4 é representativo do horizonte C, onde foram coletadas amostras deformadas e realizou-se 1 ensaio

de permeabilidade *in situ*. O ponto P5 é representativo do alúvio-colúvio existente na base da voçoroca, e foram coletadas amostras deformadas para ensaios de caracterização. Em B), a equipe de campo.



Figura 2.3- A) Pontos de coleta e ensaios P2, P3, P4 e P5; B) Autora e equipe de campo

A Tabela 2.1 apresenta os resultados dos ensaios. O ponto P1 é uma areia argilo-siltosa (47,3%, 37,0%, 15,4% dessas frações respectivamente); o P2 é uma areia silto-argilosa (41,2%, 30,8%, 27,4), e o P3 é uma areia siltosa (46,9% e 46,3%), assim como o P4 (43,1% de areia e 43,1% de silte). O P5 é predominantemente areia (76,6%) coerente com um alúvio-colúvio na base de uma voçoroca. Observa-se que o teor de argila decresce do horizonte A (P1) ao horizonte B (P2 e P3), com pequena elevação da argila total no P4, solo saprolítico.

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados em amostras do P3, na umidade natural e inundado, e do tipo pré-adensado e drenado (CD). Para a condição natural, obteve-se coesão de 34 kPa e ângulo de atrito de 30,1°. Para a amostra inundada, a coesão obtida foi de 1 kPa, o que representa uma diminuição significativa, e o ângulo de atrito manteve-se no patamar elevado com 31,8°. A comparação dos resultados, especificamente da coesão, ressalta hipoteticamente a relevância da coesão aparente, ou sucção, na resistência ao cisalhamento deste solo. Possivelmente, a perda de sucção do solo residual de gnaiss quando saturado é um fator

preponderante para a aceleração dos processos erosivos e escorregamentos. Contudo, maior quantidade de ensaios é recomendável para confirmar essa hipótese.

Da mesma forma, os taludes verticalizados observados em campo, que se mantêm sem rupturas mesmo em períodos chuvosos, podem ser aqueles que não estão sujeitos à saturação completa ou parcial quando em chuvas intensas, seja pela condição de escoamento da água superficial, ou pela drenabilidade do material, e com isso, mantém a parcela de contribuição da sucção na resistência ao cisalhamento do solo. Hipótese também a ser confirmada com maior quantidade de ensaios.

O coeficiente de permeabilidade obtido para o horizonte A (P1) foi de $5,47 \times 10^{-3}$ cm/s, ordem de grandeza para areias finas, mesmo com a fração de argila considerável (37%). Já o resultado de permeabilidade para o horizonte C (P4) foi de $5,34 \times 10^{-4}$ cm/s, ordem de grandeza para siltes, e menor do que o coeficiente de permeabilidade do horizonte superficial.

Tabela 2.1- Resultados de ensaios de caracterização, resistência e permeabilidade

Ponto	Local	ρ_{nat}	h_{nat}	ρ_s	K_{insitu} (cm/s)	Granulometria						Limites de consistência			IP	Umidade natural		Inundado		
						Ped.	Areia Grossa	Areia média	Areia fina	Areia total	Silte	Argila	LC	LP		LL	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito(°)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito(°)
P1	CRISTA	1,527	18,34	2,613	0,00547	0,3	14,2	16,9	16,2	47,3	15,4	37,0	26,5	32,4	44,9	12,5				
P2	HORIZONTE B			2,64		0,6	15,8	16,8	8,6	41,2	30,8	27,4	49,8	36,7	53,6	16,9				
P3	HORIZONTE B- BLOCO INDEFORMADO			2,645		0,6	17,3	18,3	11,3	46,9	46,3	6,2	44,2	36,3	54,8	18,5	34	30,1	1	31,8
P4	BASE VOÇOROCA - HORIZONTE C			2,641	0,000534	0,4	15,5	18,8	8,8	43,1	43,1	13,4	33,1	28,1	40,5	12,4				
P5	BASE VOÇOROCA - ALUVIÃO			2,652		3,6	33,6	35,8	7,2	76,6	15,9	3,9	NP	NP	NP	NP				