



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



TESE DE DOUTORADO

**GEOLOGIA E GEOPROCESSAMENTO APLICADOS AO ORDENAMENTO
TERRITORIAL**

AUTOR: Pedro Benedito Casagrande

ORIENTAÇÃO: Profa. Maria Giovana Parisi

COORIENTAÇÃO: Profa. Ana Clara Mourão Moura

Nº 46

BELO HORIZONTE
DATA (19/12/19)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
Área de Concentração: Geologia Regional

GEOLOGIA E GEOPROCESSAMENTO APLICADOS AO ORDENAMENTO TERRITORIAL

por

PEDRO BENEDITO CASAGRANDE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geologia Regional.

Orientação: Profa. Maria Giovana Parisi

Coorientação: Profa. Ana Clara Mourão Moura

BELO HORIZONTE, 19 de dezembro de 2019

C334g Casagrande, Pedro Benedito.
2019 Geologia e geoprocessamento aplicados ao ordenamento territorial [manuscrito] / Pedro Benedito Casagrande. – 2019. 94 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Maria Giovana Parisi.

Coorientadora: Ana Clara Mourão Moura.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2019.

Área de concentração: Geologia Regional.

Inclui bibliografia.

1. Geologia – Minas Gerais – Teses. 2. Planejamento urbano – Minas Gerais – Teses. 3. Geoprocessamento – Teses. 4. Sensoriamento remoto – Teses. I. Parisi, Maria Giovana. II. Moura, Ana Clara Mourão. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 55(815.1)

Ficha catalográfica elaborada por Graciane A. de Paula – CRB6 3404



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

GEOLOGIA E GEOPROCESSAMENTO APLICADOS AO ORDENAMENTO TERRITORIAL

PEDRO BENEDITO CASAGRANDE

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Doutor em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA REGIONAL.

Aprovada em 19 de dezembro de 2019, pela banca constituída pelos membros:

Maria Giovana Parisi

Profa. Maria Giovana Parisi - Orientadora
IGC/UFMG

Frederico Garcia Sobreira

Prof. Frederico Garcia Sobreira
UFOP

Sandra Fernandes da Silva

Profa. Sandra Fernandes da Silva
CPRM

Bráulio Magalhães Fonseca

Prof. Bráulio Magalhães Fonseca
UFMG

Helder Lages Jardim

Prof. Helder Lages Jardim
UFMG

Belo Horizonte, 19 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTO

Agradeço,

Primeiramente aos meus pais, Claudio e Fernanda, e ao meu irmão, Henrique, por acompanharem e viverem esta caminhada acadêmica ao longo de mais de uma década.

A Fernanda, que juntos estamos realizando sonhos e compartilhando a vida e os brindes que a vida permite, com muita alegria e amor.

A minha Orientadora, M. Giovana Parisi, pelas orientações e, principalmente, por acreditar neste doutorado desde antes do mesmo se iniciar e, sempre, apoiar as ideias desenvolvidas e tudo que esta caminhada gerou, meu muito obrigado Gigi.

A minha Co-Orientadora, Ana Clara Moura, não há palavras que descreva o todo que você gerou. Ana, muito obrigado por me transformar em um pesquisador!

Ao Professor Alfio Conti, pelos ensinamentos dos caminhos aos quais são invisíveis.

Aos Professores do Departamento de Geologia, desde a graduação até o doutorado, que sempre estiveram disponíveis e acessíveis para diálogos e interlocuções acadêmicas ou não e que contribuíram totalmente na minha formação como Geólogo.

A minha eterna segunda casa, a Universidade Federal de Minas Gerais, por sua existência e acolhimento que sempre tive, meu maior e mais sincero obrigado. Aqui, fechamos um ciclo de muito aprendizado e carinho. É e será sempre minha casa.

Aos servidores técnicos-administrativos do IGC pelo auxílio durante todos estes anos, em especial ao William e toda sua paciência comigo.

Ao DEMIN/UFMG, pelo carinho e motivação para que este trabalho ganhasse forma e força.

A CAPES pelo auxílio em congressos.

Aos amigos que a geologia me deu no pré-cambriano e que irá até o quinário, em especial, ao Lucax, Roberval, Macaco, Toto, Amnésia, Jay, Juruma, Zayen, Dentista e Diegão.

Aos amigos desta vida, Jaildo, Augusto, Mari, Paula, Izabella, Genera, Rafa, Jhonny, Tuti, Tayer e Monica.

E aos amigos do “Pré-Sal”, que somos mais de 700 espalhados por todo o Brasil, em especial ao Boca, Cecê, Babas, Porcaro, Baxo, Dodô, Sorriso, Guizão, Tata, Marina, Xandão, Arthur, Renatruê, Gabi, Maiura, Itabirito, Viotti, DanDan, Bola, Joquinha, Julia, Bunda, Amanda, Clara, Pc, Carol, Thiaguinho, Faustinho, Petronis, Gustavão, Chico Bento, Rosinha, Denise, Sarah, Claudema e os outros 697 espalhados pelo Brasil.

Como sempre, jamais poderia esquecer de agradecer, ao João, pelo seu estabelecimento, ao Fernando, pela ótima esquina, a Obra, pelo elevado desgaste e a Growleria pelo louvor.
E a todos os outros que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Abacaxé – Pré-Sal – Xorumê
(Bloco Pré-Sal, Olinda, Pernambuco)

RESUMO

O objetivo da pesquisa visa aplicar e sistematizar métodos de sensoriamento remoto e geoprocessamento para elaboração mapas temáticos de gestão territorial, incluindo mapas de risco geológico e de potencial de uso e ocupação, em áreas do Município de Nova Lima, MG, de modo que possam ser replicáveis para outras regiões além da área estudada. Os resultados do trabalho são apresentados na forma de três artigos. O município de Nova Lima, em Minas Gerais, está localizado em área de grandes elevações altimétricas e declives acentuados. O município compõe a franja sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte e, sendo fronteira com a capital, tornou-se território de expressivo valor imobiliário. Por outro lado, Nova Lima integra a região do Quadrilátero ferrífero que destaca-se no cenário nacional pela grande riqueza mineral, especialmente ferro, ouro e manganês. O espraiamento e a verticalização urbana encontram-se lado-a-lado com a mineração, e ambos disputam espaço com elementos de interesse ambiental e de paisagem cultural, o que motiva a melhor compreensão do território e a análise diagnóstica e prognóstica das condições de risco geológico. O primeiro artigo apresenta o Índice de Risco Geológico e é apresentado no trabalho como um método aplicável por tecnologias de geoprocessamento que tem como objetivo o subsídio para a tomada de decisões sobre a expansão urbana da região, e pode ser indicado como um modelo de análise espacial aplicável a outros estudos de caso no Brasil, como suporte ao planejamento territorial de áreas caracterizadas por relevo e substrato geológico complexo. O segundo artigo apresenta os resultados e mapas temáticos construídos a partir do uso de dados provenientes de VANT mostrando ser possível realizar a análise espacial da área de estudo e conhecer/compreender o seu potencial de uso para ocupação urbana. O sobrevoo de drone permite gerar uma ortofoto a qual é o dado base para gerar as análises ligadas ao meio físico, e com o uso de outras geotecnologias é possível elaborar índices para a ocupação urbana no local de estudo. Neste estudo de caso a área escolhida foi a região do Vale do Sereno, parte do município de Nova Lima/MG, a qual há expansão urbana em áreas com características de meio físico não apropriadas para ocupação, de maneira geral. Assim, utilização de geotecnologias como subsídio ao planejamento e ordenamento territorial estão cada vez mais acessíveis e detalhadas para a gestão pública. O terceiro artigo, aplica o ordenamento territorial a partir do recorte de sub-bacias e espacializa os impactos relacionados às atividades humanas em caso de desastres, tal qual o rompimento da barragem de rejeito da Mina Córrego do Feijão, Brumadinho, MG. A partir de sensoriamento remoto e dados de imagens de satélite, a sub-bacia do Córrego Ferro Carvão foi analisada durante o período de pré-rompimento e pós-rompimento. Buscou-se entender como a dinâmica e distribuição da lama foi determinada pela organização espacial da bacia

hidrográfica, de acordo com sua hipsometria, declividade, drenagem, entre outras características. Isso permitiu a caracterização dos tipos de uso e ocupação dos locais mais vulneráveis ao atingimento pelo fluxo de lama.

Palavras-chave: Ordenamento Territorial; Índice de Risco Geológico (IRG); Gestão Territorial; Geotecnologias

ABSTRACT

The objective of this research is to apply and systematize remote sensing and geoprocessing methods to elaborate thematic maps of territorial management, including maps of geological risk and potential use of occupation, in areas of Nova Lima, MG, so it can be replicable to regions other than the study area. The results of the work are presented in the form of three articles. The municipality of Nova Lima, in Minas Gerais, is located in an area of high altitudes and slopes. The municipality is in the border of the Belo Horizonte, being part of the Metropolitan Region (of B. Horizonte) and has become a territory of significant real estate value. In another point, Nova Lima is part of the Quadrilátero Ferrífero region that is a very important area in the national scene in mining, especially iron, gold, and manganese. Urban growing and verticalization are in the same region as mining, and both compete for space with elements of environmental interest and cultural landscape, which motivates a better understanding of the territory and a diagnostic and prognostic analysis of risk conditions. geological. The first article presents the Geological Risk Index and is presented in the paper as a method applicable by geoprocessing technologies that aims to subsidize decision-making about the urban expansion of the region, and can be indicated as a spatial analysis model applicable to other case studies in Brazil, as support for territorial planning of areas characterized by relief and complex geological substrate. The second article presents the results and thematic maps constructed from the use of UAV data showing that it is possible to perform the spatial analysis of the study area and to know/understand its potential use for urban occupation. The drone flies over allows the generation of a mosaic of orthophoto which is the basis for generating the analyzes related to the environment, and with the use of other geotechnologies it is possible to elaborate indices for urban occupation in the study site.

In this case study, the chosen area was the Vale do Sereno region, part of the municipality of Nova Lima/MG, which has urban expansion in areas with physical characteristics not suitable for occupation, in general. Thus, the use of geotechnologies as a subsidy for territorial planning and planning is increasingly accessible and detailed for public management. The third article applies spatial planning based on sub-basin clipping and spatializes the impacts related to human activities in case of disasters, such as the rupture of the Mina Córrego do Feijão dam, Brumadinho, MG. From remote sensing and satellite image data, the Ferro Carvão Stream was analyzed during the pre and post rupture period. The paper aims to understand how the dynamics and distribution of the mud were determined by the spatial organization of the watershed, according to its hypsometry, slope, drainage, among other characteristics. This allowed the characterization of the types of use and occupation of the most vulnerable places to the mudflow.

Keywords: Land use planning; Geological Risk Index (GRI); Territorial Management; Geotechnologies

SUMÁRIO

Introdução e Fundamentação	14
Questões e Hipóteses	16
Objetivos	16
Objetivos Específicos	16
Organização da Tese.....	18
Metodologia	19
Levantamento Bibliográfico.....	19
Análise, experimentação e avaliação de processos metodológicos baseados em sistemas de informações geográficas e geotecnologias associadas a vôos de drone (VANT).....	19
Análise de Multicrterios.....	20
Peso de Evidência X Análise Combinatória	21
Método Delphi	23
Classificação Supervisionada.....	25
Uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto	26
Geologia Regional do Quadrilátero Ferrífero	27
Estratigrafia	27
<i>Terrenos Granito-Gnaissicos (TTG's)</i>	27
<i>Supergrupo Rio das Velhas</i>	28
<i>Grupo Nova Lima</i>	29
<i>Supergrupo Minas</i>	30
Evolução Tectônica.....	32
RESULTADOS PARCIAIS	34
Índice de Risco Geológico utilizado como apoio ao planejamento urbano e territorial: estudo de caso no município de Nova Lima, MG	35
Introdução	36
Caracterização Geofisiográfica da Área de Estudos	40
Metodologia	41
Elaboração de cada variável.....	44
Resultados e Discussões.....	51
Conclusão.....	52
Referências:.....	54
Potencial de Ocupação Urbana a partir de dados de VANT: Vale do Sereno – Nova Lima/MG	58
Introdução	59
1 Contextualização da Área de Estudo	61
2 Metodologia	63
	12

3 Resultados	67
4 Conclusão.....	68
Contribuição dos autores	68
Referências.....	69
Geoprocessamento e a Análise de Vulnerabilidade a Desastre Humano: Córrego do Feijão, Brumadinho, MG.....	73
1 Introdução	74
2 Metodologia	76
3 Fluxograma e Passo-a-Passo Metodológico	79
4 Estudo de Caso: A mineração Córrego do Feijão e o Município de Brumadinho.....	81
5 Caracterização da Área e das Consequências do Evento.....	83
6 Conclusão.....	86
Referências.....	87
Conclusão Geral do Trabalho.....	91
Referências Gerais	94

Introdução e Fundamentação

Os mapas temáticos de ordenamento territorial agregam em um único documento dados gerados por geoprocessamento e ligados a: litologia; geomorfologia; densidade vegetal; riscos urbanos; processos antrópicos e outras situações correlatas. Para a construção dos mapas temáticos é necessário a aquisição de extenso banco de dados adquiridos por meio de trabalho de campo, sensoriamento remoto, dados espaciais gerados a partir de imagens de satélite. Todos estes dados são analisados e trabalhados em escritório afim de melhor compreensão de como interagem e auxiliam na elaboração da carta final. Esse produto pode e deve ser utilizado pelo Poder Público como uma ferramenta para gestão de seu território e conhecimento do mesmo, conforme diretriz do Ministério das Cidades (Lei nº 12.340, de 1º de Dezembro de 2010). Esse fato irá propiciar ao Poder Público local mais assertividade nas tomadas de decisões sobre gestão municipal relacionadas ao ordenamento territorial.

Semelhante à diretriz do Ministério das Cidades, a Lei nº 12.608 (10 de abril de 2012) prevê que os municípios com áreas suscetíveis a deslizamentos, inundações ou processos geológicos e hidrológicos correlatos devem identificar e mapear as áreas de risco, bem como elaborar plano de contingência, fiscalização controle de ocupação urbana e ou industrial em áreas de alta suscetibilidade a ocorrência de processos geológicos de alto impacto social e ambiental.

Desta maneira o Município de Nova Lima/MG e arredores passa pelas situações expostas pelas leis supracitadas e se enquadra como área de estudo para o presente trabalho. A vista disso, este trabalho irá relacionar as características geológicas e morfológicas da região às questões de uso e ocupação.

Uma série de conflitos de interesse ocorre entre os setores presentes nesta área. A atividade minerária neste território está diminuindo e um dos vetores de expansão urbana da capital do Estado de Minas Gerais ocorre em sua direção, sobretudo na área que compreende os bairros Vale do Sereno, Vila da Serra, Jardim da Torre, dentre outros bairros adjacentes que fazem divisa com o limite sul do Município de Belo Horizonte. Isso gera conflitos entre os interesses públicos e os privados, ambientais e do setor imobiliário (SOUZA, 2006). Na área em questão, quando se elabora uma análise espacial para a identificação dos possíveis conflitos de interesse é possível perceber interesse do setor imobiliário ligado à expansão urbana da zonal sul de Belo Horizonte (SOUZA, 2006). Mesmo que estejam localizados em áreas de difícil ocupação, seja pela presença da alta declividade, ou pelas características geotécnicas da área, existe o conflito associado a ocupação urbana (ZYNGER, 2012). Ainda há o conflito ligado diretamente a geologia econômica, que é a extração mineral, sendo ainda a principal atividade econômica desta região e do estado de Minas Gerais, uma vez que é localizada

dentro do Quadrilátero Ferrífero (RUCHKYS *et al*, 2015). Desta maneira, este estudo tem como motivação as questões ligadas ao uso e ocupação do solo e as características físicas da região.

O município de Nova Lima possui uma área total de 428,449 km² e sua principal atividade econômica é a extração do minério de ferro, responsável por, aproximadamente 55% do PIB do município (IBGE, 2014), e pela significativa geração de empregos na cidade. Está localizado no Quadrilátero Ferrífero, província mineral de relevância mundial que justifica grande parte da economia do Estado de Minas Gerais (MACHADO, 2009). A região é sede de diversas corporações multinacionais as quais geram empregos e movimentam a economia local, o que aumenta o interesse da expansão urbana na área nobre em questão.

A partir desse cenário, entende-se que a relevância desta proposta de pesquisa está em aplicar a metodologia que permite, de maneira breve e participativa, solucionar e caracterizar os conflitos territoriais a fim de obter um denominador comum que contemple as partes envolvidas. Dessa maneira, esta pesquisa poderá contribuir com aplicação de metodologias que subsidiem o entendimento da dinâmica atual da paisagem e a criação de cenários futuros, a partir de simulações que poderão nortear e auxiliar a tomada de decisões sobre ordenamento territorial de acordo com os interesses dos atores sociais envolvidos neste processo de gestão de paisagem (BATTY, 2013).

Questões e Hipóteses

Partindo de leituras realizadas acerca do tema geoprocessamento e ordenamento territorial, percebe-se que a nova metodologia vem sendo cada vez mais utilizada ao redor do mundo para auxiliar as tomadas de decisão a respeito da gestão territorial. Por esta razão nota-se que o Poder Público está aderindo ao uso deste método de análise e gestão territorial. Para isso são necessários mais estudos teóricos e metodológicos em prol de uma adaptação ao cenário específico de cada região estudada. Desta maneira, a contínua produção de informações a respeito do tema vem sendo desenvolvida há alguns anos.

É possível realizar coleta e sintetização dessas informações a fim de gerar sua espacialização e inserção em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), permitindo a proposição de critérios de avaliação que auxiliem na construção de modelos de decisão para os cenários futuros. Logo, seria possível a integração das diversas variáveis presentes?

É possível que as análises de mapeamentos geológicos, mapeamento morfométricos e outros dados de análise espacial sejam um bom subsídio para que os atores sociais, que são responsáveis para a tomada de decisão, consigam propor o melhor cenário possível?

Objetivos

Aplicar e sistematizar métodos de sensoriamento remoto e geoprocessamento em três estudos de caso em áreas dos municípios de Nova Lima e Brumadinho, MG, para elaboração mapas temáticos de gestão e ordenamento territorial, incluindo mapas de risco geológico e de potencial de uso e ocupação em áreas do Município de Nova Lima/MG e arredores. Há, também, o estudo de caso do ordenamento territorial pré-rompimento e pós-rompimento da barragem de rejeito de uma mina em Brumadinho/MG, a partir de estudos supervisionados de imagem de satélite. Os estudos de caso foram realizados de maneira que possam ser replicáveis para outras regiões além da área estudada.

Objetivos Específicos

Para a elaboração dos três estudos de caso propostos é preciso cumprir os seguintes objetivos específicos

- desenvolver um índice espacial capaz de representar o contexto quanto ao risco geológico urbano para o município de Nova Lima, levando em consideração os aspectos relativos à geologia local.

- realizar a análise espacial de área urbana do município de Nova Lima e conhecer/compreender o seu potencial de uso para ocupação urbana a partir da utilização de VANT;
- aplicar a análise e tratamento de imagens de satélite para avaliação do uso e ocupação de sub-bacia do Ribeirão Ferro Carvão, antes e após o rompimento da barragem de rejeito da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, MG.
- Simular o meio físico local com base na modelagem de dados espaciais e auxílio da plataforma SIG.
- Elaborar mapas de risco geológico-geotécnico e de uso e ocupação do solo para as áreas estudadas;
- Construir banco de dados de informações cartográficas georreferenciadas;
- Correlacionar todos os dados ligados as cartas temáticas e produtos finais para subsidiar o Poder Público local na gestão territorial;
- Avaliar a aplicação das metodologias em questão como novas formas de trabalho em questões de planejamento da paisagem devido a expansão urbana, de modo a minimizar os conflitos com as questões físicas do território;
- Apontar áreas onde deve haver prioridade para não ocupação antrópica, a fim de preservá-las de modo sustentável e identificar os espaços mais adequados para a utilização antrópica.

Organização da Tese

A tese resultante da pesquisa será redigida em capítulos contendo Introdução, Objetivos, Revisão bibliográfica e caracterização da área de estudo, Métodos, Resultados e discussão e Conclusão. O Capítulo de resultados e discussão da tese serão inseridos artigos com os resultados e discussão correspondente à pesquisa realizada e que permitam as conclusões da pesquisa.

Metodologia

A metodologia usada está de acordo com as legislações vigentes que indicam a elaboração de mapas temáticos que servem de base para os municípios ~~passa~~ a conhecerem seus territórios e, assim, estabelecerem diretrizes para planos diretores, tendo o meio físico como base do planejamento urbano-ambiental. Para a abordagem metodológica geral, optou-se pela estrutura de estudos de caso, uma vez que o tema investigado aborda problemas contemporâneos passíveis de análise em diferentes campos de atuação e com foco no ordenamento territorial. A tese é constituída por levantamento bibliográfico, análise, experimentação e avaliação de processos metodológicos baseados em sistemas de informações geográficas e geotecnologias. Estas técnicas foram utilizadas como ferramentas para a caracterização das áreas de estudo, através de sua espacialização e elaboração de mapas temáticos, que serviram de base para a observação de como o território se comporta. A Análise de multicritérios foi usada para elaboração de modelo simplificador da complexidade espacial e tratamento das variáveis. Todas estas análises estão detalhadas nos artigos (estudos de caso) que compõem a presente tese.

Levantamento Bibliográfico

Trabalhos sobre esta temática foram revisados e alguns são utilizados como base metodológica na elaboração desta pesquisa. O trabalho elaborado por Parizzi *et. al.* (2010), discorre sobre o potencial de uso dos terrenos, a partir das litologias presentes no local, classificando-as em notas de 0 a 10. Por sua vez, Fonseca (2015), desenvolve estudos ligados ao ordenamento territorial do município de São Gonçalo do Rio Abaixo, que faz parte do Quadrilátero Ferrífero. O trabalho realizado por Casagrande *et al* (2017) retrata o potencial da geologia como parte substancial para o planejamento urbano.

Análise, experimentação e avaliação de processos metodológicos baseados em sistemas de informações geográficas e geotecnologias associadas a vôos de drone (VANT).

A etapa de geoprocessamento engloba a análise de dados espaciais a partir de imagens de satélite. O modelo digital de terreno (MDT) será gerado utilizando o software ArcGIS e a imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), a qual é obtida, gratuitamente, pelo site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS – United States Geological Survey). Nesta etapa será realizado o IRG

(Índice de Risco Geológico) descrito no Artigo do estudo de caso 1. Ainda durante o geoprocessamento serão utilizados procedimentos de análises espaciais como a Análise de Multicritérios (Moura, 2007) para que se obtenha os modelos de IRG.

Esta etapa atende a legislação que dispõe sobre a obrigatoriedade dos municípios conhecerem seu território e considerarem em seus planos diretores as áreas de risco, segundo a Lei nº 12.608 (Brasil, 2012) e a Lei nº 12.340 (M. das Cidades, 2010).

Foram realizados vôos de drone nos locais identificados como áreas predispostas ao risco com o objetivo de modelar tridimensionalmente o local e realizar uma análise espacial para identificar o potencial de ocupação da área do estudo de caso 2. Este vôo permite a captura de fotografias aéreas que, quando integradas, possibilitam a geração de um mosaico de ortofotos local, dados de topografia e, também, acesso as bandas Vermelha, Verde e Azul, as quais permitem realizar operações de bandas espectrais afim de se obter produtos temáticos para melhor compreensão do território.

No último estudo de caso foi abordado o uso das imagens de satélite Sentinel-2A com o objetivo de melhor compreender o território de análise da sub-bacia Ribeirão Ferro Carvão. O recorte de áreas de estudo em sub-bacias é recomendado para o ordenamento territorial e, também, para análise dos dados gerados por catástrofes de obras antrópicas (Porto & Lobato, 2004). Realizou-se a classificação pixel-a-pixel das imagens de satélite para compreender o uso e ocupação do solo pré-rompimento e pós-rompimento da barragem de rejeito da Mina Córrego do Feijão.

Com a aplicação destas metodologias de imagens de satélite ou áreas (realizada pelo VANT) é possível conhecer melhor o território e o meio físico, compreender sua morfometria, o que é altamente importante em questões de ordenamento territorial.

Análise de Multicritérios

A Análise Multicritérios é regida pela álgebra de mapas, as principais variáveis que representam uma realidade são selecionadas e representadas de modo numérico, de forma integrada e espacializada.

Segundo Moura (2007) a Análise de Multicritérios pode ser entendida como um modelo que simplificador da complexidade espacial, através da seleção de variáveis relevantes que caracterizam um fenômeno e que podem ser organizadas em camadas de informações, utilizando resolução espacial que respeita a discretização do território, conforme cada objetivo de investigação e respeitando a qualidade de informação disponível. Logo, trabalha-se com níveis de informações que já receberam julgamento sobre seu significado para o objetivo de investigação, significando um valor numérico

para o grau de pertinência (codificação numérica de elementos, que antes estavam em escala ordinal, quantitativa e seletiva ou nominal) (MOURA, 2007; MOTTA, 2017).

O primeiro passo para se aplicar a álgebra de mapas é a identificação das variáveis principais de um sistema, elencando as características que compõem uma realidade.

Definidas as variáveis, é necessário representá-las por discretização territorial, discretização territorial consiste na definição da unidade territorial de análise espacial, que pode ser o pixel, mas também pode ser uma unidade administrativa, tais como setores censitários ou os lotes urbanos. Há, também, a necessidade de se definir a escala temporal de análise.

Na etapa de composição, o geoprocessamento apresenta um conjunto de ferramentas que permitem compreender a relação entre as variáveis, realizar álgebras de decomposição e composição. O processamento dos dados deve ser feito tendo em vista, claramente, os motivos de investigação do estudo. O resultado da integração das variáveis precisa ser validado frente à realidade, e, caso necessário, calibra-se o processamento em qualquer etapa, para, só então, realizar-se um estudo propositivo de transformação da realidade (MOURA, 2005).

Os principais métodos de integração de dados para geoprocessamento são: Pesos de Evidência (Weighted Sum) e a Análise Combinatória (Combinatorial Analysis).

Peso de Evidência X Análise Combinatória

O método de Análise Combinatória provém de julgamentos par-a-par das variáveis de investigação, permite ao pesquisador o controle da presença ou ausência de cada variável e a reflexão sobre o peso da combinação com outras variáveis nos resultados parciais, sucessivamente, à medida que se acrescentam variáveis na análise, até se chegar a uma análise final resultante final das combinações. O estudo ocorre de forma gradual, à medida que o pesquisador julga o processo e propõe novas combinações.

O método de Pesos de Evidência combina simultaneamente o total de variáveis para fornecer um ranking classificatório de um potencial ou vulnerabilidade (Figura 1).

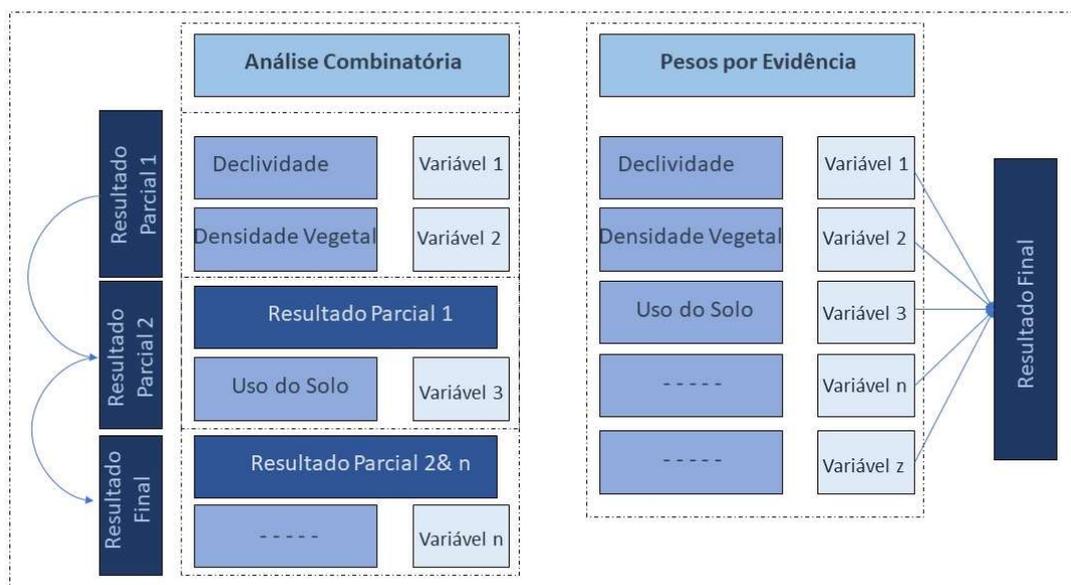


Figura 1: Esquema metodológico, exemplo que compara os dois métodos multicritérios. Na Análise Combinatória o processo ocorre por etapas de análise par a par, gerando resultados parciais, sucessivamente caso seja acrescentado mais variáveis (n variáveis) até a última análise que será o resultado final. Na etapa de Pesos e Evidência, a análise ocorre com todas as variáveis ao mesmo tempo, onde cada uma recebe um peso gerando um ranking classificatório como resultado final. Fonte: O autor, modificado de Rocha et al (2018).

Para se entender melhor como funciona o método da Análise Combinatória é apresentada a Figura 5. No exemplo a variável 1 representa o “Declividade” e nela a letra “A” representa alta declividade, a letra “B” as áreas de baixa declividade. No exemplo a variável 2 representa “Vegetação”, sendo a letra “C” correspondente a alta densidade vegetal e a letra “D” correspondente a baixa densidade vegetal. Note-se que este é apenas um exemplo e não configura nenhum caso utilizado no trabalho. Considerando-se uma razão de estudo o nível de interesse em ocupação de determinadas áreas: No método de Pesos de Evidência, as camadas recebem classificações (notas/pesos) numéricas, indicativas da importância da variável para o estudo em questão (Alta declividade recebe nota 5 em relação a possibilidade do uso para ocupação e a baixa declividade recebe nota 10 para a finalidade de uso de ocupação), e as variáveis são combinadas com 50% de peso cada. Em Pesos de Evidência, um ranking é obtido, no qual o maior valor indica onde há a maior importância de se promover ações de uma proteção, considerando simultaneamente todas as variáveis (ranking de 3 a 7). O resultado é uma escala gradual, na qual pode se perder informação sobre a presença de uma condição em específico. Cabe observar que nas posições onde há Baixa declividade (que eram simbolizadas pela letra “B”) obtêm-se valores 5,5 ou 7, de acordo com a sua relação com a presença de cobertura vegetal. O julgamento é quantitativo e ordenado.

Na Análise Combinatória é mantida a anotação da presença justaposta de arranjos de variáveis e cabe ao usuário julgar o seu significado nos resultados parciais e finais do processo. Logo, é possível manter a informação de presença de Alta declividade por todo o processo, por decisão do usuário, a informação não é reduzida, e se mantém igualmente como prioridade de não ocupação até o final da composição. O julgamento é qualitativo e seletivo (Figura 2)

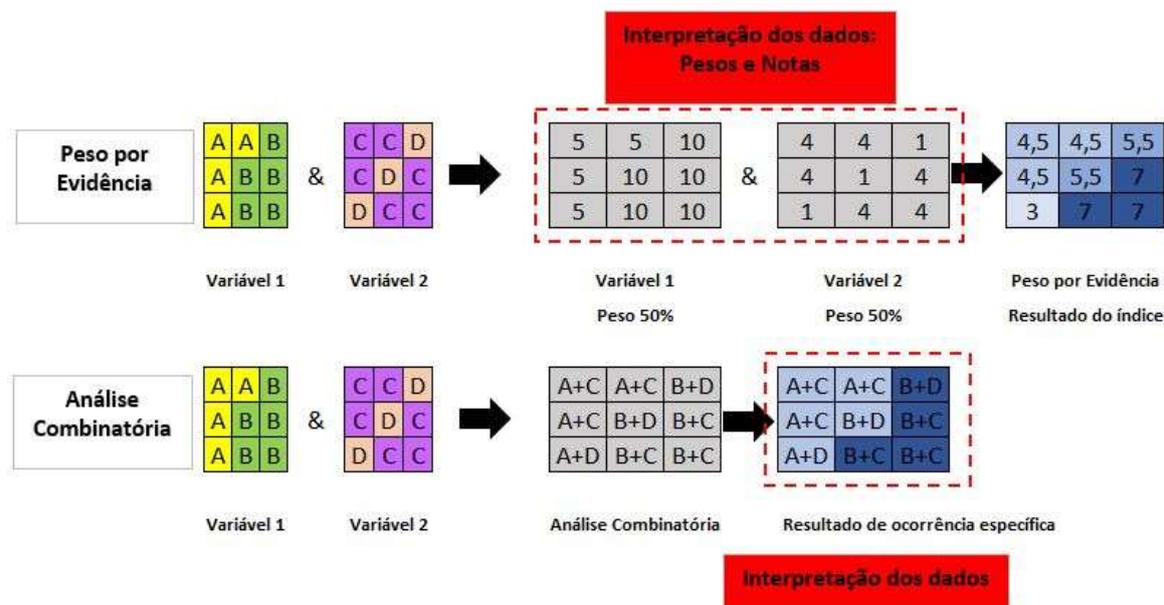


Figura 2: Na análise por Pesos de Evidência, é raciocinado a importância de cada variável em uma etapa anterior ao resultado final, que se apresenta como índice, no qual, por sua vez, não se consegue reconhecer o papel individual de cada variável, chegando-se a um resultado quantitativo e ordenado. Na Análise Combinatória, o raciocínio sobre o papel de cada variável acontece diante dos resultados parciais (ou final), segundo o significado da combinação obtida, logo, obtém-se um resultado qualitativo e seletivo. Fonte: O autor, modificado de Rocha et al (2018).

Método Delphi

A preparação dos pesos e notas utilizados na Análise de Multicrterios por Peso por Evidência foi realizado a partir de um estudo Delphi, com o intuito de compreender como as variáveis interagem entre si para a elaboração do Índice final do estudo de caso 1.

Foi fundamental a adequada seleção dos participantes que iriam participar do estudo Delphi, esses foram escolhidos por suas experiências profissionais e/ou acadêmicas, sempre levando em consideração conhecimentos ligados à Geologia e à questão do ordenamento territorial. O grupo participante foi formado, em sua maioria, por geólogos, seguido de geógrafos, engenheiros e um

biólogo, totalizando quinze participantes. Do conjunto, sete deles eram acadêmicos e oito, profissionais do mercado.

Um questionário Delphi foi aplicado aos participantes, avaliando o impacto das decisões sobre cada variável e explicando o objetivo de creditar pesos e notas em ponderadores relevantes para caracterização de áreas propensas ou não a urbanização. Dessa maneira, uma equipe multidisciplinar realizou uma análise multicritérios por peso de evidencia para o planejamento urbano, considerando fatores geológicos incisivos na região de estudo.

Uma vez que julgamentos dessa natureza podem ter respostas diferentes em virtude de opiniões ou setores de atuação, decidiu-se aplicar o Método Delphi, que se baseia em maximização de consenso (VICHAS, 1982; MOURA, 2007).

Com base em 15 respostas, obteve-se a tabela com a média das opiniões sobre os pesos e notas entre as variáveis. Essa avaliação permitiu chegar-se a uma definição da tabela de pesos e notas, que registra o impacto cruzado entre sistemas, e os valores foram utilizados para a confecção do Índice. (VICHAS, 1982; MOURA, 2007).

Esse Métodos Delphi gerou valores a serem inseridos no banco de dados visado a elaboração do Índice Final. A síntese das opiniões foi composta em tabela 1, destacando-se o resultado final do grupo analisado.

Tabela 1: Ponderadores e Pesos para a Análise de Multicritérios do artigo 1

Ponderadores x Pesos			
Ponderadores	Pesos (%)	Descrição	Notas
Potencial de Uso Geotécnico - Notas retiradas de Parizi (2010)	25,0%	Lateritas	2,0
		Dolomito	4,0
		Filito, Dolomito	5,0
		Filito	5,5
		Metarenito	6,0
		Quartzito	7,0
		Granito	8,0
Índice de Concentração da Rugosidade	20,0%	Alto	10,0
		Médio	5,0
		Baixo	0,0
Unidades Geomorfológicas	35,0%	Superfície Residual Elevada	1,0
		Nível Intermediário de Topo	4,0
		Achatado	7,0
		Relevo Residual Dissecado	7,0
		Superfície Dissecada Rebaixada	8,0
Índice de Hack	10,0%	Vale Fluvial Preenchido	5,0
		Alto	10,0
		Médio	5,0
		Baixo	0,0
Cavas de Mineração - Céu Aberto	10,0%	Presença de Cava	7,0
		Ausência de Cava	1,0
Total resultante dos Pesos	100%		
	100,0%		

Fonte: O autor

Classificação Supervisionada

A classificação supervisionada é feita por um analista, com conhecimento de geoprocessamento, na qual se fornece ao programa um conjunto de amostras de treinamento para cada classe que deve ser diferenciada na imagem. Essas amostras consistem em polígonos da imagem representativos das classes escolhidas. Devem ser determinadas pelo analista que, por sua vez, deve possuir prévio conhecimento das classes e da área de estudo (RICHARDS, 1986; NOVO, 2008).

Após seleção do maior número possível de pixels correspondentes à lavra, esses são agrupados em uma única classe na aba Training Sample Manager. Esse processo de treinamento do software nada mais é do que o reconhecimento de padrões. Conforme Meneses (2012), os valores de pixels que identificam uma classe específica de alvo ou objeto real da natureza são denominados padrões, ou seja, a classificação automática de imagens nada mais é do que um reconhecimento de padrões.

O próximo passo foi a seleção de pixels de regiões onde, com certeza, há o uso e ocupação do solo desejado. Uma vez o pixel selecionado, deve-se agrupar o mesmo em uma classe junto aos demais que são idênticos a esse (Figura 3).

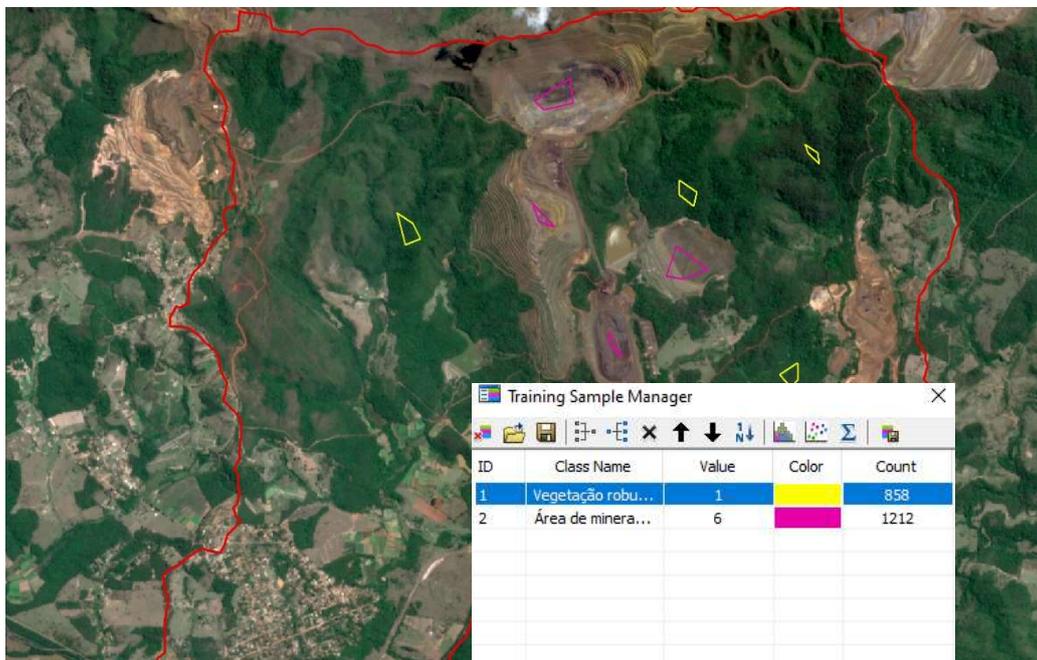


Figura 3: Seleção de áreas de interesse para a classificação pixel-a-pixel. Fonte: O autor

Uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto

O uso de Sistema de Informação Geográfica e a aplicação de métodos de sensoriamento remoto na análise espaço-temporal tem sua utilidade para o monitoramento de fenômenos, antrópicos e naturais, na alteração da paisagem (Moura, 2005).

Atualmente, há novas tecnologias de geoprocessamento surgindo com elevada frequência. O VANT é um exemplo, uma vez que capta imagens da superfície através de sensores aéreos, com baixo custo e elevada qualidade das imagens. Podendo gerar pixel com valores de centímetros, dependendo da altitude em que é realizado a captura das imagens (Longhitano, 2010).

O geoprocessamento está ligado diretamente ao novo olhar sobre o espaço, possível de gerar modelos de análise espacial do território e traçar cenários e simulações de fenômenos (Moura, 2007), porém estes modelos dependem da seleção das variáveis de análise e de suas combinações. Isto posto, todo modelo de análise são tentativas de representação da realidade, de maneira simplificada, em busca de respostas sobre a correlação das variáveis a fim de se obter o produto final para que seja realizada a interpretação (Moura, 2007). Desta maneira, o geoprocessamento é uma ferramenta útil para visualização de dados e que auxiliam a melhor compreensão e dinâmica do território em análise.

O sensoriamento remoto atua dentro do geoprocessamento e junto as análises passíveis de serem executadas, oferece a possibilidade aos planejadores, pesquisadores e poder público, melhor conhecimento de seu recorte de trabalho e auxilia, com seus modelos, na tomada de decisão, para as questões urbano-ambientais.

Geologia Regional do Quadrilátero Ferrífero

As três áreas de estudo de caso do presente trabalho estão localizadas no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero, grande província mineral e área de suma importância na mineração. Posto isto, uma breve descrição da geologia local será disposta neste capítulo.

O Quadrilátero Ferrífero (QF) é alvo de estudos, exploração e investimentos desde o século XVIII, por ser uma importante província metalogenética, abrigando depósitos ferrosos e auríferos, gemas e minerais industriais. De acordo com Lima (2012), os trabalhos pioneiros datam do final do século XIX com pesquisadores estrangeiros.

John Dorr e colaboradores, em meados do século XX, mapearam a região do QF na escala 1:25.000 em um convênio DNPM/USGS (Dorr, 1969). Nesse trabalho técnico pioneiro, os litotipos komatiítos, clorita-xistos, quartzo-xistos, mica-xistos, quartzitos, cangas, formação ferrífera bandada (FFB) e metaconglomerados foram mapeados e separados em três grandes unidades denominadas, da mais antiga para mais nova, Séries Rio das Velhas, Minas e Itacolomi, que mais tarde foram renomeadas de Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi (Loczy & Ladeira, 1976).

Estratigrafia

O empilhamento estratigráfico do Quadrilátero Ferrífero está resumido na figura 1 da presente Tese.

Terrenos Granito-Gnaissicos (TTG's)

Os terrenos granito-gnaissicos, constituídos por tonalitos-trondjemitos-granodioritos, são expostos no QF no núcleo de estruturas dômicas, como os complexo do Bação, Bonfim, Caeté e Belo Horizonte. O contato desses terrenos é descrito como tectônico com as unidades supracrustais adjacentes (Alkmim & Marshak, 1998). Protólitos ígneos com idade mais antiga que 2.920 Ma compõe esses TTG's, assim como plútons tonalíticos e graníticos intrusivos estão presentes nos gnaisses e migmatitos mais antigos, com idades entre 2.780 Ma e 2.600 Ma (Noce, 2005). A seguir a coluna estratigráfica simplificada para o Quadrilátero Ferrífero.

Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas é constituído uma sucessão típica de Greenstone Belt arqueano, com rochas metavulcânicas (komatiitos, basaltos e vulcanoclásticas) e metassedimentares, incluindo carbonatos, formações ferríferas e terrígenos. Esse supergrupo é a unidade mais difundida no Quadrilátero Ferrífero, geralmente ocorrendo em áreas de anticlinais. Foi, inicialmente, dividido dois grupos: o Grupo Nova Lima na base e o Grupo Maquiné no topo (Dorr, 1969). Mais tarde, as sequências metavulcânicas ultramáficas e máficas basais do Grupo Nova Lima foram separadas do mesmo, originando o Grupo Quebra Osso, o qual foi inserido na porção basal do Supergrupo Rio das Velhas.

Baltazar & Zucchetti (2007) propuseram uma subdivisão estratigráfica dividindo os litotipos do Supergrupo Rio das Velhas em associações de litofácies. As associações de litofácies da base para o topo são: vulcânica máfica-ultramáfica, vulcanossedimentar química, sedimentar clástico-química, vulcanoclástica, ressedimentada, costeira (ou litorânea) e não marinha. Essas associações de litofácies estão descritas a seguir:

- Associação de rochas vulcânicas máficas a ultramáficas – compostas por komatiitos peridotítico, em fluxo maciço ou pillow, em alguns lugares brechados e com textura spinifex. Os basaltos maciços e em pillow são predominantes. Corresponde ao Grupo Quebra Osso e unidade Ouro Fino do Grupo Nova Lima.
- Associação vulcanossedimentar química – composta por toleítos intercalados com FFB's e chert ferruginoso, e rochas sedimentares clásticas finas, como turbiditos e pelitos carbonosos. Os pelitos aparecem intercalados com rochas sedimentares químicas e os basaltos são maciços. A partir da análise petrográfica e das características químicas dos basaltos de ambas as associações, esses seriam depósitos em mar profundo. Correspondente à unidade Morro Vermelho.
- Associação sedimentar clástico-química – caracterizada pela alternância de rochas sedimentares finas, clásticas e químicas. Pelitos (xistos micáceos e clorita) intercalados com FFB e subordinado a chert e xisto carbonoso. Essa associação seria depositada ainda em ambiente marinho. Corresponde à unidade Santa Quitéria.
- Associação vulcanoclástica – apresenta quatro litofácies: (1) Brechas monomítica polimítica, (2) conglomerados e grauvacas, (3) grauvacas-arenitos, (4) grauvacas-argilitos. Essas rochas foram agrupadas nessa mesma associação já que são semelhantes em composição e textura, havendo uma

contribuição vulcânica félsica da fonte. As litofácies 1 e 2 seriam depositadas em leques aluviais. As litofácies 3 e 4 são intimamente ligadas e seriam depositadas em ciclos. As litofácies dessa associação são interpretadas como depósitos em ambiente marinho por correntes de turbidez. Corresponde às unidades Ribeirão Vermelho e Mestre Caetano.

- Associação ressedimentadas – associação amplamente distribuída no QF incluindo três sequências de grauvaça a argilito, sendo dentre as sete associações a que possui maior área de ocorrência dentro do Greenstone Belt Rio das Velhas. Suas rochas características são grauvacas, quartzo grauvaça, arenitos e siltitos, com camadas cíclicas e contato abrupto entre os ciclos. Corresponde às unidades Mindá e Córrego do Sítio, Catarina Mendes, Fazenda Velha e Córrego da Paina; e à unidade Rio de Pedras da Formação Palmital do Grupo Maquiné.

- Associação costeira - associação costeira com quatro litofácies: arenito com estratificação de médio a grande porte, arenito com marcas onduladas, arenito com estratificação cruzada tipo espinha de peixe e arenito-siltoso. Corresponde às unidades Pau D'Óleo e Andaimés.

- Associação não-marinha – associação não-marinha com as litofácies: conglomerado, arenito de granulometria grossa, arenito de granulometria fino a médio. Corresponde às unidades Chica Dona, Jaguará, Córrego do Engenho e Capanema, da Formação Casa Forte do Grupo Maquiné.

Grupo Nova Lima

Dorr et al. (1957) originalmente definiu o Grupo Nova Lima como a porção basal da Série Rio das Velhas e subdividiram esse grupo em onze unidade informais, que, da base para o topo, são: Ouro Fino, Morro Vermelho, Santa Quitéria, Ribeirão Vermelho, Mestre Caetano, Córrego do Sítio, Mindá, Catarina Mendes, Fazenda Velha, Córrego da Paina e Pau d'Óleo.

A maior unidade distribuída no Grupo Nova Lima é a unidade Córrego do Sítio, essa caracteriza-se pelas intercalações de metagrauvacas com metapelitos carbonosos e sericíticos que constituem uma espessa seqüência turbidítica com acamamento gradacional.

O Grupo Nova Lima tem idade estimada em deposição de 2710 Ma, idade atribuída por Cassino (2014), obtida via análises em zircões de duas amostras de metarenitos. Essa idade é correlata ao evento Mamona, o qual marca a instalação da bacia sob uma tectônica instável (Dutra, 2017).

Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas (SGM) foi inicialmente denominado como Série Minas e descrito em Dorr (1969). Segundo Dorr (1969), o Supergrupo Minas difere do Supergrupo Rio das Velhas por compreender uma grande cobertura de formações tabulares e com maior extensão lateral, com litologias mais consistentes, sendo o contato entre os dois Supergrupos um contato discordante.

O Grupo Caraça, pertencente ao SGM, compõe-se por rochas clásticas que situam-se discordantemente sobre as unidades vulcanossedimentares do Supergrupo Rios das Velhas, sendo subdividido em duas formações: Moeda na base, e Batatal no topo. A Formação Moeda é composta predominantemente por litologias de composição quartzítica, que incluem metaconglomerados, filitos e quartzitos de grão fino a grosso com conteúdo variável de sericita. Por sua vez, a Formação Batatal é constituída por filitos sericíticos, filitos grafitosos, formação ferrífera e, subordinadamente, por metacherts, com espessuras métricas que variam até 200m, dependendo do local onde afloram. O contato entre as Formações Moeda e Batatal é concordante, já o contato entre a Formação Batatal e o Grupo Itabira, subindo a sequência estratigráfica, é gradacional.

O Grupo Itabira, composto pelas Formações Cauê, na base, e Gandarela, no topo, apresenta FFB do tipo Lago Superior na primeira, e, no topo, a Formação Gandarela apresenta uma sequência carbonática. O Grupo Piracicaba sobrepõe-se à Formação Gandarela de maneira discordante, contendo espesso estrato de sedimentos marinhos de águas rasas e de delta. O Grupo Sabará, a unidade mais recente do SGM, constitui-se por uma sequência turbidítica, tufo, vulcanoclásticas e conglomerados. Essas unidades estão presentes na Figura 4.

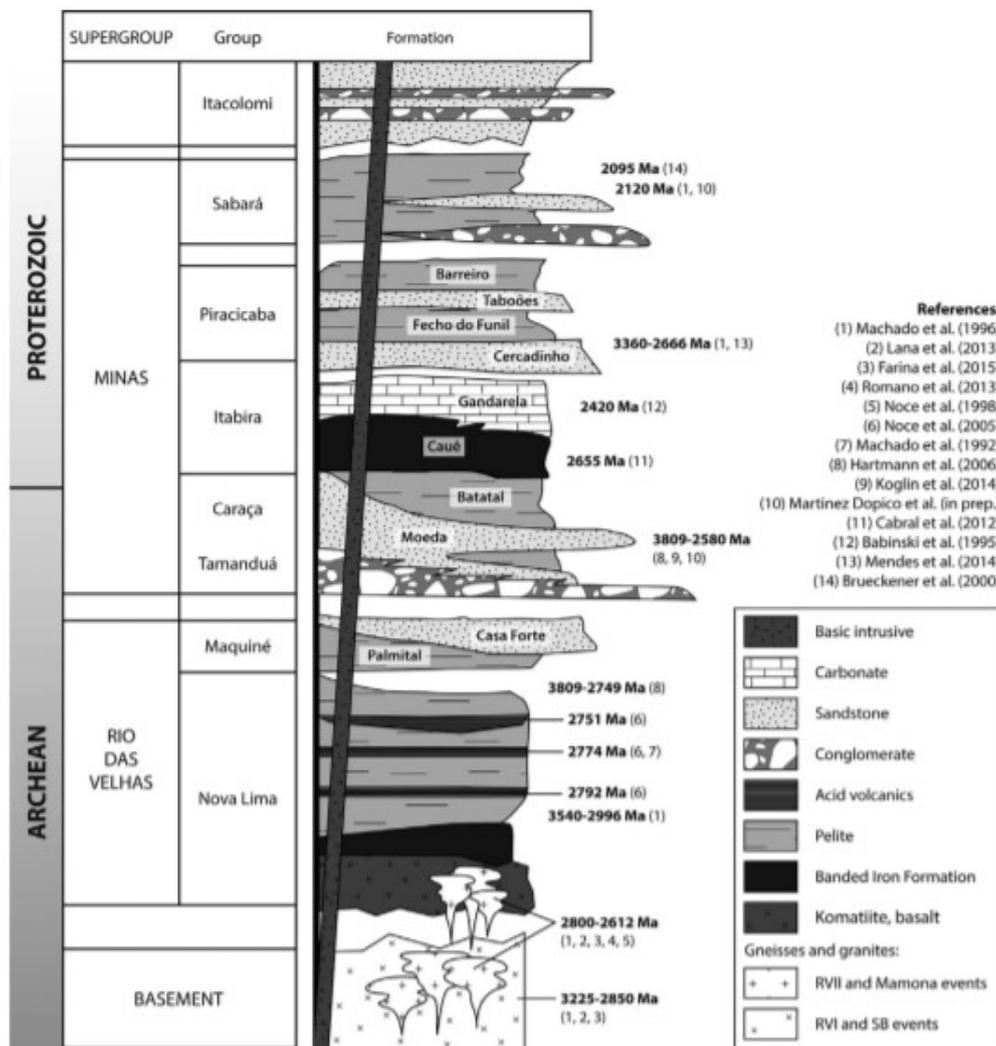


Figura 4: Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero Fonte: Farina et al. 2015.

De acordo com Alkmim & Martins-Neto (2012), o Supergrupo Minas e o Grupo Itacolomi são representados por uma unidade de preenchimento de bacia de primeira ordem de grandeza, dividindo-se em três sequências sedimentares de segunda ordem. A primeira sequência possui 1400 m de espessura e contém sedimentos continentais e marinhos de margem passiva (grupos Caraça, Itabira e Piracicaba). A segunda sequência é representada por um pacote de sedimentos sin-orogênicos de 1300 m de espessura, compostos por turbiditos pelíticos, grauvas, conglomerados e diamictitos (Grupo Sabará). A terceira sequência, por fim, composta por arenitos aluviais, conglomerados e pelitos, representados pelo Grupo Itacolomi, foi depositada em grábens montanhosos relacionados a colapsos do Orógeno Paleoproterozóico. As datações do Supergrupo Minas permitem balizar a idade desta unidade, bem como identificar certos eventos sedimentológicos, de acordo com Martínez-Dopico et

al. 2017, o início da Bacia Minas está entre 2600 Ma, idade dos zircões mais novos coletados na Formação Moeda, e 2420 Ma, idade das sequências carbonáticas da Formação Gandarela.

Evolução Tectônica

O QF apresenta um caráter polifásico que é reconhecido e aceito por alguns autores (e.g., Dorr 1969). Os modelos abordam, de modo geral, as estruturas sub-regionais e os complexos ígneos-metamórficos que constituem o embasamento, além dos supergrupos Rio das Velhas e Minas e o Grupo Itacolomi (Figura 5).

Atualmente, são reconhecidos cinco grandes eventos tectonomagmáticos arqueanos (Lana et al. 2013; Dutra, 2017): Santa Bárbara, Rio das Velhas I (RdVI), Rio das Velhas II (RdVII), Mamona I e Mamona II.

O evento Santa Bárbara é marcado pelas rochas do embasamento TTG do Complexo Santa Bárbara de idade 3212 ± 9 e 3210 ± 8 Ma e em rochas do Cinturão Mineiro de 3219 Ma. O Complexo Santa Bárbara traduz-se em um núcleo bem preservado da crosta paleoarqueana, o qual serviu como principal bloco de construção avolumado por meio de acréscimos tectônicos de terrenos mais jovens (Lana et al. 2013).

O evento Rio das Velhas I, de idade 2930 - 2900 Ma, segundo Lana et al. (2013), pode estar ligado ao primeiro surgimento de uma litosfera continental regional no sul do Cráton São Francisco. Esse processo poderia ter envolvido não apenas adições de magmas TTG na crosta Paleoarqueana, como também acréscimo tectônico de rochas máficas e ultramáficas representadas pelas unidades basais do Supergrupo Rio das Velhas.

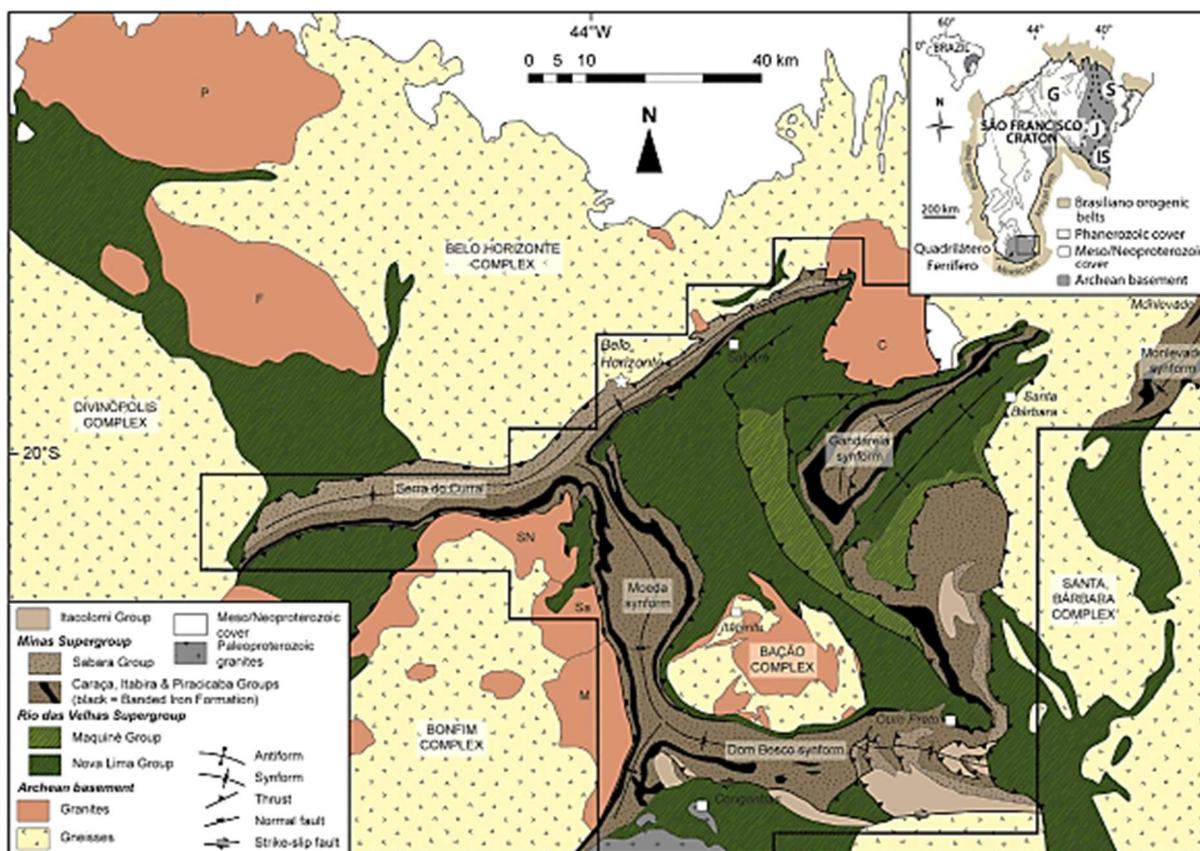


Figura 5: Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Farina *et al*, 2015.

O evento Rio das Velhas II, de idade 2800-2760 Ma, também envolveu acreção de magmas TTG. Por sua vez, esse evento magmático coincide com a extrusão de unidades vulcânicas félsicas e a sedimentação fluvial / turbidítica do Greenstone Belt Rio das Velhas (Lana et al. 2013). O vulcanismo félsico e a sedimentação turbidítica segundo Baltazar e Zucchetti (2007) marcam o estágio inicial de um processo subductivo.

Os eventos Mamona I (2750–2700 Ma) e II (2620–2580 Ma) descrevem períodos de magmatismos generalizados sucedidos após o evento metamórfico regional do QF durante o episódio RdVII. Traduzem o período final de cratonização do QF, marcado pela intrusão de granitos ricos em potássio. Durante os eventos Mamonas, intrudiram-se grandes batólitos de rochas não foliadas junto com pequenos veios leucograníticos e diques na crosta deformada. Volumetricamente, foi um evento de menor produção de granito em relação aos anteriores (Farina et al. 2016; Dutra, 2017).

Posto o contexto geológico regional, o trabalho seguirá para a contextualização de análises e técnicas de geotecnologia utilizadas nos artigos componentes deste trabalho.

RESULTADOS PARCIAIS

A partir deste item serão apresentados três artigos completos. O primeiro foi aceito pelo periódico Revista Brasileira de Geomorfologia, o Segundo e o terceiro foram submetidos, respectivamente, aos periódicos Revista Brasileira de Cartografia e Anuário de Geociências . Os trabalhos apresentados possuem numeração de itens e figuras independentes, ou seja, não seguem a ordem geral dessa tese. As referências bibliográficas citadas em ambos os trabalhos estão listadas no final de cada artigo. As referências bibliográficas gerais desse caderno estão citadas após a conclusão geral do caderno.

Índice de Risco Geológico utilizado como apoio ao planejamento urbano e territorial: estudo de caso no município de Nova Lima, MG

Geological Risk Index used as support to urban and territorial planning: case study of Nova Lima, MG

Pedro Benedito Casagrande¹, Maria Giovana Parisi², Ana Clara Mourão Moura³, Ítalo Sousa de Sena⁴, Paula Brasil Garcia⁴

¹Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia

Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte – MG, cep 31270-901

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4515-1630>

pedrobcasagrande@gmail.com

²Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Geociências

Departamento de Geologia

Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte – MG, cep 31270-901

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5616-9540>

mgparizzi18@gmail.com

³Universidade Federal de Minas Gerais

Escola de Arquitetura, Laboratório de Geoprocessamento

Departamento de Urbanismo

Rua Paraíba 697, sala 410A, Belo Horizonte – MG, cep 30130-140

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6823-1938>

anaclaramoura@yahoo.com.br

⁴Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geografia

Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte – MG, cep 31270-901

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6500-5609>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7883-7594>

italosena@gmail.com; paulabrasilgarcia@yahoo.com.br

Resumo

O município de Nova Lima, em Minas Gerais, está localizado em área de grandes elevações altimétricas e declives acentuados. O município compõe a franja sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte e, sendo fronteira com a capital, tornou-se território de expressivo valor imobiliário. Por outro lado, Nova Lima integra a região do Quadrilátero ferrífero que destaca-se no cenário nacional pela grande riqueza mineral, especialmente ferro, ouro e manganês. O espraiamento e a verticalização urbana encontram-se lado-a-lado com a mineração, e ambos disputam espaço com elementos de interesse ambiental e de paisagem cultural, o que motiva a melhor compreensão do território e a

análise diagnóstica e prognóstica das condições de risco geológico. O Índice de Risco Geológico é apresentado no trabalho como um método aplicável por tecnologias de geoprocessamento que tem como objetivo o subsídio para a tomada de decisões sobre a expansão urbana da região, e pode ser indicado como um modelo de análise espacial aplicável a outros estudos de caso no Brasil, como suporte ao planejamento territorial de áreas caracterizadas por relevo e substrato geológico complexo.

Palavras Chaves: Ordenamento Territorial, Geoprocessamento, Gestão Territorial.

Abstract

The municipality of Nova Lima, in Minas Gerais, is located in an area with high altitudes and steep slopes. The municipality is located at the southern edge of the metropolitan region of Belo Horizonte. Because it is bordered by the capital, it became a territory of great real estate value. On the other hand, Nova Lima is located in the region known as *Quadrilátero Ferrífero*, that stands out in the national scenario for the great mineral richness, especially iron, gold and manganese. The spreading and the urban verticalization are side-by-side with mining, and both dispute space with elements of environmental interest and cultural landscape, which motivates the better understanding of the territory, especially on analysis diagnostic and prognostic conditions of geological risk. The Geological Risk Index is presented in the work as a method applicable by Geoprocessing technologies that aims to guide decisions on urban expansion, and can be applied as a model of spatial analysis for studies of other areas of Brazil as a support to territorial planning, especially those characterized by complex topography and geological substrate.

Keywords: Territorial Planning, Geoprocessing, Territorial Management.

Introdução

A formação da rede urbana no Brasil remonta ao período colonial, tendo o processo de ocupação no interior do continente iniciado pelas bandeiras, organizadas por colonos que desejavam ter maior quantidade de terras (TAUNAY, 1981). Em Minas Gerais este fenômeno foi motivado principalmente pela mineração, tendo como eixo dos acontecimentos os caminhos que ligavam o Quadrilátero Ferrífero (QF) e a Serra do Espinhaço com o litoral, favorecendo a circulação de bens e

produção. A descoberta de ouro de aluvião no final do século XVII motivou entradas no território central de Minas Gerais, assim como demonstra Machado (2009, p. 18):

“Primeiro na região de Ouro Preto e Mariana, as famosas “Minas Gerais dos Cataguás” que incluíam jazidas como as de Itaverava, Itatiaia, Antônio Dias, Padre Faria, Bento Rodrigues, Ribeirão do Carmo, e logo se expandiram para Inficionado (Santa Rita Durão), Furquim, São Caetano (Monsenhor Horta), Ouro Branco, Casa Branca, Itabira do Campo (Itabirito), Catas Altas da Noruega e muitas outras. A região de Sabará caracterizou um novo grupo conhecido como “Minas do Rio das Velhas” e incluía entre outras as ricas jazidas de Congonhas do Sabará (Nova Lima), Raposos, Santo Antônio do Rio Acima (Rio Acima).” (MACHADO, 2009, p. 18).

A busca por ouro foi intensa ao ponto da maior parte do território de Minas Gerais ter sido ocupado ainda nas primeiras décadas do século XVIII, e estabelecido uma rede urbana de abastecimento de exportação do minério, conformando uma malha que ainda é a principal existente (MACHADO, 2009).

No contexto da rede urbana mineira, o município de Nova Lima apresentava-se como uma das centralidades da época, principalmente por estar inserido na porção norte do Quadrilátero Ferrífero, local onde as bandeiras de Raposo Tavares e Fernão Dias haviam estabelecido povoamentos em função do ouro de aluvião. O município tem a atividade minerária historicamente como um dos motores de sua economia. A cidade, que antes era conhecida como Campos de Congonhas, após 1836 recebeu o nome de Congonhas de Sabará, e se emancipou em 1891 com a denominação de Villa Nova de Lima, recebendo o nome atual apenas em 1923 (VILLELA, 1998).

O município de Nova Lima teve papel de destaque no processo de evolução da exploração mineral no Quadrilátero Ferrífero, sendo a exploração do ouro a principal força de desenvolvimento, seguido pela diversificação da exploração, através sobretudo do minério de ferro após declínio do Ciclo do Ouro, com a instalação da Fábrica de Ferro Patriótica, fundada pelo Barão de Eschwege no século XIX (CARRAZZONI & SOUZA, 1984). Nova Lima também foi sede da empresa MBR - Minerações Brasileiras Reunidas, instalada na década de 1960, que alcançou a segunda posição como produtora de minério de ferro no país, até sua aquisição pela Vale S.A. (FERREIRA, 2013.).

Entre o período do ciclo do ouro e o período do ciclo do ferro, a região de Nova Lima foi palco de grandes iniciativas de exploração, mas em uma época na qual os conflitos de interesse entre uso urbano do território e as atividades minerárias ainda eram incipientes e pouco representativos, assim como em relação às questões ambientais.

Cabe lembrar a origem da instalação de Belo Horizonte como a nova capital do estado em sua porção central, na borda do Quadrilátero Ferrífero. A escolha do local e o planejamento da nova capital mineira, inaugurada em 1887 (MAGALHÃES, 1989), consideraram aspectos relevantes e dentro da lógica republicana e positivista para estabelecimento de um centro urbano: em local centralizado para ampliar as conexões com a rede de municípios e em porção topográfica que favorecesse o desenho geométrico de uma cidade que traduzisse o predomínio da razão e da "ordem e progresso". Segundo Almeida (2018), o local escolhido em comparação a Ouro Preto se justificava em função dos impedimentos de um contexto geográfico que dificultava o desenvolvimento e a logística urbana. Contudo, a previsão de Aarão Reis, engenheiro que realizou a idealização da cidade, era de que ela cresceria até os limites do anel de contorno, tendo a Serra do Curral como uma moldura no eixo sul, e receberia até 200 mil habitantes.

O forte processo de urbanização no Brasil nas décadas de 60 e 70 do século XX provocou a metropolização de polos urbanos regionais, com o desenvolvimento de grandes centros como a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), instituída em 1974. Hoje a área, segundo dados do IBGE de 2015, abriga mais de 5 milhões de habitantes e apresenta 97,5% da população em áreas urbanas.

Nesse contexto de forte crescimento da RMBH, o município de Nova Lima, que antes ficava à sombra do progresso urbanístico da capital e se mantinha apenas no setor de exploração mineral, recuperou sua importância na rede de cidades em função da expansão urbana de Belo Horizonte para os limites sul, que avançou para o território novalimense (TONUCCI FILHO, 2012; COSTA & ARAÚJO, 2006). Observa-se, ainda, que a existência de um Plano Diretor em Belo Horizonte de caráter mais restritivo transferiu a explosão de verticalização para a borda sul, que já é território de Nova Lima (Figura 1).

Atualmente, com a desaceleração do processo de exploração mineral no município de Nova Lima, outros segmentos de mercado ganharam espaço, tal como o mercado imobiliário (TONUCCI FILHO, 2012). O interesse do crescimento em áreas com alguma infraestrutura urbana estabelecida e, principalmente, nas áreas limítrofes da capital, têm motivado a expansão urbana no território, mas sem necessária atenção à avaliação prévia das características geotécnicas e geomorfológicas, principalmente em um território com um histórico de grandes modificações na paisagem em função da atividade da mineração.

Nessa conjuntura, a urbanização do município de Nova Lima, cujos planos urbanos ainda são muito flexíveis quanto à autorização de ocupação em contextos geomorfológicos complexos, desperta

a preocupação por um ordenamento territorial que considere os aspectos do meio físico local, pela orientação do processo de urbanização a fim de se evitar o surgimento ou a ampliação das áreas de risco. Cabe destacar que novas áreas edificadas podem surgir em caráter desordenado (a ocupação desordenada, não incluída no planejamento formal) e contribui para o estabelecimento de áreas de risco, comprometimento de áreas de proteção ambiental e uso inadequado dos recursos naturais (GUERRA, 2010). Estudar Nova Lima é o primeiro nó na cadeia de transformação dos conflitos do eixo sul, mas os outros municípios na sequência territorial sul certamente receberão as mesmas pressões a partir da chegada da ocupação urbana.

Dentre as questões relativas ao Plano Diretor de Nova Lima, pergunta-se de que forma os aspectos geotécnicos de uma paisagem complexa e propensa a riscos foram abordados? E como motivação para os estudos realizados, como seria incluir este tipo de abordagem como referência para uma ordenação territorial?

Entende-se a geologia como uma componente síntese do meio físico, ou seja, como a base que suporta o meio em que se estabelecem as atividades ligadas ao homem, como substrato de essencial importância, não apenas na etapa de planejamento das cidades, mas também na gestão do território. O que se observa atualmente é a negligência dos elementos naturais como orientadores da ocupação urbana, que se restringe a pensar o desenvolvimento sustentável apenas segundo a ótica da instalação da infraestrutura e relegando a segundo plano os aspectos de geomorfologia e geologia.

Aspectos geológicos em geral, quando são contemplados, são associados às abordagens de recursos econômicos ou de restrições à ocupação em função de riscos. Contudo, raramente se associa a geologia ao potencial cultural, relacionado ao reconhecimento da paisagem que deu origem ao assentamento humano no território e que é de interesse de reconhecimento, valorização e visitação. Com isso, seria importante que a avaliação geológica incluísse também a abordagem da história local e sobre os marcos referenciais na paisagem, os processos aos quais o meio foi submetido, pois desta maneira podem ser reveladas as dimensões das alterações ambientais no território (FUJIMOTO, 2001). O estudo sobre risco não deve ser entendido apenas como fragilidade à vida humana, mas também de perda de valores culturais, o que sugere a ampliação dos estudos futuros sobre a temática.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como foco o desenvolvimento de um índice espacial capaz de representar o contexto quanto ao risco geológico urbano para o município de Nova Lima, levando em consideração os aspectos relativos à geologia local. O presente estudo utilizará o método desenvolvido por Casagrande *et al.* (2017) que propõe um Índice de Risco Geológico

aplicável não somente a uma determinada área, mas passível de reprodução para qualquer área de estudo e a partir de critérios defensáveis.

Caracterização Geofisiográfica da Área de Estudos

A área de estudo se localiza na porção centro-sudeste do Estado e ocupa uma área de, aproximadamente, 7.000km². A origem toponímia da porção territorial foi denominada por Gonzaga de Campos (RUCHKYS, 2007, apud DORR, 1969; SCLIAR, 1992), devido às jazidas de minério de ferro ali encontradas que ocorrem em locais delimitados nos extremos pelos municípios de Itabira, Mariana, Congonhas e Itaúna, os quais estão geograficamente arranjados de forma quadrangular no território em questão (Figura 1).

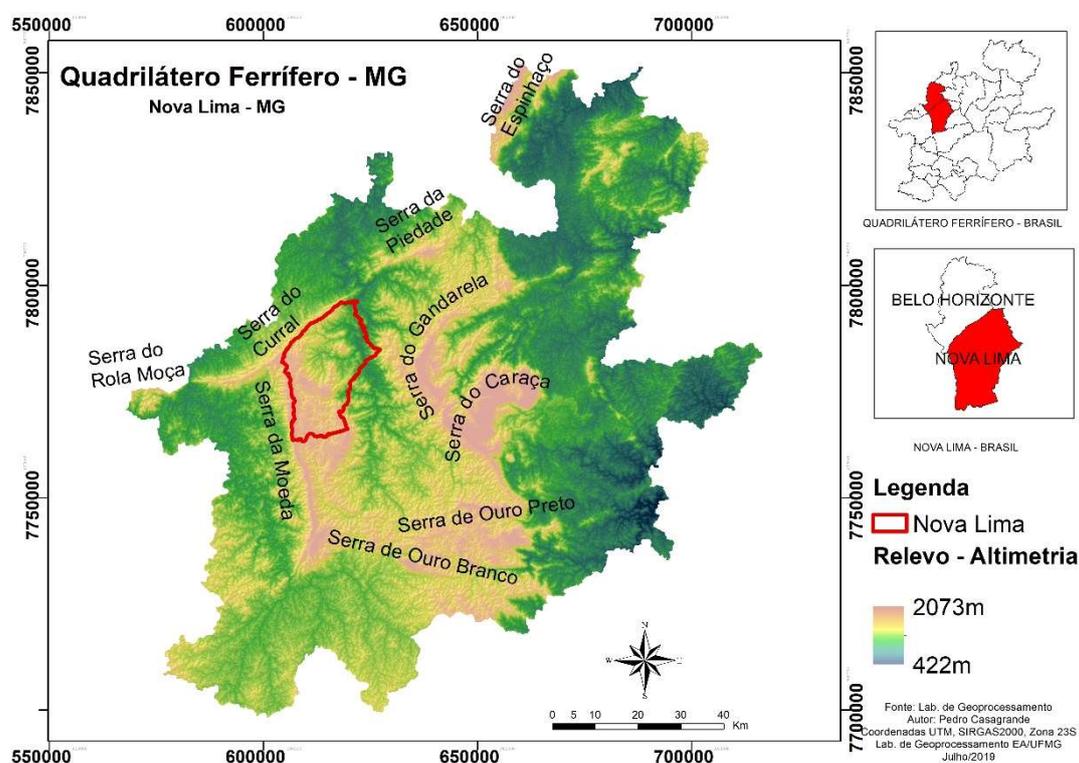


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo no Quadrilátero Ferrífero

A região, além de ser uma das duas principais províncias minerais do país, apresenta uma diversificada gama de outros fatores ambientalmente relevantes, tais como a paisagem local, fitofisionomias raras, entre as quais se destaca o campo rupestre de canga e suas espécies, como a *Ditassa monocronata* descoberta em 2001 (RAPINI *et al.*, 2002) e a *Vriesea Longistaminea* descrita

em 2004 (LEME & PAULA, 2004). Registra-se a presença de rios importantes na formação da rede hidrográfica regional e nacional, como o Rio das Velhas (SILVA, 2007).

Segundo Harder & Clamberlim (1915), o relevo do Quadrilátero Ferrífero tem sua origem de estrutura associada à erosão diferencial, na qual os quartzitos e itabiritos se localizaram em áreas de elevada altimetria. Os xistos-filitos fazem parte dos substratos rochosos do terço mediano das encostas e, no terço inferior, na base do substrato geológico, a composição é de rochas granito-gnáissivas oriundas do Complexo Belo Horizonte. Assim, em uma interpretação do espaço, as elevadas altimetrias estão relacionadas a um conjunto de cristas e locais com superfícies erosivas que possuem soerguimentos compondo em seu conjunto uma forma quadrangular, associado ao fato do Itabirito ser uma rocha ferruginosa de alto teor, por isso o nome da região de "Quadrilátero Ferrífero".

Metodologia

Diante da importância de se considerar o substrato geológico e os riscos à ocupação indiscriminada da paisagem com complexidade geomorfológica, o estudo apresenta como método o emprego do Índice de Risco Geológico (IRG) e desenvolve explicações sobre a sua construção com o suporte de aplicativos de geoprocessamento.

O IRG tem como base a combinação de variáveis por álgebra de mapas, com vistas a criar uma avaliação que resulte em um *ranking*, numérico e quantitativo, que indique, para um determinado recorte territorial, o potencial de ocupação urbana do território em ordem crescente. Em escala relativa, são identificadas as porções territoriais mais vulneráveis ao risco e menos propícias à expansão e densificação urbana, em confronto com as porções menos vulneráveis e mais adequadas ao uso urbano.

A elaboração do Índice de Risco Geológico (IRG) resulta da combinação das seguintes variáveis: Geomorfologia, Características Geológicas e Geotécnicas, Índice de Concentração da Rugosidade (ICR), Índice de Hack, Cavas de Mineração.

Para cada variável é necessário que estas estejam apresentadas segundo suas características principais, entendidas como componentes de legenda. O primeiro passo, obtidos os mapas, é classificar os componentes de legenda segundo o grau de pertinência daquela tipologia para os objetivos de análise, aplicando valores normalizados de 0 a 10. O zero é considerado a pior condição para o uso urbano e, respectivamente, o 10 é a condição ideal. Isto significa fazer a normalização das

variáveis, tendo em vista que cada uma delas apresenta uma escala de valores específicos que, para serem combinados, carecem de serem trabalhados de forma relativa e não como valores absolutos, segundo a indicação de adequabilidade à ocupação urbana (MOURA e JANKOWSKI, 2016).

O segundo passo é a definição da importância de cada variável no contexto da combinação do conjunto de variáveis. Isto significa aplicar o modelo de Análise de Multicritérios por Pesos de Evidência, hierarquizando o conjunto de fatores envolvidos, de modo que a eles sejam associados valores em percentuais de importância cuja soma seja 100% (ROCHA *et al*, 2018).

Assim, a integração das variáveis irá considerar o valor de cada componente de legenda de cada variável ou tema (passo 1, normalizados de 0 a 10 segundo a adequabilidade ao motivo de investigação - no exemplo ocupação urbana) multiplicado pelo peso de cada variável ou tema no conjunto de variáveis (passo 2, definição dos pesos relativos que devem somar 100%). O processo, assim, é uma Álgebra de Mapas com o emprego da média ponderada das variáveis ou temas de investigação (MALCZEWSKI, 2000; MALCZEWSKI, 2006).

A Análise Multicritérios é um método baseado na Álgebra de Mapas, termo proposto por Tomlin (1990), no qual se realiza a associação de valores numéricos (quantitativos) à informações espaciais, proporcionando a realização de operações matemáticas. A aplicação deste método tem como objetivo a identificação do potencial da paisagem através de seus usos e valores a partir dos mapas temáticos ligados ao meio físico, sendo todo o procedimento realizado por técnicas de geoprocessamento (MOURA, 2005; MAGALHÃES, 2013; ROCHA *et al*, 2018).

A síntese por multicritérios é caracterizada pela composição de um índice resultante da soma ponderada de componentes principais que respondem por um motivo de investigação. O grau de importância de cada variável, entendido como o "peso", deve ser decidido por critério defensável, seja segundo referencial bibliográfico, seja por consulta a um conjunto de especialistas, ou mesmo por medições de tendências reconhecidas no território. Os processos de obtenção de pesos são classificados por Bonham-Carter (1994) em dois grupos: *knowledge-driven evaluation* (quando se consultam especialistas que dão suas opiniões) ou *data-driven evaluation* (quando se trabalham com dados resultantes de mensuração de tendências observadas).

No presente estudo optou-se por definir os pesos das variáveis por *knowledge-driven evaluation*, através do emprego de um método de escuta e construção de consenso: o método Delphi. O método Delphi, segundo Moura (2007), consiste na decisão compartilhada entre especialista a respeito da importância de cada componente, por maximização de consenso de opiniões. Segundo Xavier-da-Silva e Souza (1988) estas estimativas de valores, quando realizadas por discussões

organizadas entre os *experts*, tornam-se criteriosas e são aceitas como apoio a tomada de decisão. Este método foi usado pela primeira vez por Dalkey e Helmer (1963) no Rand Corporation, ainda nos anos 50.

Nas consultas Delphi foi pedido a 23 especialistas que hierarquizassem as variáveis segundo a ordem de importância para o fenômeno estudado, a partir da menos adequada para a mais adequada para a ocupação. Uma vez recebidas todas as opiniões foi realizado o cálculo da média das respostas, que foi apresentada aos participantes que tiveram o direito de rever suas opiniões em um segunda rodada, quando finalmente foi gerada a média final contendo os valores utilizados.

Uma vez compostos todos os mapas parciais, tendo suas unidades classificadas segundo o grau de pertinência ao uso urbano, e decididas as importâncias relativas de cada variável, foi promovido o processo de composição final, o qual pode ser resumido segundo as seguintes etapas de trabalho (Figura 2):

Posto isto, o fluxograma metodológico seguiu a tabela geral de valores empregados (Tabela 1) para a síntese do procedimento.

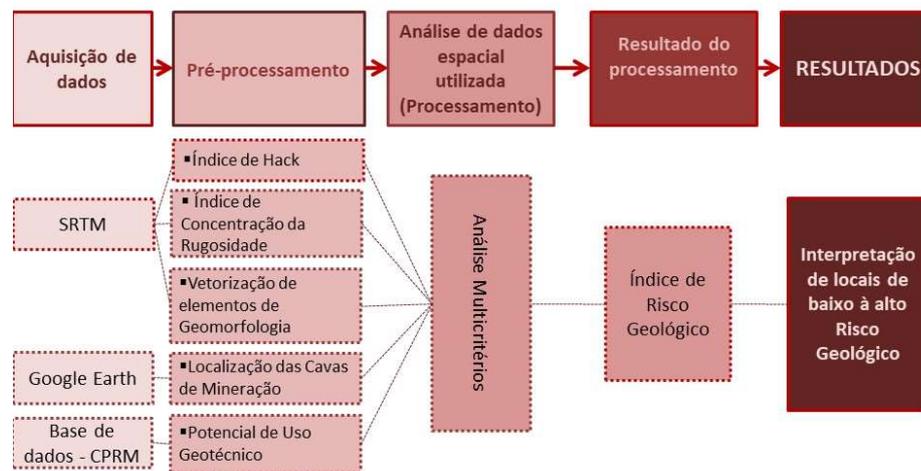


Figura 2: Fluxograma Metodológico

ÍNDICE RISCO GEOLOGICO	
Variáveis	Pesos
Características Geológicas e Geotécnicas	25%
Geomorfologia	35%

Índice de Hack	10%
Índice de Concentração da Rugosidade	20%
Área Mineraria	10%

Tabela 1. Pesos das variáveis que compõe o índice de risco geológico

Elaboração de cada variável

As variáveis contempladas na elaboração do índice foram geomorfologia, potencial de uso geotécnico, índice de Hack, índice de concentração da rugosidade e áreas de mineração. A hierarquia deste conjunto de variáveis foi guiada pelas opiniões dos especialistas consultados, indicadas como as principais variáveis que se correlacionam com a situação do meio físico local.

Os primeiros mapas elaborados foram os de hipsometria e de declividade, pois eles seriam utilizados na composição de outras variáveis. Eles foram trabalhados a partir de imagens que apresentam dados de relevo resultantes de captura por interferometria, no caso as imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, disponibilizadas gratuitamente pelo serviço geológico americano - USGS) que apresentam resolução em grid de 90 metros contendo cotas altimétricas. Tendo esses mapas de relevo e utilizando imagens de satélite para visualização e conferência de informações, a geomorfologia foi elaborada em escala 1:25.000, a partir da interpretação de elementos físicos do território. Com estes dados, foi possível observar as grandes unidades estruturais (ROBERTSON, 2013).

Na composição dos pesos para análise de multicritérios, esta variável recebeu peso de 35% do resultado final, sendo a de maior peso. As unidades identificadas no mapa foram (Figura 3):

- a) Superfícies Residuais Elevadas - unidade representada na altimetria elevada, com presença de quartzitos e itabiritos dobrados e sinclinais remanescentes de estruturas geológicas antigas invertidas devido a processos tectônicos (BARBOSA, 1980). O Sinclinal Moeda é seu exemplo.
- b) Nível Intermediário de Topo Achatado - localizado no terço médio do relevo, onde predominam os xistos e filitos, modelado pela incisão da drenagem nas encostas.

- c) Nível Residual Dissecado – relevo residual localizado no terço médio do relevo porém com alta densidade de drenagem que disseca (BARBOSA, 1980) o relevo, gerando elevado índice de erosão.
- d) Superfície Dissecada Rebaixada – localizada no terço inferior e com presença de vales encaixados e já bastante intemperizada.
- e) Vale Fluvial Preenchido – localizada nos arredores das principais drenagens da área, com grande quantidade de sedimentos, proveniente das litologias do terço inferior (ALKMIM e MARSHAK, 1998).

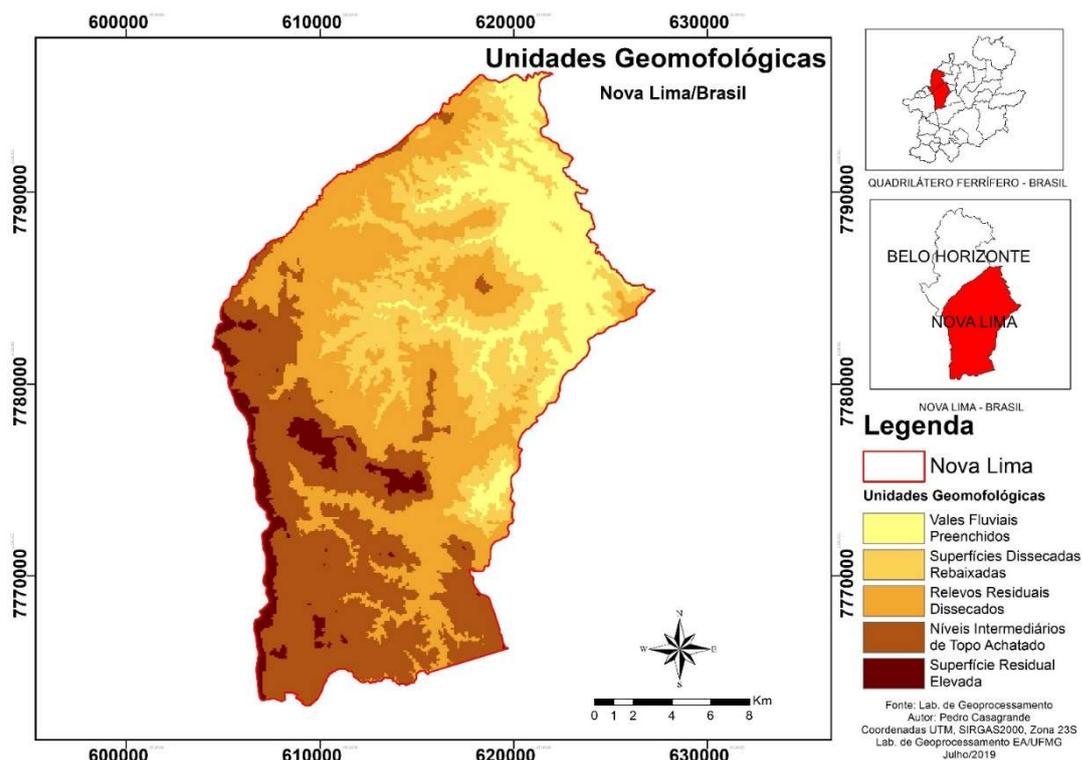


Figura 3: Mapa das unidades geomorfológicas do Município de Nova Lima

As unidades geomorfológicas foram então classificadas em notas de 0 a 10 segundo a lógica de que quanto maior a nota maior o potencial de uso antrópico, sobretudo urbano. A Tabela 2 apresenta as notas referentes aos componentes de legenda do mapa geomorfológico:

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	
Componentes de Legenda	Notas
Superfície Residual Elevada	1
Nível Intermediário de Topo Achatado	4
Relevo Residual Dissecado	7
Superfície Dissecada Rebaixada	8

Tabela 2. Notas referentes às unidades geomorfológicas.

Na sequência, para a classificação das características geológicas e geotécnicas foi escolhido como material de trabalho o Mapa de Potencial de Uso Geotécnico, desenvolvido por Parizzi *et al.* (2010) para o PDDI - Plano Diretor Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. No caso de emprego da metodologia proposta no presente artigo para outras áreas de estudo, será necessário realizar processo semelhante feito pela autora, que avalia o conjunto de litotipos de acordo com seu comportamento geotécnico e, conseqüentemente, segundo o grau de pertinência ao uso urbano. Dessa forma o propositor poderá se basear na classificação já existente caso em sua área existam litotipos semelhantes, acrescentando novos julgamentos.

A atribuição de notas de 0 a 10 aos componentes geológicos seguiram as indicações da legenda do Mapa de Unidades Geotécnicas, de Parizzi *et al.* (2010), ressaltando que na área não há um litotipo perfeito e sem riscos, o que resultaria em nota 10, ou um tão problemático ao ponto de se obter nota 0, uma vez que são elementos naturais passíveis de alteração pelo intemperismo (Tabela 3). Sendo assim, pela classificação de Parizzi *et al.* (2010), o Grupo 1, com nota 8, é composto por rochas de origem ígneas ácidas a intermediárias e suas correspondentes metamórficas. As rochas mais representativas deste grupo são os granitos e os gnaisses. O Grupo 2 é composto, por sua vez, com rochas de origem sedimentares folheadas e de granulometria fina, com sua nota final 5,5. Há ocorrência do Grupo 4, representados por rochas metamórficas foliadas como filitos com presença de lentes de dolomitos, que apresentam baixa resistência da parte foliada, estimulando o escorregamento e queda de blocos, e para este grupo foi atribuído nota 5.

O Grupo 5 tem sua composição exclusivamente pelo dolomito, que possuem, em certos locais possuem processos de carstificação, com nota atribuída de 4. Por sua vez, o Grupo 7 é composto por rochas fraturadas e com alta propensão ao intemperismo. As rochas que compõe este grupo são, majoritariamente, xistos e tiveram a nota 7 atribuída. O Grupo 8 é formado por depósitos geológicos muito conhecidos, devido a sua forma de ocorrência, geralmente como depósitos lateríticos, e teve sua nota atribuída de 2. Por último, o Grupo 9, que são rochas com com baixo nível de metamorfismo e que podem estar ligados a processos de erosão devido ao estado de alteração elevado, sendo a nota 6 atribuída para este grupo.

UNIDADES LITOLÓGICAS	
Componentes de legenda	Notas
Lateritas	2
Dolomito	4
Filito, dolomito	5
Filito	5,5
Metarenito	6
Xisto	7
Granito	8

Tabela 3. Notas referentes às unidades litológicas.

Em geral, o itabirito ocupa o topo das serras da região, devido à sua resistência à erosão, o que a coloca como de altíssima relevância na composição da paisagem local. Esta rocha pode ser maciça ou pulverulenta (friável), e quando são maciças apresentam elevada resistência mecânica. Por estarem em áreas de topografia elevada e alta declividade, as áreas deste litotipo, usualmente, são menos densamente ocupadas (PARIZZI *et al*, 2010).

Ainda de acordo com Parizzi *et al* (2010), os topos de serras da área de estudo contém litotipos de quartzitos e metaconglomerados. Estes litotipos são considerados bons aquíferos e requerem a recomendação de preservação destas áreas e o impedimento de sua impermeabilização (SILVA, 2008). Nesses ambientes, deve-se ter cautela ao executar cortes, terraplanagens e desmatamentos, cujas consequências são a exposição à ação das águas pluviais, sobretudo em regiões de relevo colinoso com superfícies côncavas e bem drenadas, uma vez que estas rochas são susceptíveis à erosão. Neste sentido, estes aspectos foram expressos conforme exposto na Figura 4. Está variável recebeu peso de 20% para a análise.

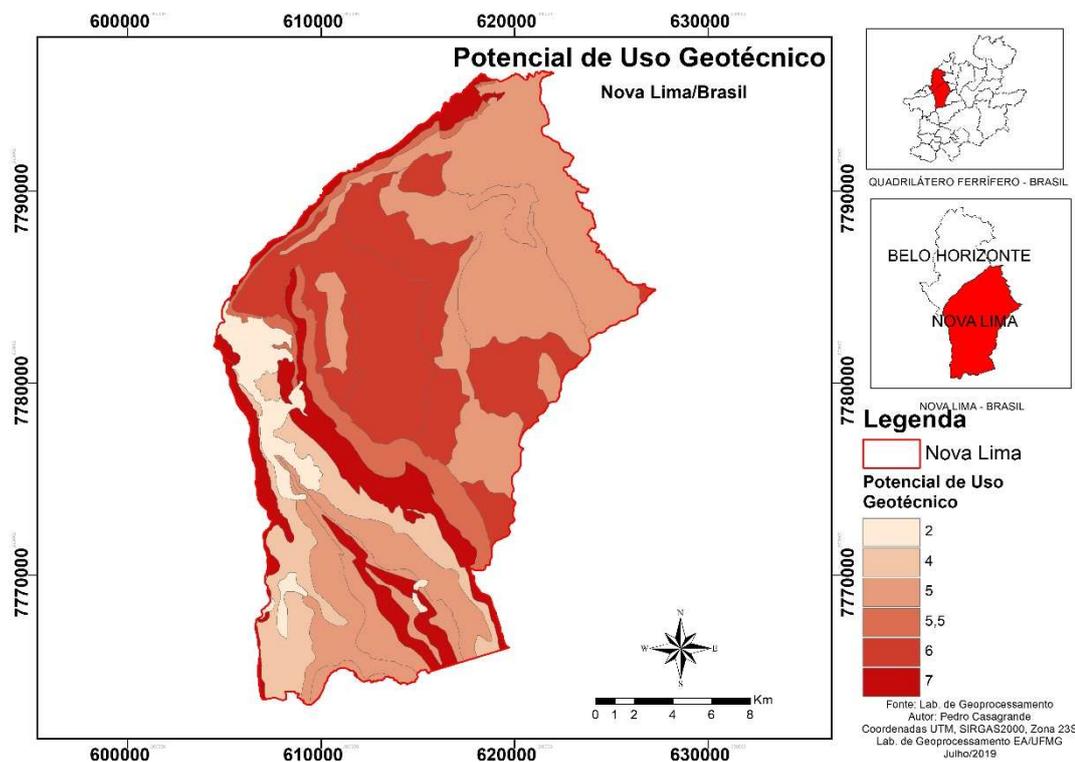


Figura 4: Mapa de Unidades Geotécnicas (Parizzi, *et al* 2010).

Outro mapa elaborado como variável de investigação foi o Índice de Concentração da Rugosidade - ICR (Figura 5). O ICR consiste em uma análise a partir de um modelo de geoprocessamento que identifica características específicas da morfologia do território facilitando a compreensão da distribuição da declividade do relevo e sua interpretação segundo padrões de rugosidade (SAMPAIO, 2008; SAMPAIO e AUGUSTIN, 2014). Como resultado, são identificados os locais mais planos e os locais de maior diversidade de altos ângulos de inclinação. Assim, esta variável recebeu o peso 20%, pois locais onde a declividade é muito acentuada podem se transformar em áreas de risco uma vez ocupados.

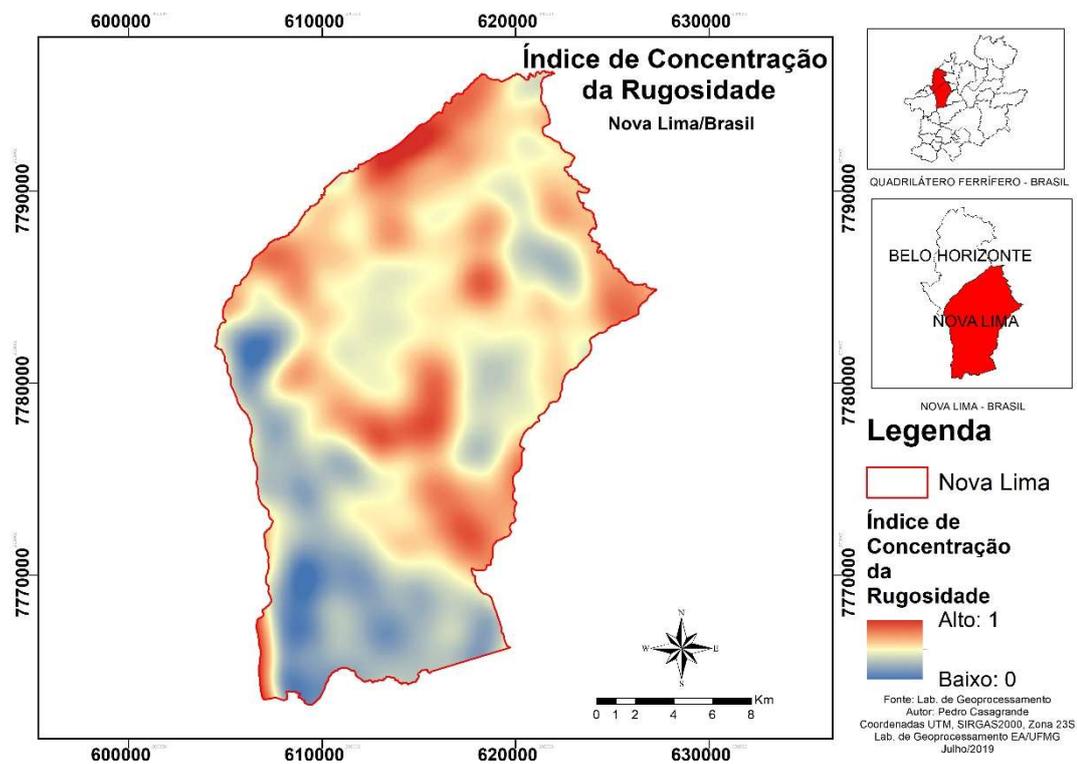


Figura 5: Mapa do Índice de Concentração da Rugosidade.

Foi também composto o mapa de Índice de Hack (Figura 6), que é a análise do gradiente de energia das feições de drenagem presentes no território segundo análise proposta por Hack (1973) como um componente morfométrico. O peso atribuído foi de 15% na Análise de Multicritérios.

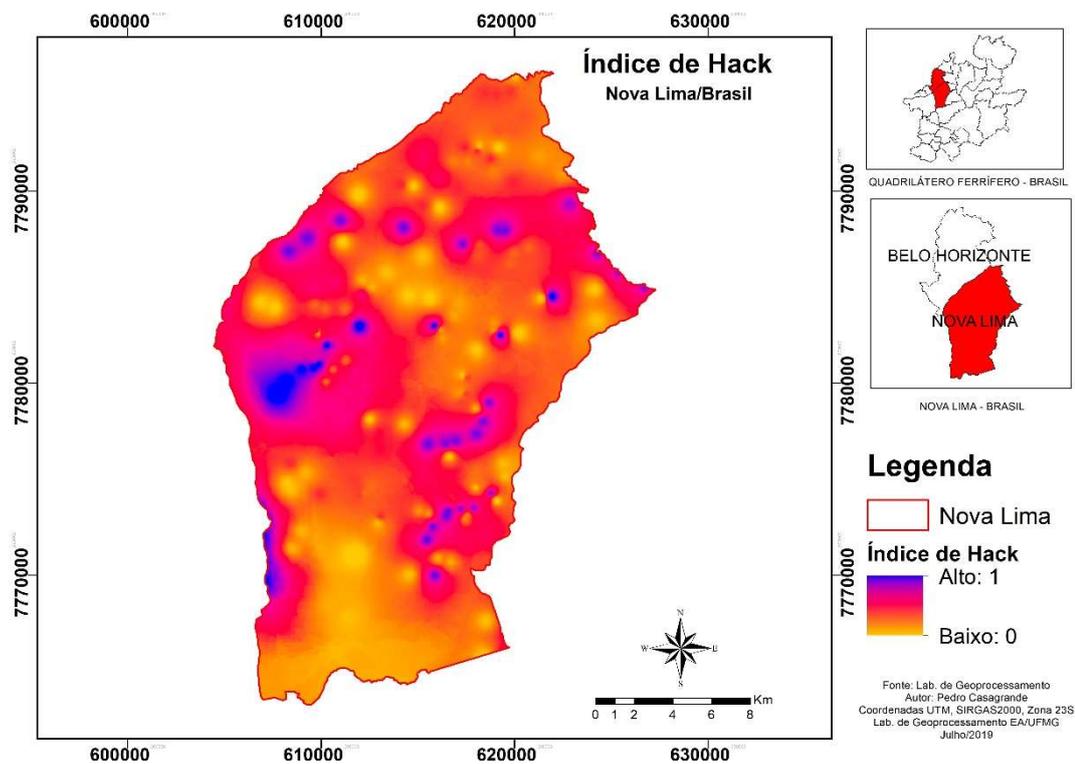


Figura 6: Mapa do índice de Hack

O mapa de Cavas de Mineração foi elaborado considerando a alta concentração da atividade mineral em alguns setores do município (Figura 7), sobretudo em sua porção leste, nos flancos da Serra da Moeda, onde estão as minas de maior extensão, nas superfícies dominadas pelas colinas cujas altitudes são de aproximadamente 1000 metros. Sua identificação ocorreu por classificação supervisionada de imagem de satélite, seguida de correções por vetorização com o uso de softwares de geoprocessamento. As cavas em estudo estão ativas atualmente e esta variável recebeu peso de 10%. Uma vez mapeadas as cavas, foram aplicadas notas referentes aos componentes de legenda da variável, segundo a Tabela 4.

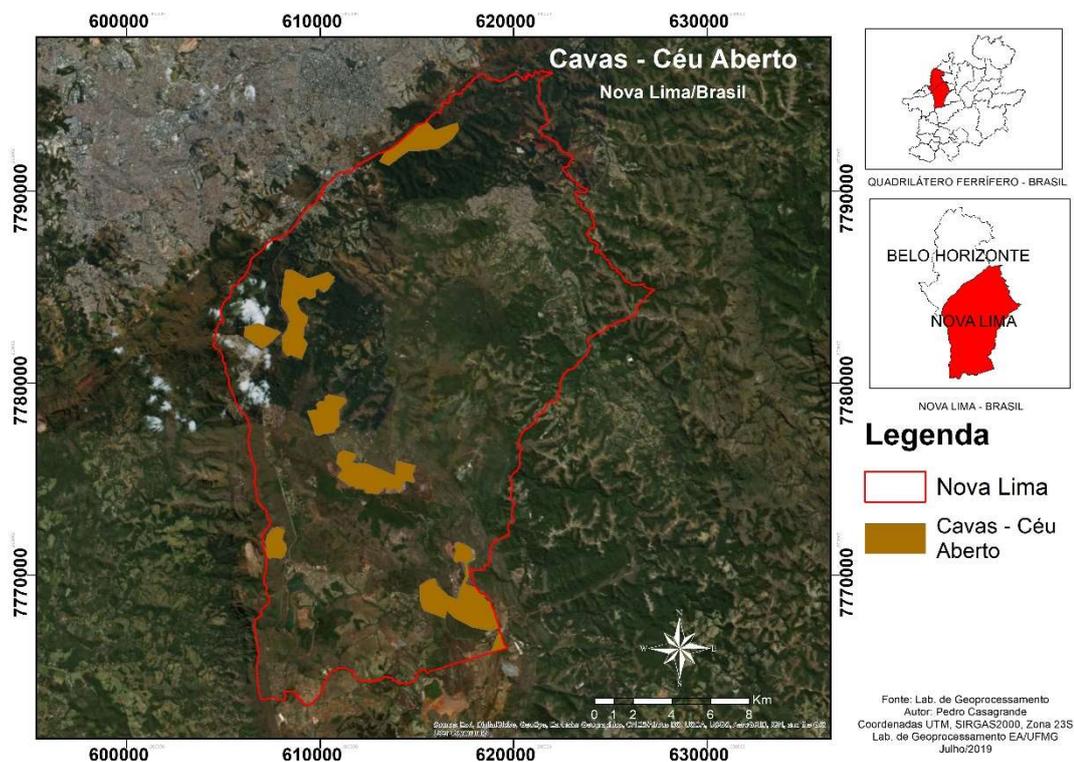


Figura 7: Localização das áreas com atividade de exploração mineral.

CAVAS	
Componentes de Legenda	Notas
Presença de Cava	0
Ausência de Cava	10

Tabela 4. Notas referentes às cavas.

Resultados e Discussões

As cinco variáveis elaboradas, uma vez normalizadas, dão suporte para a elaboração do Índice de Risco Geológico, representado territorialmente na Figura 8. Assim, o local com maior potencial de risco encontra-se na Serra do Curral, fronteira com o município de Belo Horizonte, onde a expansão urbana verticalizada avança de forma acelerada. Nesta porção também é possível verificar o índice de risco geológico (IRG), assim como o elevado risco no eixo da Serra da Moeda, no limite oeste do município, devido, principalmente, ao contexto topográfico da área, apresentando declividades acentuadas. Destaca-se a faixa leste-oeste, na porção norte da área do Distrito sede e de Honório Bicalho e na porção centro-leste, onde se concentram as minerações no município.

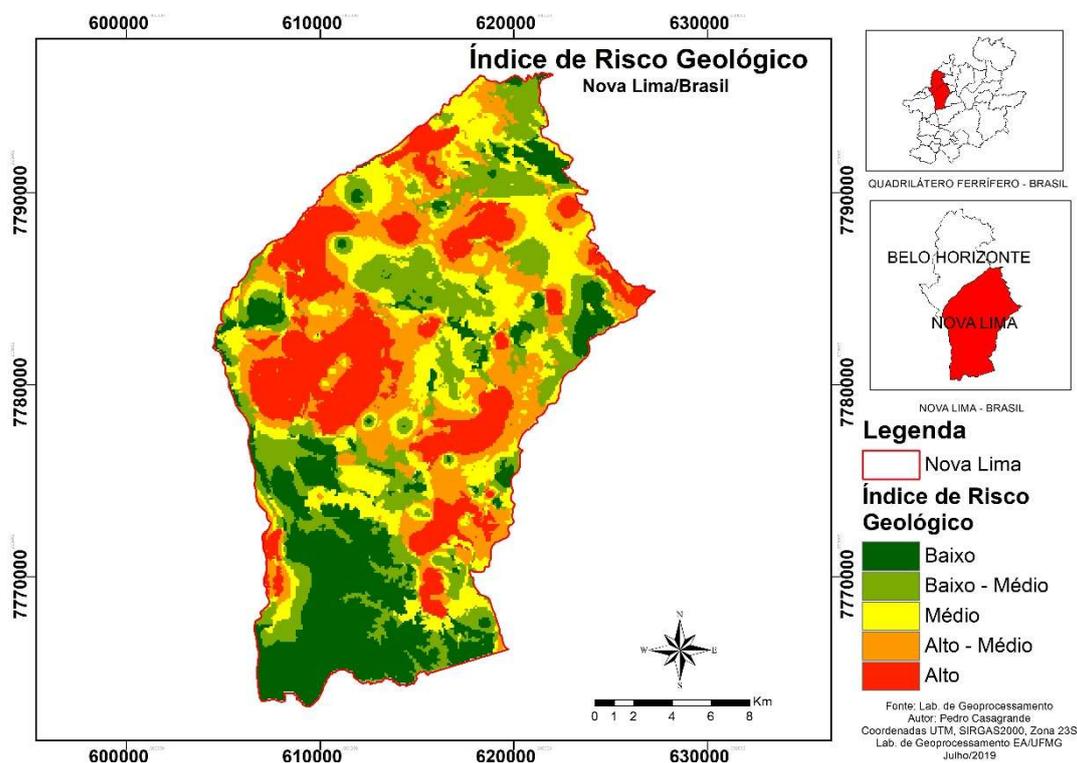


Figura 8: Mapa Índice de Risco Geológico.

Os locais com baixo risco, localizadas na porção norte, sudoeste e em uma faixa centro-oeste, embora apresentem rochas com potencial geotécnico médio, são áreas nas quais não há ainda elementos de ocupação urbana ou mineração. Colocado o Índice de Risco Geológico em prática, será possível condicionar os eixos de crescimento urbano para as direções onde há menor risco, de modo a garantir que o crescimento urbano tenha uma evolução sustentável e de menor impacto ao meio físico.

Conclusão

O Poder Público tem como instrumento para a gestão de seu território os Planos Diretores, mas que em muitos casos não contemplam devidamente as variáveis ambientais, salvo no que diz respeito às APPs (áreas de proteção permanente) sobre os recursos de cobertura vegetal e recursos hídricos. Contudo, aspectos específicos relacionados à base da ocupação, como a geologia, são ainda muito negligenciados. Ter conhecimento sobre esta variável do meio físico auxilia, com elevado nível

de assertividade, a previsão e prevenção de problemas relacionados ao risco, uma vez que a ocupação urbana em locais inadequados repercute, na maioria das vezes, em sérios problemas para os agentes públicos.

No estudo de caso em específico, observa-se uma "terceira onda" de transformações no território de Nova Lima, que acontece sobretudo na borda com a capital Belo Horizonte, mas se espalha em várias porções do município em virtude de sua posição estratégica no Quadrilátero Ferrífero: a onda econômica da urbanização. A primeira onda no território foi da exploração do ouro no século XVIII, que colocou a que era chamada de "Campos de Congonhas" no centro da rede urbana brasileira, caminho da Estrada Real e de expressiva produção aurífera. A segunda onda é do século XX, iniciada nos anos de 1960 e teve como foco a produção do minério de ferro, que ainda é a principal base econômica de Nova Lima, do Quadrilátero Ferrífero e de Minas Gerais. Contudo, observa-se a terceira onda no município, que é motivada pelo crescimento urbano em função da posição estratégica do município e da beleza natural de suas paisagens. Nesse sentido, estudos relativos à adequabilidade para a escolha das posições de ocupação, assim como os estudos preditivos de identificação de riscos serão fundamentais, caso contrário os problemas afetarão não só a vida humana, como também a paisagem cultural e os valores ambientais.

Cabe dizer que será necessário observar não só as áreas de urbanização legalizadas, autorizadas pelos Planos Diretores, como também o risco de ocupações ilegais que vão atrás de áreas já urbanizadas e com infraestrutura, e se instalam justamente em áreas consideradas não edificáveis. Destaca-se, ainda, que Nova Lima é um exemplo que se repete na realidade brasileira, de modo que o presente estudo contribui para reflexões desta natureza que possam acontecer em outras porções do território.

Com acesso a dados públicos, gratuitos e disponibilizados por órgãos públicos, é possível para a gestão municipal conhecer seu território e produzir as citadas variáveis para a elaboração do Índice de Risco Geológico. O presente estudo demonstra que é totalmente possível para a administração municipal conhecer as características de seu território do ponto de vista do substrato geológico, identificando potencialidades e fragilidades. Este conhecimento seria uma base mínima para se gerenciar o uso e ocupação do solo, indicando níveis de possibilidades de expansão e adensamento urbano.

Reconhecida a pressão por áreas de ocupação urbana e o caráter irremediavelmente urbano do país, cabe pré-definir áreas de expansão urbana (sobretudo para as habitações de interesse social) antes que a ocupação aconteça em áreas inadequadas. Este tipo de informação precisa ser compartilhado, para que técnicos e população tomem decisões acertadas sobre um Plano Diretor

capaz de prever os cenários que causam problemas que hoje geram grandes riscos à vida humana, aos valores ambientais e aos interesses de paisagem cultural.

Agradecimentos:

Contribuição ao projeto CNPq: "Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: Geoprocessamento para a proposição de um Plano Diretor da Paisagem para a região do Quadrilátero Ferrífero-MG", Processo 401066/2016-9, Chamada Universal 1/2016.

Referências:

- ALKMIM F.F., Marshak S., The Transamazonian orogeny in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil: Paleoproterozoic collision and collapse in the Southern São Francisco Craton region. *Precambrian Res.*, 90: 29-58. 1998.
- ALMEIDA, Danilo de Carvalho Botelho - Belo Horizonte underground: os sistemas de saneamento e as canalizações dos cursos d'água da Nova Capital de Minas Gerais, Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 259p. 2018.
- BARBOSA, G.V. Superfícies de erosão no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 10:89-101, 1980.
- BONHAM-CARTER, G.F. *Geographic Information Systems for Geo-scientists: Modelling with GIS*. New York, Pergamon/Elsevier, 398 p. 1994.
- CARRAZZONI, M. E.; SOUZA, W. A. *Guia dos Bens Tombados*. Minas Gerais. IPHAN. 1984.
- CASAGRANDE, Pedro Benedito; FONZINO, Francesco; LANFRANCHI, Emil; FONSECA, Bráulio Magalhães; DE SENA, Ítalo Sousa. PROPOSTA DE ÍNDICE DE RISCO GEOLÓGICO: ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE NORCIA, ITÁLIA. XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia, -Rio de Janeiro, Brasil. 2017.
- COSTA, G. M.; ARAÚJO, C. E. A expressão sócio-econômica e espacial da dinâmica ocupacional na Região Metropolitana de Belo Horizonte. In: COSTA, H. S. M. et al. (Org.). *Novas periferias metropolitanas. A expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no Eixo Sul*. Belo Horizonte: Editora C/Arte, p. 35–46, 2006.
- DALKEY, N. C., & HELMER, O. 1963. An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science*, 9(3):458-467.

- DORR, John Van N. Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Geological Survey Professional Paper 641-A, 2. ed., USGS/DNPM, 1969.
- FERREIRA, P. A. A Evolução do Valor Econômico Gerado e Distribuído pela Empresa Vale S/A: Análise comparativa do Relatório Anual de Sustentabilidade no período de 2007 a 2011. Dissertação de mestrado. Fundação Pedro Leopoldo. 2013.
- FUJIMOTO, N.S.V.M. Análise Ambiental Urbana na Área Metropolitana de Porto Alegre-RS: Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2001. 236p.
- GUERRA, Antonio José Teixeira; MARÇAL, Mônica dos Santos. (ORG.). Geomorfologia ambiental. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 189 p.
- HACK, John T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. Journal of Research of the United States Geological Survey, 1(4):421-429, 1973.
- HARDER, E.C. & CHAMBERLIN, R.T. The geology of Central Minas Gerais. J. Geol., 23:341-424, 1915.
- LEME, E.M.C. & PAULA, C.C. 2004. Two new species of Brazilian Bromeliaceae. Vidalia 2: 21-29
- MACHADO, Maria Marcia Magela. Construindo a Imagem Geológica do Quadrilátero Ferrífero: conceitos e Representações. Tese (Doutorado em Geologia). Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 256p. 2009.
- MAGALHÃES, Beatriz de Almeida; ANDRADE, Rodrigo Ferreira. Belo Horizonte, um espaço para a República. Editora da UFMG, 1989.
- MAGALHÃES, Danilo Marques. Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte - MG apoiada por métricas de paisagem. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFMG. 2013.
- MALCZEWSKI, Jacek. Review Article On the Use of Weighted Linear Combination Method in GIS : Common and Best Practice Approaches. Transactions in GIS 4(1), 2000.
- MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science 20(7) :703–726, 2006.
- MOURA, Ana Clara Mourão. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 21-26 abr. 2007, Florianópolis. Anais, Florianópolis: INPE, p. 2899-2906. 2007.

- MOURA, Ana Clara Mourão. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte: ACMM, 294 p. 2005.
- MOURA, Ana Clara M., JANKOWSKI, Piotr. 2016. Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios - “Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation”. *Revista Brasileira de Cartografia* (2016), 68(4):665-684.
- PARIZZI, M.G, MOURA, A. C. M, MEMÓRIA, E. M, MAGALHÃES, D. M., Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Regulação Metropolitana de Belo Horizonte, Belo Horizonte. 2010.
- RAPINI, A., R. Mello-Silva & M.L. Kawasaki. 2002. Richness and endemism in Asclepiadoideae (Apocynaceae) from the Espinhaço Range of Minas Gerais, Brazil – a conservationist view. *Biodiversity and Conservation* 11: 1733-1746
- ROBERTSON, KIM; JARAMILLO, OMAR; CASTIBLANCO, MIGUEL; Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales – Ideam Subdirección De Ecosistemas E Información Ambiental Guía Metodológica Para La Elaboración De Mapas Geomorfológicos A Escala 1:100.000. BOGOTÁ D.C., 2013
- ROCHA, A. R., CASAGRANDE, B. P., MOURA, A. C. M. Análise Combinatória e Pesos de Evidência na Produção de Análise de Multicritérios em Modelos de Avaliação. *Revista Geografía y Sistemas de Información Geográfica*. Argentina, Volume Especial, 10:37-61, 2018.
- RUCHKYS, Úrsula de Azevedo. A. Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para a Criação de um Geoparque da UNESCO. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 233 f. 2007.
- SAMPAIO, T.V.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 15(1):1–14 , 2014.
- SAMPAIO, T.V.M. Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – ES . 2008. Tese (Doutorado em Geografia). IGCUFMG. Belo Horizonte, 147 p. 2008.
- SCLIAR, C. Geologia da Serra da Piedade. In: Horta, R. D. (Org.). Serra da Piedade. Belo Horizonte: CEMIG, 1992.
- SILVA, Cassio Roberto da (Ed.). Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

- SILVA, Fabiano Reis. A Paisagem do Quadrilátero Ferrífero, MG: Potencial Para o Uso Turístico da sua Geologia e Geomorfologia. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 144p. 2007.
- TAUNAY, Afonso d'Escrangnolle. Relatos Sertanista. Belo Horizonte-São Paulo: Itatiaia-Edusp, 1981.
- TONUCCI FILHO, João Bosco Moura. Dois momentos do planejamento metropolitano em Belo Horizonte: um estudo das experiências do PAMBEL e do PDDI-RMBH. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 236p. 2012.
- VICHAS, Robert P. Complete Handbook of Profitable Marketing Research Techniques. New Jersey: Englewood Cliffs and Prentice-Hall, 1982.
- VILLELA, Bráulio Carsalade. Nova Lima – Formação Histórica. Ed. Cultura, Belo Horizonte 1998.
- XAVIER-DA-SILVA, J.; SOUZA, M. J. L. Análise Ambiental. Rio de Janeiro: ed. UFRJ, 196p. 1988.



Potencial de Ocupação Urbana a partir de dados de VANT: Vale do Sereno – Nova Lima/MG

Urban Occupation Potencial by UAV data: Vale do Sereno – Nova Lima/MG

*Deixar sem identificação*¹

*Deixar sem identificação*²

O cadastro correto dos autores deverá ser feito nos metadados do artigo (site)

Recebido em **Não preencher** de **Não preencher**.
Aprovado em **Não preencher** de **Não preencher**.

RESUMO

Cada vez mais novas tecnologias e ferramentas vem sendo usadas para melhorar o ordenamento e o conhecimento do território. Desta maneira, a partir de dados provenientes de VANT é possível realizar a análise espacial da área de estudo e conhecer/compreender o seu potencial de uso para ocupação urbana. O sobrevoo de drone permite gerar um mosaico de ortofoto a qual é o dado base para gerar as análises ligadas ao meio físico, e com o uso de outras geotecnologias é possível elaborar índices para a ocupação urbana no local de estudo. Neste estudo de caso a área escolhida foi a região do Vale do Sereno, parte do município de Nova Lima/MG, a qual há expansão urbana em áreas com características de meio físico, de maneira geral, não apropriadas para ocupação. Assim, a utilização de geotecnologias como subsídio ao planejamento e ordenamento territorial estão cada vez mais acessíveis e indispensáveis para a gestão pública.

PALAVRAS-CHAVE: Ordenamento Territorial. Geotecnologias. Gestão Territorial.

ABSTRACT

Currently new technologies and tools have been used to improve the spatial planning and knowledge of the territory. Thus, from UAV data it is possible to perform the spatial analysis of the study area and to know / understand the potential use for urban occupation. The UAV flyover allows to generate a mosaic of orthophoto which is the basis for generating the analyzes related to the physical environment, and with the use of other geotechnologies it is possible to elaborate indices for urban occupation in the study site. In this case study the chosen area was the Vale do Sereno region, part of the municipality of Nova Lima / MG, which has urban expansion in areas with physical

¹Dados dos autores em Schoolbook 9, nota de rodapé. Programa de Pós-graduação em XXXXXXX, Brasil. E-mail: xxxxxxxx@universidade.br

²Dados dos autores em Schoolbook 9, nota de rodapé. Programa de Pós-graduação em XXXXXXX, Brasil. E-mail: xxxxxxxx@universidade.br

characteristics not suitable for occupation, in general. Thus, the use of geotechnologies as a subsidy for territorial planning and planning is increasingly accessible and ~~detailed~~ indispensable for public management.

KEYWORDS: Territorial Planning. Geotechnologies; Territorial Management.

* * *

Introdução

O processo de crescimento acelerado das cidades, aliado à ausência de infraestrutura básica, acarretam o mau uso do meio físico, cujos reflexos são os impactos sobre a qualidade e segurança da população e dos equipamentos urbanos. De acordo com Bathrellos (2007) mais de 70% da população mundial vive em áreas urbanas, e pode-se constatar mais de vinte grandes cidades, que contêm mais de 10% da população do país habitando nelas. Como exemplo, Cidade do México (31% da população do país), Buenos Aires (42%), Cairo (36%), dentre outras.

Os assentamentos urbanos e a base na qual eles se instalam, ou seja, seu suporte físico possuem uma estreita relação devido aos impactos gerados tanto positivos quanto negativos. As mudanças nos padrões produtivos e nas dinâmicas populacionais alteram a natureza desses impactos e, por consequência, as condições socioambientais dos aglomerados urbanos (Silva & Travassos, 2008). A ocupação da terra em áreas potencialmente de risco a movimentos de massa e a erosão acelerada presentes em porções consideráveis de áreas urbanas do mundo subdesenvolvido e em desenvolvimento, é indício de que a questão ambiental não recebe a devida atenção nos vários tipos de planejamentos territoriais (Alexander, 1991). Neste sentido, conforme afirma Gabet (2007) são frequentes deslizamentos registrados em zonas urbanas, mesmo em áreas consideradas estáveis do ponto de vista tectônico, agravados em função da urbanização intensa e da construção de habitações em encostas acentuadas, provocando consequências graves. Como exemplos, pode-se citar os casos das catástrofes humanas decorrentes dos deslizamentos na Serra do Mar, em Caraguatatuba e na Serra das Araras, no Rio de Janeiro em 1967 e 1969, devido ao desmatamento intensivo e construções de estradas; o escorregamento em Vila Albertina, Campos do Jordão em 1972, e os deslizamentos frequentes nos morros do Rio de Janeiro.

A mitigação destes impactos é fundamental para a eficiência da utilização do espaço e da terra, bem como para o desenvolvimento econômico (Bathrellos, 2007). Nesse sentido, há várias formas de medir e melhorar a capacidade de se compreender o território pelo poder público municipal, dentre elas, já foi provado que com o auxílio de mapas temáticos é possível direcionar o planejamento local para que não haja ocupação nestes locais (Casagrande et al, 2017). Entretanto, a pressão exercida pela especulação imobiliária, induz a ocupação em áreas inadequadas do ponto de vista ambiental, acarretando na formação de áreas de risco.

De acordo com o Ministério das Cidades risco é a 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. Nesse sentido, o gerenciamento do risco é a chave para tratar o problema oriundo do adensamento urbano, cujo tema já é tratado, sistematicamente, como alta prioridade pelo Estatuto da Cidade (Brasil, 2001).

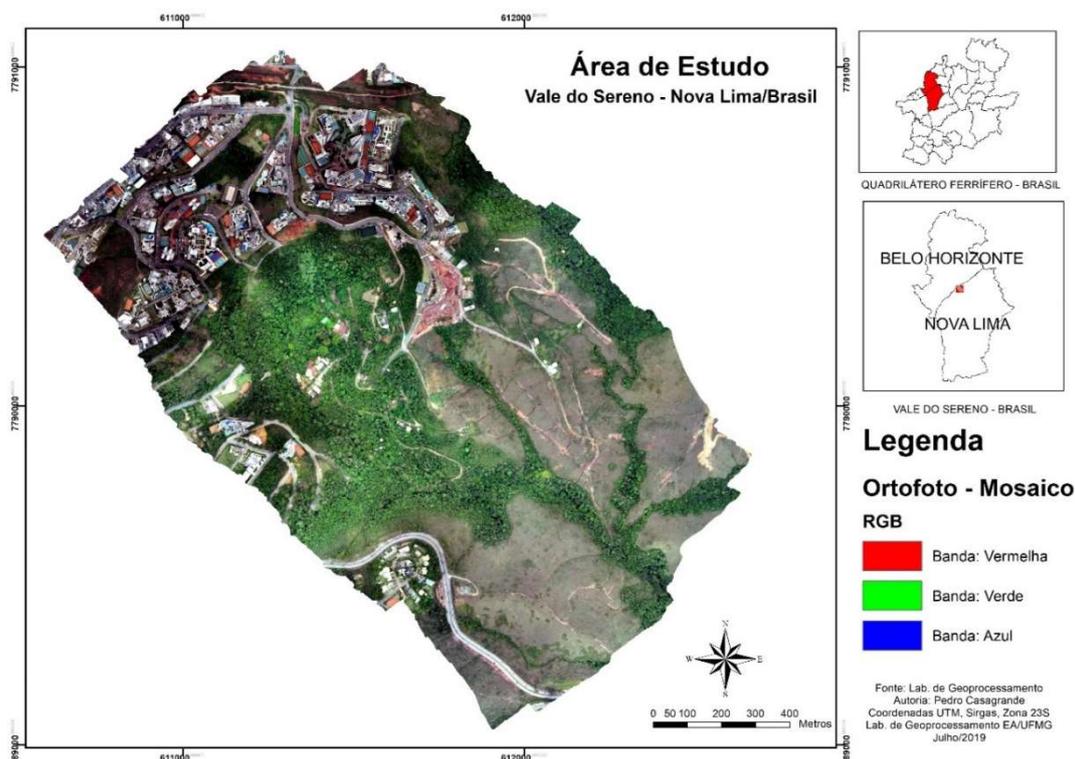
O município de Nova Lima, localizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, possui sua história diretamente relacionada ao desenvolvimento da atividade minerária no estado de Minas Gerais. Situado em um dos principais eixos de expansão metropolitana – o eixo sul, o processo de expansão urbana no município é marcado por uma estrutura fundiária concentrada, onde porção significativa de terras disponíveis é de propriedade de empresas mineradoras. No entanto, a ocupação urbana ocorreu junto às limitações do meio físico, processo esse que foi agravado pela especulação imobiliária em áreas que apresentam altas declividades, riscos geomorfológicos e geológicos, além da presença de uma importante área de cobertura vegetal. Estes eventos posteriores ao período inicial da mineração no município, levou a urbanização caracterizada por um crescimento diferenciado (Tonucci Filho, 2012), com grande maioria dos novos projetos pertencentes ao mercado imobiliário de alto luxo e localizados em áreas de elevada declividade ou no fundo do vale de sub-bacias.

Este trabalho tem por objetivo analisar o processo de urbanização que ocorre nas áreas de elevada declividade no município de Nova Lima (Figura 1), por meio da análise dos riscos presentes na área através da visualização com modelagem de drone (Chamayou, 2015), cartografia temática, geomorfologia e dos indicativos geológicos (Magalhães e Moura, 2018). As análises espaciais realizadas em ambiente de Sistema

de Informações Geográficas (SIG) possibilitam medir o tamanho da urbanização recente, além de indicar os vetores de crescimento com vistas identificar as áreas que podem apresentar perigo elevado e possíveis riscos geológico e geomorfológico (Santos, 2017).

Finalmente, este artigo discute a necessidade de uma abordagem urbano-ambiental no planejamento para novas áreas de ocupação urbana, com vistas a propor futuros alternativos para a região.

Figura 1: Imagem da área de estudo gerada por VANT



Fonte: Elaboração dos autores.

1 Contextualização da Área de Estudo

A área de estudo, denominada Vale do Sereno, está localizada na porção norte do município de Nova Lima, cuja densidade de urbanização coincide, em grande parte, com a zona compreendida pelo vértice formado pela MG-030 (Rodovia) e pelo limite municipal com Belo Horizonte.

De acordo com Brito e Souza (2006) por ser uma região com grandes reservas minerais como ouro e ferro, a formação do município de Nova Lima está intrinsecamente

relacionada à atividade extrativa mineral. Conforme os autores, esta atividade fez com que a aproximação econômica entre Belo Horizonte e Nova Lima fosse vinculada diretamente a mineração e ao setor exportador. Cabe destacar, que no início do século XX, a ocupação urbana e econômica sob a forma de condomínios e loteamentos ainda não havia iniciado, sendo neste período a mineração como principal atividade na região (BRITO e SOUZA, 2006). Conforme Peixoto (2005) o processo de ocupação da região teve início na década de 1950, caracterizando-se por um padrão diferenciado de ocupação direcionado para as camadas populacionais de renda média e alta sob a forma de condomínios. Assim é um município com elevado Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (IBGE, 2010) obtido pelo retorno financeiro positivo devido às atividades minerárias.

Já a sua composição altimétrica é caracterizada por expressiva variação topográfica, resultado de quase 280 metros de amplitude, entre o ponto mais baixo e o ponto mais alto da região. Grande parte da área de estudo ainda não está ocupada e corresponde aos fundos de vale e suas encostas. A porção mais densamente ocupada encontra-se próxima as cotas mais altas do conjunto da área de estudo. A declividade constitui expressivo impedimento e dificultador da ocupação desta área, uma vez que a soma das faixas de 30 a 47% (que pela legislação necessitam de laudos geotécnicos para a ocupação pois já são consideradas de risco), e as faixas acima de 47%, pela lei local (Brasil, 1979), que são consideradas não edificáveis, ocorrem em grande parte da região, inclusive em áreas já ocupadas. Observa-se que no Vale do Sereno, área pertencente ao município de Nova Lima, há presença de cursos d'água, desde canais de drenagem e córregos intermitentes até cursos d'água perenes. A presença de vegetação é abrangente, onde a vegetação expressiva, que pode ser considerada para avaliação futura de corredores ecológicos e que são elementos exaustivamente citados como componentes de paisagem, está muito presente na área, principalmente no fundo do vale e próximo a drenagem principal.

Observa-se que o Vale do Sereno possui várias áreas de interesse ambiental, sobretudo em função da presença de cobertura vegetal expressiva e os corpos d'água. As manchas de vegetação são localizadas principalmente no centro. Nota-se que onde se concentram estas manchas já existem arruamentos executados. Há de se destacar que onde o curso d'água perene se localiza, consiste no local de maior interesse ambiental,

cujo conflito ocorre justamente nas áreas de cabeceira. Observa-se que a maior parte da porção já ocupada do vale do sereno localiza-se em área de topo de morro.

Outro problema identificado consiste no processo de ocupação nas áreas de declividade acentuada e topos de morro, cuja indicação é a preservação da cobertura vegetal, pois são áreas não edificantes de acordo com a legislação.

É importante salientar também que o Vale do Sereno é alvo do mercado imobiliário de alto luxo, que tem como chamariz, a propaganda de uma convivência harmoniosa entre a moradia e a preservação ambiental. Contudo, de acordo com a legislação e o Plano Diretor, consiste em uma área inadequada para ocupação, cuja consequência deste processo é o comprometimento da paisagem natural da área (Moura, 2013).

2 Metodologia

A obtenção de base de dados foi realizada por sobrevoo de drone, gerando ortofotos de alta resolução (Magalhães e Moura, 2018). A resolução espacial e espectral da área é de alta qualidade (Eisenbeiss, 2008), o que possibilita as análises, de maneira supervisionada.

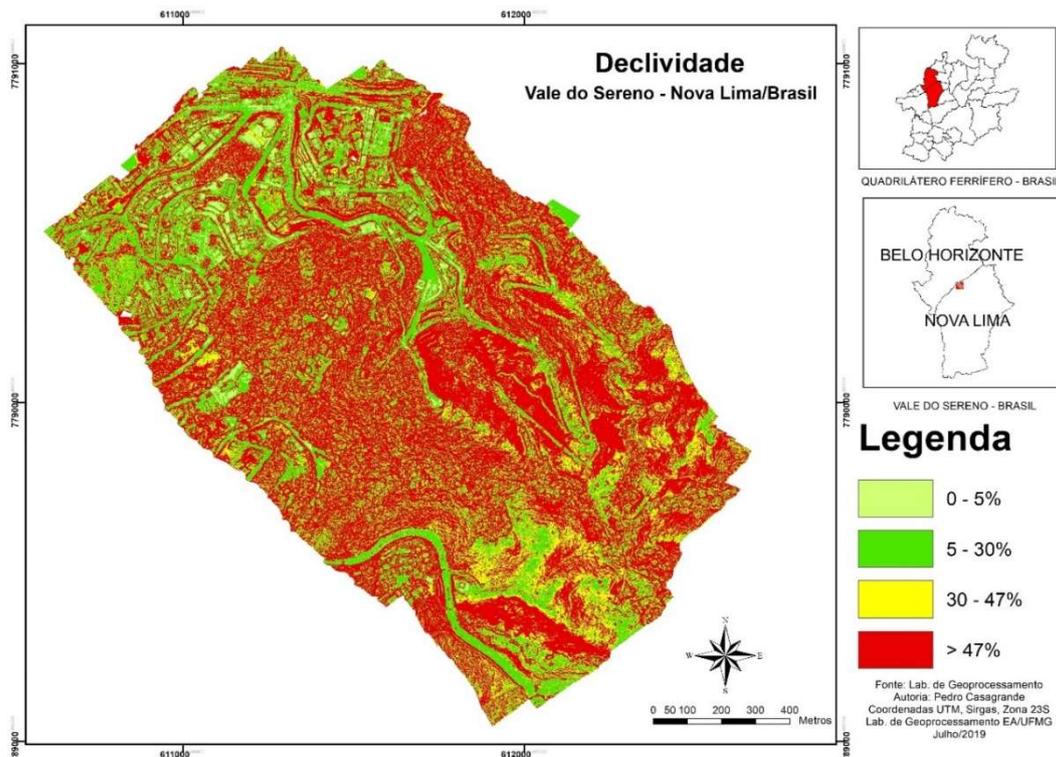
Através das imagens geradas e classificação supervisionada das mesmas, foi possível extrair os dados que possibilitaram a elaboração dos mapas de Declividade, Drenagem (Índice de Hack) e Densidade de Vegetação (NDVI).

O Potencial a Ocupação (PO) foi calculado por combinação das variáveis analisadas em ambiente SIG, o que possibilitou a sua integração com outras variáveis relacionadas às estratégias de planejamento territorial e ambiental da área de estudo (Moura, 2005). Inicialmente foram elaboradas as variáveis que serviram de entrada no modelo que compõe o Potencial a Ocupação.

A declividade (figura 2) do relevo por sua vez tem por objetivo evidenciar as quebras de relevo, o qual foi obtido a partir do processamento de imagens de modelo digital de elevação a partir dos dados do drone da área de estudos. Os dados de declividade foram gerados em porcentagem, sendo classificados em 4 classes, nas quais representam de 0 até 5% considerado plano e passível de inundação; de 5 até 30% como declividade baixa;

de 30 a 47% como alta declividade e acima de 47% como inapropriado para utilização urbana e ações antrópicas.

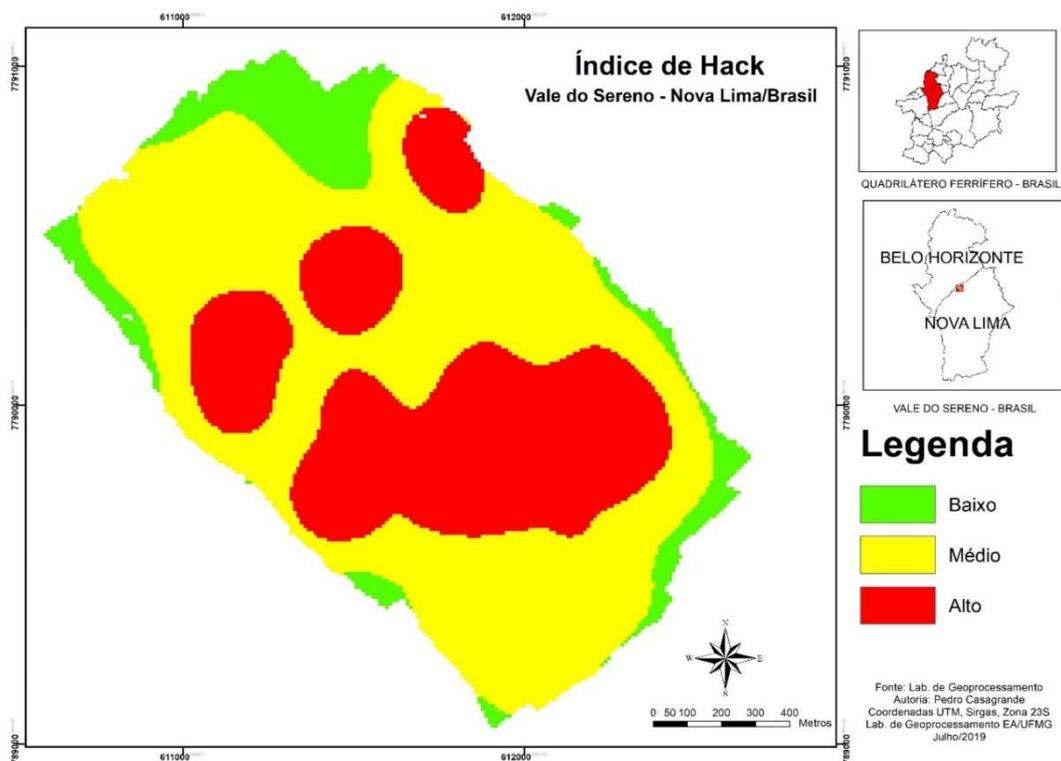
Figura 2: Declividade da área



Fonte: Elaboração dos autores.

O índice Stream Length-gradient (Figura 3) foi elaborado inicialmente por Hack (1973), e foi aplicado à rede hidrográfica hierarquizada conforme método de Strahler (1957) para a análise e para espacialização da ação da incisão da drenagem fluvial no relevo, processo que pode ser desencadeado por fatores tectônicos e estruturais (endógenos), recorrentes na área de estudo e classificado em três classes, as quais alto é onde há maior energia da drenagem, médio é onde a energia da drenagem se comporta com menos potencia e baixo é onde está energia é menor. Uma vez que a análise das feições de drenagem é a proposta deste componente morfométrico.

Figura 3: Índice de Hack da área

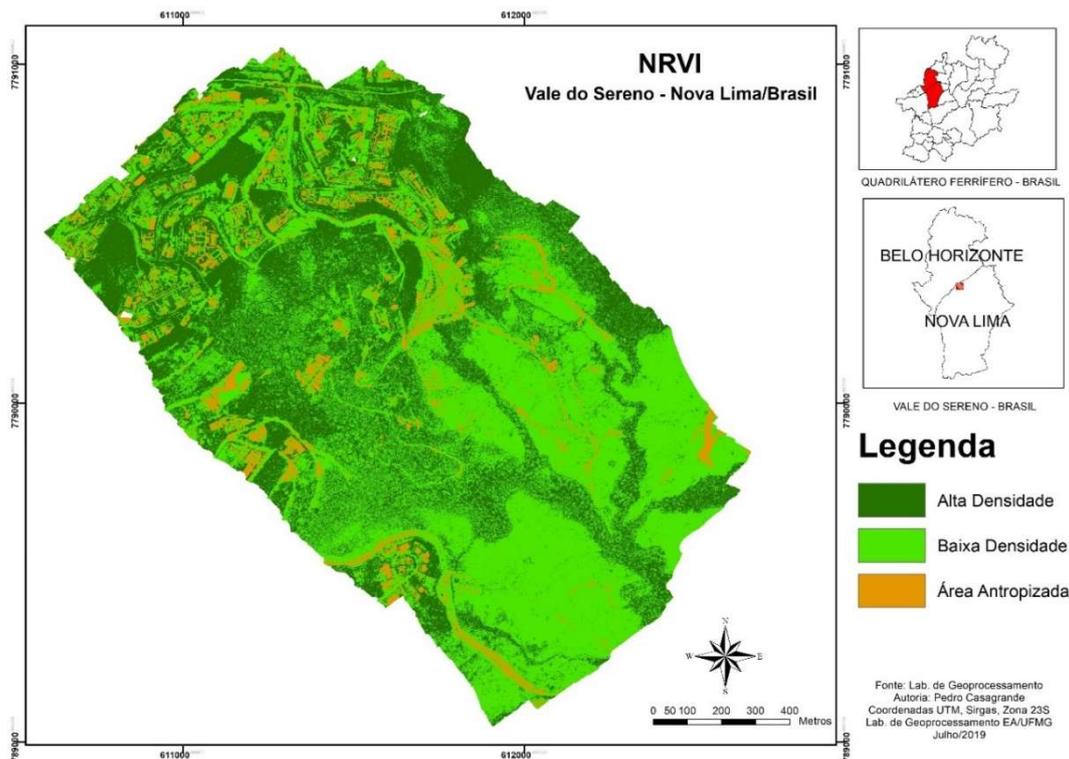


Fonte: Elaboração dos autores.

O *Normalised Remaining Vegetation Index* - NRVI (Figura 4) é baseado na assinatura espectral do comportamento da vegetação, que apresenta respostas específicas relacionadas à fotossíntese, cujo processo absorve a radiação solar na faixa vermelha do espectro. O índice é diretamente proporcional a quantidade de cobertura vegetal de uma dada unidade espacial de análise (Bonet et al., 2006). O resultado do cálculo deste índice para a área de estudo gerou um intervalo de três classes definidas como: alta densidade de vegetação, baixa densidade de vegetação e áreas antropizadas.

O NRVI também pode ser associado a outros índices normalizados para fazer correlações e verificar o ambiente do local estudado, bem como melhorar sua gestão (Bonet et al., 2006).

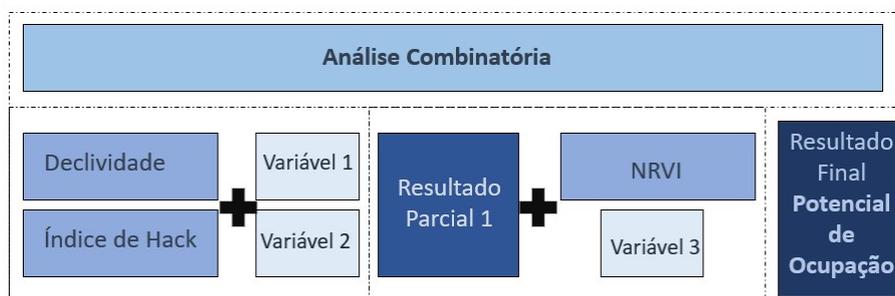
Figura 4: NRVI da área



Fonte: Elaboração dos autores.

A fim de adequar as variáveis para integrar a análise de multicritérios por combinação, seguindo a metodologia de Rocha et al (2018), cada uma das variáveis foi anotada um valor numérico a fim de quando justapostas às variáveis, o usuário possa julgar seu significado nos resultados parciais e finais do processo ao ponto de se obter o julgamento qualitativo final para a síntese do local de estudo. A figura 5, demonstra o processo que ocorre por etapas de análises par a par até o resultado final.

Figura 5: Lógica da Análise Combinatória

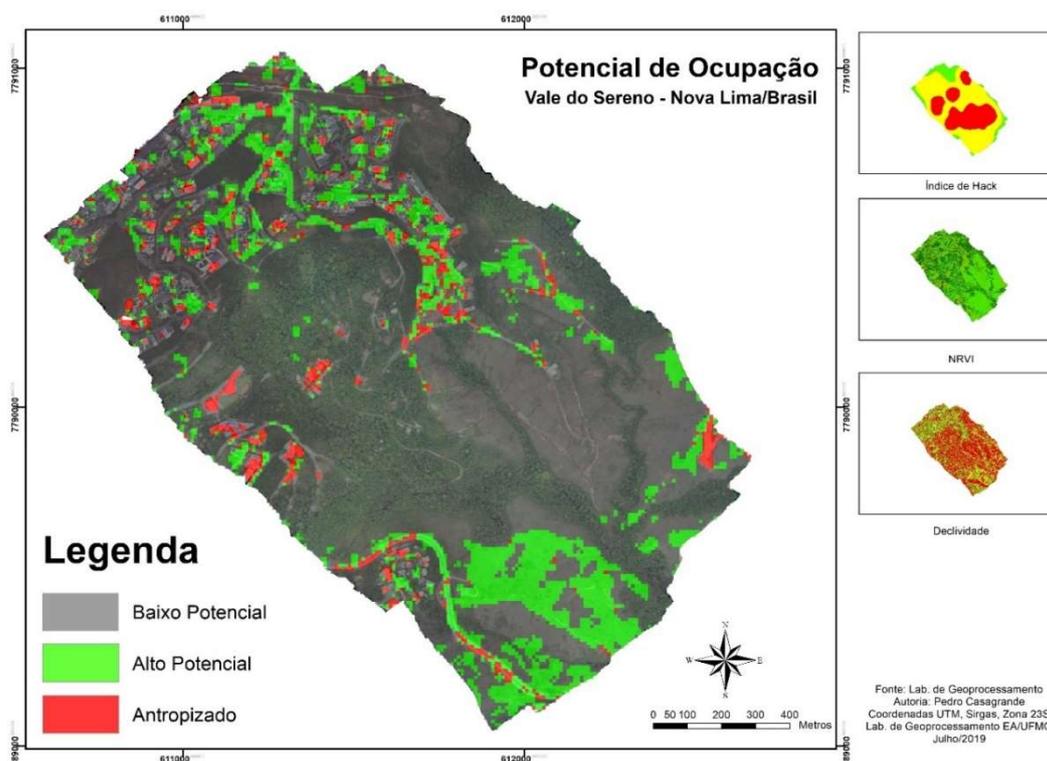


Fonte: Elaboração dos autores.

Assim, o objetivo é gerar um índice de classificação com as coincidências territoriais das variáveis em análises, seguindo sempre o objetivo dos pesquisadores, fornecendo uma informação sem hierarquia, mas sim seletivo e qualitativa (Rocha et al, 2018). Segundo Groenwald et al (2009), “Análise Combinatória é a parte da Matemática que estuda e desenvolve métodos para resolver problemas envolvendo contagem ou existência, em geral, pode se dizer que é a parte da Matemática que analisa estruturas e relações discretas”. Desta maneira, este método funciona como suporte a decisão para atuar em uma área de estudo (Rocha et al, 2016).

Com isto, o Potencial a Ocupação (PO) obtido é representado pela figura 6, variando entre baixo potencial de ocupação (alto risco), baixo potencial de ocupação (baixo risco) e ocupação já existente:

Figura 6: Potencial de ocupação



Fonte: Elaboração dos autores.

3 Resultados

A partir dos resultados obtidos pela análise foi possível identificar dois grandes compartimentos com considerável potencial de ocupação. O primeiro localizado na porção sudoeste território, onde há menor declividade do terreno, menor densidade de vegetação e médio Índice de Hack, e o segundo compartimento está localizado na porção norte, próximo de áreas onde já há ocorrência de ocupações.

Apesar de terem sido identificadas áreas mais propensas à ocupação, a região apresenta importância ecológica relevante, com presença de rede hídrica e vegetação de alta densidade. Neste sentido, nas áreas identificadas como baixo potencial para ocupação, sugere-se a preservação da vegetação e a implantação de medidas mais restritivas à ocupação.

4 Conclusão

A produção de informações espacializadas quanto ao potencial de ocupação se faz necessário no que diz respeito ao planejamento de futuras ocupações, bem como no manejo de áreas naturais.

O PO se mostrou um produto importante para o processo de elaboração do Plano de Uso e ocupação do Solo da Região, compondo os sistemas que representam as características ambientais da região. O PO favoreceu uma compreensão espacializada da susceptibilidade do meio físico local inerente das singularidades físicas e ambientais da área, evidenciando os locais com maior potencial de ocupação. Apesar da ocupação urbana na região ser rarefeita e de alta densidade demográfica, há riscos ligados ao meio físico, o que justifica a produção do material cartográfico apresentado. Além da preocupação com o futuro da ocupação da área, o potencial de ocupação pode auxiliar na tomada de decisão quanto a intervenção na paisagem pelo homem, indicando áreas com mais favoráveis para a ocupação.

Contribuição dos autores

Corpo de texto em Century Schoolbook 12, espaçamento 1,5. O item “contribuição dos autores” é obrigatório. Deve explicitar de forma breve e verdadeira as contribuições

de cada um dos autores participantes da submissão. **Preencher somente após aceito para publicação.**

Referências

AHRENS, S. O “Novo” Código Florestal Brasileiro: conceitos jurídicos fundamentais. In: **CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**, 8, 2003. Anais. São Paulo: SBS; Brasília: SBEF, 2003.

BATHRELLOS, G.D.I. **An overview in urban geology and urban geomorphology.** Bulletin of the Geological Society of Greece, 2007. In: Proceedings of the 11th International Congress, Athens, May, 2007

BATTY M. **Cities and complexity. Understanding cities with cellular automata, agente-based models, and fractals.** Cambridge, MA: The MIT Press, 2005

BRASIL. Estatuto da cidade: guia para implementação pelos municípios e cidadãos. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2001a. 35 p. Disponível em: Acesso em: 16 jul. 2019.

BRASIL. Lei Federal nº 6.766. 17 dez. 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Brasília.

BONET, Barbara R. P. et al. "Extra-Property Legal Reserve in the Cerrado Biome: A Preliminary Analysis within the Watershed Context". **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº 58/02, 2006.

CASAGRANDE, P. B.; Fonzino, F., Lanfranchi, E., Fonseca, B. M. & Sena, I. S. **Proposta de índice de risco geológico: estudo de caso para o município de Norcia, Itália.** XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2017 - Rio de Janeiro, Brasil

- CASTELLS, M.. **Imperialismo y urbanización en América Latina**. Barcelona: Gustavo Gili Chamayou, G. 2015. A teoria do drone. CosacNaify, São Paulo. 1973
- COSTA, G. M. & ARAÚJO, C. E. A expressão sócio-econômica e espacial da dinâmica ocupacional na Região Metropolitana de Belo Horizonte. In: COSTA, H. S. M. et al. (Org.). **Novas periferias metropolitanas. A expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no Eixo Sul**. Belo Horizonte: Editora C/Arte, 2006, p. 35–46.
- EISENBEISS, H. 2008. The autonomous mini helicopter: a powerful platform for mobile mapping. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. 37: 977-984
- FUJIMOTO, N.S.V.M. (2001) **Análise Ambiental Urbana na Área Metropolitana de Porto Alegre-RS: Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio**. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 236p.
- GROENWALD, C. L.; OLIVEIRA, N. Z.; HOMA, L.; RYOKITI, A.I. 2009. Didactic Sequence with Combinatory Analysis according to the SCORM Standard. *Bolema*, 22(34): 27-56. Guerra, A. J. T. & Marçal, M. S. (ORG.). **Geomorfologia ambiental**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 189 p.
- HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal of Research of the United States Geological Survey**, v.1, n.4, p.421-429, 1973.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (IBGE). Website. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 24 out. 2018.
- MACHADO, M. M. M. **Construindo a Imagem Geológica do Quadrilátero Ferrífero: conceitos e Representações**. 256 f. Tese (Doutorado em Geologia). Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

- MAGALHÃES M. M., & MOURA A. C. M., Avaliação da acurácia do modelo tridimensional de uma edificação gerado por um micro vant. **Revista Geografia y Sistemas de Información Geográfica**. Volume Especial, Ano 10, 75-100, Argentina, 2018.
- MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: ACMM, 2005. 294 p.
- MOURA, A. C. M. *et al.* **Geoprocessamento como ferramenta de planejamento e gestão no Vale do Sereno em Nova Lima, Minas Gerais**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.
- PARAIZO P.L.B. 2004. **A construção do conhecimento nas ciências Geológicas – Contribuições do pensamento de Gaston Bachelard**. Dissertação de Mestrado, Fac. Fil. Univ. Est. Rio de Janeiro, 120 p.
- PEIXOTO, M. C. D. **A Expansão Urbana da Região Metropolitana de Belo Horizonte e suas implicações para a redistribuição espacial da população: a migração dos ricos**. Trabalho apresentado no XV Encontro de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em Caxambu - MG - Brasil, de 18 a 22 de setembro de 2006.
- ROCHA, N.A.; SENA, I.S.; FONSECA, B.M.; MOURA, A.C.M. 2016. **Association between a spectral index and a landscape index for mapping and analysis of urban vegetation**. In: 9th International Conference on Innovation in Urban and Regional Planning, Torino.
- ROCHA, A. R.; CASAGRANDE, B. P. & MOURA, A. C. M. Análise Combinatória e Pesos de Evidência na Produção de Análise de Multicritérios em Modelos de Avaliação. **Revista Geografia y Sistemas de Información Geográfica**. Volume Especial, Ano 10, 37-61, Argentina, 2018.

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

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union** v. 8, n. 6, p. 913–920 , 1957.

TONUCCI FILHO, J. B. M. **Dois momentos do planejamento metropolitano em Belo Horizonte: um estudo das experiências do PAMBEL e do PDDI-RMBH**. 236 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Geoprocessamento e a Análise de Vulnerabilidade a Desastre Humano: Córrego do Feijão, Brumadinho, MG

Geoprocessing and Vulnerability Analysis to Human Disaster: Córrego do Feijão, Brumadinho, MG

Pedro Benedito Casagrande¹; Maria Giovana Parisi¹; Ana Clara Mourão Moura²; Lourdes Manresa Camargos³ & Camila Marques Zyngier²

¹Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG

²Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Laboratório de Geoprocessamento, Departamento de Urbanismo, Rua Paraíba 697, sala 410A, 30130-140, Belo Horizonte, MG

³Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG

E-mails: pedrobcasagrande@gmail.com; mgparizzi18@gmail.com; anaclaramoura@yahoo.com.br; loumcamargos@hotmail.com; camila.zyngier@gmail.com

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar o uso de sub-bacia como área de análise para o ordenamento territorial. A área de estudo foi a sub-bacia que envolve a mina do Córrego do Feijão, localizada em Brumadinho/MG. A partir desta proposta de recorte, apresenta-se a análise do efeito do rompimento de uma das barragens de rejeito da mina Córrego do Feijão, ocorrido em janeiro de 2019, sob responsabilidade da empresa Vale S.A. A ruptura culminou em uma corrida de lama que extrapolou os limites da sub-bacia estudada. Para isso, foi feito um estudo e caracterização do relevo, através de análise topológica da sub-bacia do Ribeirão Ferro Carvão, para entender o fluxo e a energia das águas, e conseqüentemente, da lama. Além disso, através do uso de sensoriamento remoto com classificação supervisionada de imagens Sentinel-2A, foi possível obter informações sobre o uso e ocupação do solo da sub-bacia em análise, antes e após o rompimento. Através de uma análise espacial e temporal, estimou-se que, dentro da área analisada, a lama atingiu um total de 2,48km², sendo a classe de vegetação robusta a mais atingida pelo desastre em termos numéricos. A tipologia de áreas antrópicas, apesar de ter sido a de menor área atingida pela lama, foi a que sofreu maiores impactos. Compreende-se a importância de se analisar todos os elementos que compõe uma sub-bacia e como se comportam associados, a fim de evitar tragédias e mitigar situações de vulnerabilidade. Finalmente, ressalta-se a importância de um estudo de ordenamento territorial que considere o planejamento integrado entre a justaposição de atividades humanas, relações sociais e espaciais e seus diversos impactos para a paisagem.

Palavras-chave: Ordenamento Territorial; Mina Córrego do Feijão; Rompimento de Barragem

Abstract

This paper aims to characterize the use of the sub-basin as an area of analysis for territorial planning. The study area was the sub-basin surrounding the Córrego do Feijão mine, located in Brumadinho / MG. From this proposal, we present the analysis of the effect of disruption of one of the tailings dams of the Córrego do Feijão mine, which took place in January 2019, under the responsibility of Vale S.A. The rupture culminated in mud flow that extrapolated the boundaries of the subbasin. A study and characterization of the relief was made, through topological analysis of the Ribeirão Ferro Carvão sub-basin, to understand the flow and energy of the waters, and consequently, of the mud. In addition, it was possible to obtain information on the land use and occupation of the analyzed sub-basin before and after the disruption using remote sensing with Sentinel-2A supervised image classification. Through a spatial and temporal analysis, it was estimated that, within the analyzed area, the mud reached a total of 2.48km², being the class of robust vegetation the most affected by the disaster in numerical terms. The typology of anthropic areas, despite being the smallest area hit by mud, was the one that suffered the greatest impact. The importance of analyzing all the elements that belongs in a sub-basin and how does it behave in order to avoid tragedies and mitigate situations of vulnerability is considered very important. Finally, it is emphasized the relevance of a spatial planning study that considers the integrated planning between the juxtaposition of human activities, social and spatial relations and their various impacts on the landscape.

Keywords: Territorial Planning; Córrego do Feijão Mine; Dam Braek

1 Introdução

No Brasil e no mundo as grandes obras de engenharia – barragens, reservatórios, túneis, rodovias, estádios, entre outros – exigem atenção especial quanto às suas inserções na paisagem. Em alguns casos, como o da mineração, a locação no espaço geográfico tem limitações de escolhas e alternativas. A mineração não pode ocorrer em qualquer lugar, já que o minério, para se tornar reserva, é uma anomalia e ocorre pontualmente.

Posto isto, as grandes obras (e também as pequenas) de engenharia devem ser monitoradas, vistoriadas e acompanhadas durante toda sua existência a fim de se reduzir o risco de colapso da estrutura, havendo a necessidade de manutenção constante em qualquer tipo de empreendimento antrópico (Duarte, 2008).

Neste sentido, as barragens de mineração são altamente conhecidas por gerarem elevado impacto ambiental e transformação da paisagem, e sua gestão é alvo de críticas diretas da sociedade civil e do poder público (Duarte, 2008). Como são grandes estruturas antrópicas, teoricamente não se pode afastar a possibilidade de algum evento causar uma ruptura, mesmo que esta tenha valor próximo a zero. Desta maneira o risco deve ser minimizado ao máximo e, segundo Bowles *et al.* (1998), uma das premissas para isto é a segurança, a qual inclui proteger a população que convive com este tipo de infraestrutura.

Marcelino (2008) definiu Desastres Humanos como aqueles disparados pelas ações ou omissões humanas. Exemplo: acidentes de trânsito, incêndios industriais, contaminação de rios, rompimento de barragens. Isto justifica dimensionar o seu impacto perante a natureza e, também, perante as outras atividades ligadas ao homem. De acordo com Cerri & Amaral (1998), Vulnerabilidade significa o grau de perda de um dado elemento ou grupo de risco dentro de uma área afetada por um processo ou desastre. À vista disso, a forma pela qual ocorre a ocupação do espaço pelo homem deve ser totalmente planejada, em nível maior do que somente aquele relativo ao empreendimento em análise (Andrade, 2018). É relevante então considerar a realização do estudo das atividades antrópicas por todo o território de maneira integrada, uma vez que as atividades humanas interferem no elemento natural e, por sua vez, toda a cadeia é alterada (Santos, 2007). Considera-se que uma condição de análise integrada para o ordenamento deste território seria a análise através do recorte da sub-bacia.

A locação de empreendimentos antrópicos, de qualquer magnitude, deve levar em conta todo o contexto na qual é feita sua inserção. Desta maneira, a implantação deve ir de encontro à integração da paisagem local. Esta, por sua vez, deve ser considerada sob um olhar polissêmico (Ribeiro, 2007), que considera diversas camadas – geográfica, urbana, arquitetônica, ecológica, entre outras – e leva em conta a compreensão do território como elemento espacial que contém as relações e interações socioeconômicas (Carsalade *et al.*, 2012).

É sabido que dentro do conjunto das atividades antrópicas que geram impactos mais expressivos, destaca-se a mineração. A mineração afeta o território onde é realizada (Cetem, 2014) e, por conseguinte, a locação de seus elementos (infraestrutura e operação) deve levar em conta as questões socioambientais dentro da sub-bacia na qual está inserida. Deve-se considerar principalmente os elementos presentes a jusante, uma vez que em qualquer desastre que possa ocorrer, a tendência é de que os elementos ligados ao movimento de materiais se desloquem do ponto de maior cota para o de menor cota, em geral, seguindo o mesmo caminho da rede de fluxo hídrico.

Realça-se aí a importância das sub-bacias como possíveis recortes de análise para a ocupação territorial. Observa-se que no Brasil, as políticas de planejamento (local, estadual e até nacional) normalmente não consideram o recorte da sub-bacia como um ponto de análise para impactos (Porto & Lobato, 2004). Esta conduta leva a uma perda muito grande em relação à manutenção da segurança do ordenamento territorial e da preservação ambiental, apenas para citar alguns fatores fundamentais, quando se trata da ocupação de territórios que estão sob o impacto de usos conflitantes.

A dinâmica e distribuição das águas são determinadas pelas características e organização espacial das bacias hidrográficas e não em função de limites administrativos dos municípios ou de

outras unidades espaciais de cunho político. A partir de um recorte espacial de um município é possível apenas uma percepção fragmentada das complexas relações ambientais e sociais que não acompanham os limites político-administrativos (Magalhães Jr., 2005).

Neste sentido, a bacia hidrográfica, e por conseguinte a sub-bacia, é tida como um recorte preferencial de análise e planejamento ambiental, pois é um sistema no qual todas as ações adotadas se refletem em seu conjunto espacial. Desta maneira, a utilização de uma rede hídrica como unidade de análise é relevante, uma vez que a sub-bacia, ligada a rede hídrica, é uma célula na qual é possível compreender as inter-relações existentes entre os elementos e processos da paisagem, sendo então definida a rede hidrográfica, ou parte dela, como elemento de elevada importância para o estudo dos problemas ambientais (Botelho, 1999).

As bacias e sub-bacias hidrográficas são consideradas a melhor unidade para análise territorial em questões ligadas ao planejamento e gestão, uma vez que as ações antrópicas e naturais atuam ao mesmo tempo no espaço (Jouravlev, 2003). Desta maneira, este tipo de delimitação não é dotado somente de dimensões físicas, uma vez que há influência sobre o uso do solo, capaz de transcender os limites municipais de território, gerando atritos entre as unidades territoriais estabelecidas no local (Peres & Silva, 2013).

O presente estudo utiliza como recorte espacial a área de contribuição do ponto da foz do Ribeirão Ferro Carvão no Rio Paraopeba, sub-bacia diretamente afetada pelo rompimento de uma das barragens da mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG), sob responsabilidade da empresa Vale S.A. Busca-se realizar uma análise espacial e temporal da área de estudo, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, levando em consideração o pré e o pós rompimento da barragem ocorrido no dia 25 de janeiro de 2019 e entender a extensão areal e os diferentes usos e ocupações das áreas afetadas pela lama decorrente da barragem rompida.

2 Metodologia

O uso de imagens de satélite remotamente capturadas para aplicações de processamento digital de imagens é uma tecnologia muito bem-sucedida na coleta de dados para levantamento e monitoramento de eventos em escala global e local (Meneses & Almeida, 2012). Isso porque a coleta de dados apresentada é distante do objeto em estudo, pois não é realizada *in locu* (Jensen, 2009) e há possibilidade de compreensão do fenômeno em estudo em escala temporal.

Por definição, o Sensoriamento Remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados e aeronaves/espçonaves com o objetivo de se estudar um determinado fenômeno a partir das respostas espectrais dos componentes em análise (Novo,

2001). Em outras palavras, é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, favorecendo a caracterização das situações existentes e das ocorrências (Oliveira, 2019).

É sabido que as imagens de satélite, em forma digital ou analógica, são muito importantes e úteis para o planejamento urbano e do uso da terra, pois permitem avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região e num dado período, por exemplo, registrando a cobertura vegetal em cada momento. Outra importância é a sua periodicidade de imageamento, que é curta, possibilitando a análise do fenômeno em qualquer que seja sua modificação espacial (Machado, 2002).

Neste trabalho, uma das imagens utilizadas foi a Sentinel-2A, pertencente ao programa *Copernicus*, da Agência Espacial Europeia. Este tipo de imagem coleta dados que permitem detectar pequenas movimentações e alterações no terreno, úteis para monitorar vegetação, corpos d'água e estruturas (ESA, 2017). As imagens deste satélite são captadas em bandas de diferentes comprimentos de onda (Tabela 1), sendo 4 delas com resolução espacial de 10m (vermelho, verde, azul e infravermelho próximo - das quais, Azul, Verde e Vermelho, são as bandas utilizadas neste trabalho).

Número da Banda	Comprimento de onda central (μm)	Resolução espacial (m)
Banda – 2 (Azul)	0,490	10
Banda – 3 (Verde)	0,560	10
Banda – 4 (Vermelho)	0,665	10
Banda – 8 (Infravermelho Próximo)	0,842	10

Tabela 1 Resolução espacial das bandas Vermelha, Verde, Azul e Infravermelho Próximo das Imagens Sentinel-2A, Fonte Os autores, modificado de ESA (2017).

A combinação de bandas RGB (*Red* - Vermelho, *Green* - Verde e *Blue* - Azul) é a mais utilizada entre os modelos de cores (Meneses & Almeida, 2012). Esse sistema se destaca pela grande liberdade que apresenta para o analista explorar as possíveis combinações de três cores com três bandas, a fim de obter a imagem colorida de melhor contraste. A Figura 1 demonstra a conversão de uma imagem digital no processo de formação de uma composição colorida no padrão RGB.

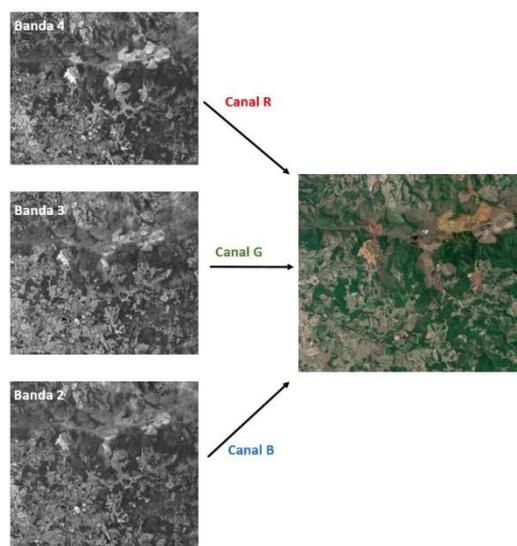


Figura 1 Combinação de Bandas Vermelho, Verde, Azul para gerar a imagem de cor verdadeira, Fonte Os autores

Cada elemento da superfície da Terra tem uma assinatura espectral que está relacionada à intensidade relativa com que o corpo reflete ou emite as ondas eletromagnéticas em comprimentos diferenciados, como resposta à ação da luz solar sobre a sua superfície. Ou seja, parte da luz solar é absorvida pelo corpo, parte é espalhada e parte é refletida, e esta parte refletida é capturada pelo satélite. Essas interações são dependentes das características físicas e químicas do alvo sobre o qual acontece a incidência da luz.

No estudo de caso, a partir da composição com as bandas especificadas, foi feita a classificação supervisionada das imagens de satélite da área de estudo, com o emprego de classificadores por região que utilizam, além da informação espectral de cada pixel, a informação de conformação ou arranjo espacial. Essa envolve a relação entre os pixels e seus vizinhos e procura simular o comportamento de uma foto interpretação, ao reconhecer áreas homogêneas das imagens, baseadas nas propriedades espectrais e espaciais das imagens (Santos *et al.*, 2010). Pela comparação de um pixel a outros pixels de identidade conhecida, é possível agrupar aqueles cujas reflectâncias espectrais são semelhantes em classes mais ou menos homogêneas (Santos *et al.*, 2010). Por sua vez, para os estudos relacionados a morfometria do relevo foi utilizada imagens *Alos Palsar*, do Serviço Geológico do Estados Unidos – USGS, a fim de se obter a topografia e esta provir dados de hipsometria e declividade, que juntos com os dados de composição de bandas serviram para a melhor compreensão da área.

3 Fluxograma e Passo-a-Passo Metodológico

O trabalho consistiu em elaboração de classificação supervisionada de imagens de satélite a fim de se obter a análise temporal e espacial final, seguindo as seguintes etapas metodológicas, presentes no fluxograma da Figura 2 e descritas em seguida:

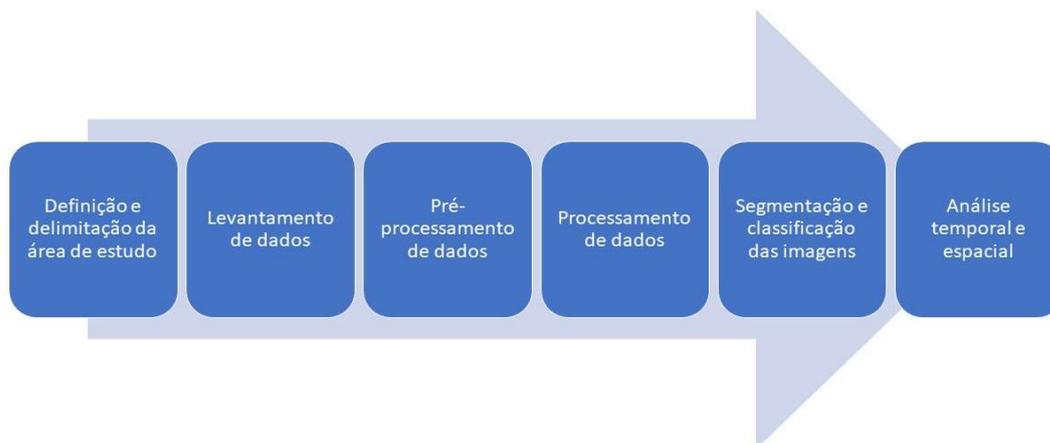


Figura 2

Fluxograma dos procedimentos metodológicos, Fonte Os autores

No dia 25 de janeiro houve um rompimento de uma das barragens da mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG), sob responsabilidade da empresa Vale S.A. Com o rompimento, 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos úmidos de minério de ferro vazaram e percorreram o leito do Ribeirão Ferro-Carvão, alcançando a localidade do Córrego do Feijão e posteriormente a cidade de Brumadinho.

Os rejeitos de minério seguiram o vale do Ribeirão Ferro Carvão invadindo o deságue dos córregos adjacentes até o leito do Rio Paraopeba. No caminho atingiram residências e áreas rurais, criações de animais e plantações da população local (Fiocruz, 2019).

Considerando que esta área se encontra extremamente fragilizada após o rompimento da barragem, este estudo utiliza como recorte a área de contribuição do ponto da foz do Ribeirão Ferro Carvão no Rio Paraopeba.

Para recorte da área de contribuição do estudo, foi utilizado o processo de delimitação automática de bacia hidrográfica desenvolvido no *ArcGis* 10.7, juntamente com a extensão ‘*Hydrology*’ e ‘*Spatial Analyst*’, tendo como base a Imagem do satélite *Alos Palsar*, obtida no site *Earth Explorer*, do Serviço Geológico do Estados Unidos – USGS.

Assim, obteve-se a sub-bacia referente a área de contribuição, como pode ser observado na Figura 3.

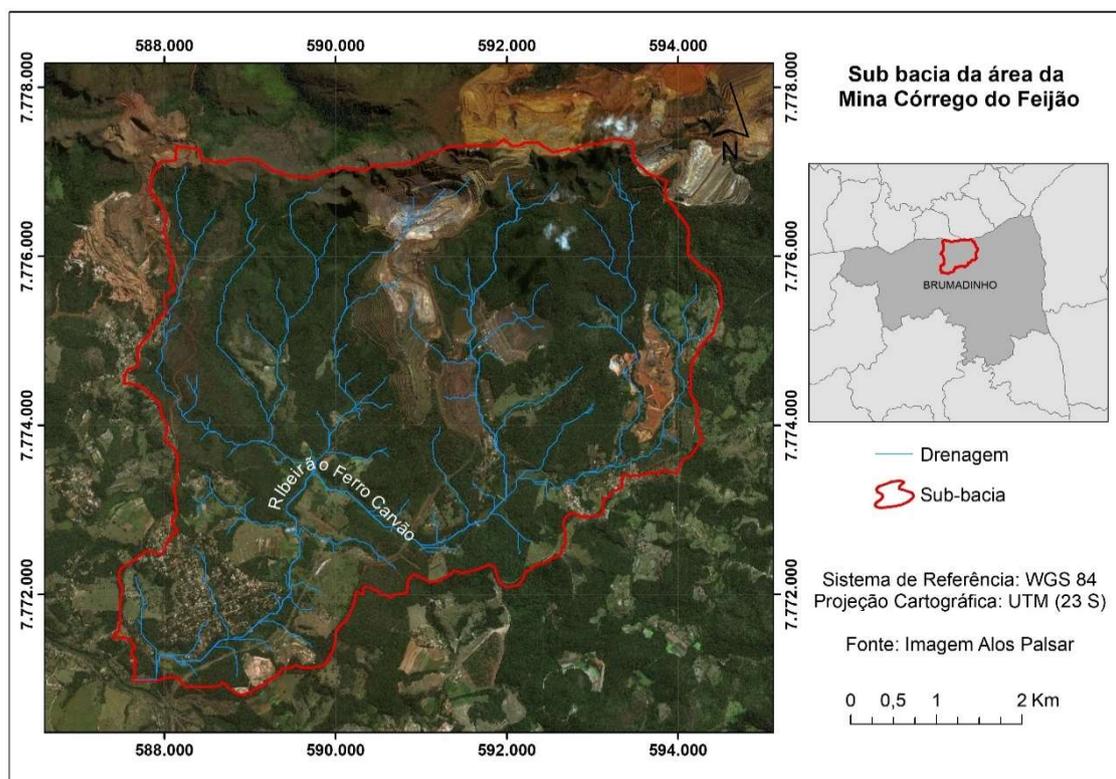


Figura 3 Mapa de localização da área de estudo. Sub-bacia do Córrego de Feijão, Brumadinho/MG, Fonte Os autores

A área se encontra dentro do município de Brumadinho, Minas Gerais, e possui 32,4 km² de extensão. A sub-bacia do Ribeirão Ferro Carvão do estudo está inserida na bacia do Rio Paraopeba, na Região Hidrográfica do São Francisco e abrange também parte da Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Unidade de Conservação de Uso Sustentável.

- Aquisição de imagens de satélite obtidas no site *Earth Explorer* – USGS, para o recobrimento da área de estudo. Para isso, foram obtidas duas imagens Sentinel - 2: uma relativa à data do pré rompimento da barragem de rejeitos (24/09/2018) e outra relativa à data pós rompimento (01/02/2019). Tais datas foram escolhidas levando-se em consideração a menor interferência possível de nuvens;

- Pré-processamento das imagens como remoção de ruídos e aplicação de contraste de composição RGB 432. Esta etapa é a etapa seguinte foram realizadas no software *ArcMap* 10.7;

- Processamento das imagens: primeiramente foi realizada a segmentação e posteriormente, foi realizada a classificação interativa supervisionada das imagens, em que são consideradas as características espectrais do pixel (classificação pixel-a-pixel). Este classificador requer a obtenção de áreas de treinamento, que foram obtidas através da seleção de amostras prévias pertinentes a cada tipo de classe. A seleção de amostras de classes ocorreu por meio de interpretação

visual, baseada em elementos como tonalidade/cor, forma e textura dos pixels de cada cena. A classificação foi dividida de forma distinta para cada uma das duas imagens. Na imagem correspondente ao pré rompimento da barragem, foram definidas quatro classes de uso e ocupação do solo: vegetação robusta, vegetação rasteira, área de mineração e outras áreas antropizadas. Na imagem correspondente ao pós rompimento da barragem, foram destacadas cinco classes de uso e ocupação do solo: vegetação robusta, vegetação rasteira, área de mineração, rejeito e outras áreas antropizadas. Na classe relativa às ‘outras áreas antropizadas’ foram agrupadas as áreas urbanas, estradas, agricultura e pastos.

- Realização de análise temporal e espacial da área de estudo, levando em consideração o pré e o pós rompimento da barragem da mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG).

4 Estudo de Caso: A mineração Córrego do Feijão e o Município de Brumadinho

A área deste estudo de caso encontra-se no eixo sul do fragmento da metrópole de Belo Horizonte que corresponde ao um dos principais vetores de expansão territorial, composto pelo município de Brumadinho, no qual está localizada a Mina de Córrego do Feijão. Neste espaço há diversos conflitos urbanos, ambientais e econômicos - relacionados à mineração principalmente - que, muitas vezes, operam sem articulação.

A evolução temporal do uso do espaço no local é ligada diretamente à mineração. A formação da rede urbana local remonta ao período colonial, quando o ouro de aluvião foi encontrado pelos bandeirantes na região em Minas Gerais que foi denominada Quadrilátero Ferrífero. A busca por commodities foi intensa, ao ponto da rede urbana local ter se estabelecido pela extração de minério, conformando a malha ainda existente no local (Machado, 2009).

O município de Brumadinho tem forte vínculo com esse processo de exploração mineral, uma vez que com o declínio do Ciclo do Ouro foi dado início ao ciclo da mineração de ferro. Entretanto, este processo se iniciou em uma época na qual os conflitos de interesse sobre o ordenamento territorial ainda eram incipientes e a legislação não atinava para estas questões de conflito de atividades urbanas, ambientais e econômicas.

A capital do estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, instalada em 1897, se localiza na borda do Quadrilátero Ferrífero. Com o passar dos anos, devido à sua expansão urbana e demanda por áreas de suporte e complementação de atividades antrópicas, a capital passou a afetar os municípios vizinhos, como é o caso de Brumadinho, e, por sua vez, a gerar os primeiros conflitos de uso do solo e seu ordenamento territorial.

É importante ressaltar que no Brasil as décadas de 1960 e 1970 foram marcadas por elevados processos de urbanização e metropolização de polos urbanos regionais, como a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), instituída em 1974, e da qual Brumadinho faz parte. Neste contexto, os limites de expansão da capital do estado avançaram para o município vizinho, Brumadinho (Tonucci Filho, 2012; Costa & Araújo, 2006). De acordo com Costa (2006), este eixo espacial é “mistura de bairros residenciais, comércio e serviços elitizados, intensa valorização imobiliária, crescente verticalização, e [...] grandes concentrações de populações em favelas que resistem em territórios claramente delimitados”.

Desta maneira, o interesse em redirecionar o uso do espaço como instrumento econômico para produção de capital gera o fenômeno das grandes minerações a céu aberto e a falta de planejamento do território por parte do poder público, com fragilidade na definição de áreas adequadas para cada tipo de atividade, algumas delas conflitantes. Por isso, a ação do Estado há de se tornar um instrumento fundamental na gestão do território, a fim de organizar e planejar o mesmo.

No caso de Brumadinho, cabe observar um fator importante: o município possui um elevado número de loteamentos iniciados e irregulares, de distritos municipais fora do planejamento do Poder Público, que podem sofrer consequências ligadas diretamente a atividade minerária (Faria, 2016).

A mineração, no local de estudo, tende a ocorrer em locais com topografia elevada, uma vez que na constituição geológica local desta província mineral os depósitos de ferro se situam em litologias que estão em topografia mais alta (Faria, 2012). Esta situação faz com que caso haja um desastre com a infraestrutura das minas, a movimentação do material acontece do ponto alto topográfico local para o baixo topográfico local, havendo assim, maior necessidade do Poder Público conhecer bem seu território e evitar possíveis sobreposição de interesses urbanos, ambientais e econômicos. Uma importante maneira de solucionar o uso do espaço municipal poderia ser a adoção de algum tipo de unidade de conservação ambiental em espaços de amortização de impactos, assim, os instrumentos de proteção ambiental poderiam cumprir funções que possibilitariam o controle do uso do espaço (Costa, 2006).

A área minerária, ou seja, o substrato geológico – de elevada importância para o homem e suas atividades – deve também ser levada em conta no entendimento do território e em sua gestão. Entretanto, o que se observa atualmente é a negligência deste elemento como orientador para a ocupação urbana. Quando há algum tipo de situação de risco com estes empreendimentos minerários é necessário atuar em prol da proteção da população civil em áreas urbanas de risco, o que poderia ser evitado caso a geologia, desde o começo, fizesse parte do entendimento e uso do espaço (Fujimoto, 2001).

5 Caracterização da Área e das Consequências do Evento

A área na qual a barragem está inserida pertence a sub-bacia onde há um bairro rural do município de Brumadinho, com toponímia análoga à mina, esta comunidade se localiza adjacente ao Ribeirão Ferro Carvão. De acordo com o IBGE (2011), nesta região havia 415 residentes, os quais residiam à jusante da barragem, em situação de pré rompimento. O rompimento da barragem, presente na sub-bacia em questão, gerou grandes ondas de rejeito de mineração que avançaram do alto para o baixo topográfico local, uma vez que a barragem se localizava na porção de cota maior da área e com maior declividade do que áreas adjacentes

A partir da caracterização do local com a elaboração do mapa hipsométrico e do mapa de declividade da área de estudo (Figura 4), é possível entender como o caminho percorrido pelos 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos úmidos de minério de ferro foi direcionado pelo relevo local.

A lama de rejeito seguiu o fluxo hídrico superficial determinado pelo relevo, percorrendo o leito do Ribeirão Ferro-Carvão, alcançando a localidade do Córrego do Feijão e posteriormente a cidade de Brumadinho. Sendo assim, a lama percorreu o caminho do ponto mais alto ao ponto mais baixo, indo em direção ao vale do Córrego do Feijão, dentro do limite da sub-bacia em estudo. Foram destruídas todas as estruturas que se encontravam adiante, como o refeitório e o escritório administrativo da Mina. A comunidade do bairro rural local foi também diretamente atingida pela lama, uma vez que estava em localização adjacente a calha da drenagem que a lama percorreu.

O fato de que comunidades rurais se encontram à jusante e muito próximas das barragens da mina Córrego do Feijão, pressupõe-se que não houve um estudo de ordenamento territorial para implementação do empreendimento, ou que as ocupações urbanas não consideraram eventuais riscos territoriais. Caso os elementos antrópicos fossem avaliados no contexto da sub-bacia, este projeto, ou a ocupação urbana caso ela tenha acontecido depois, teriam sido vetados, uma vez que os conflitos de localização colocavam em risco a vida humana.

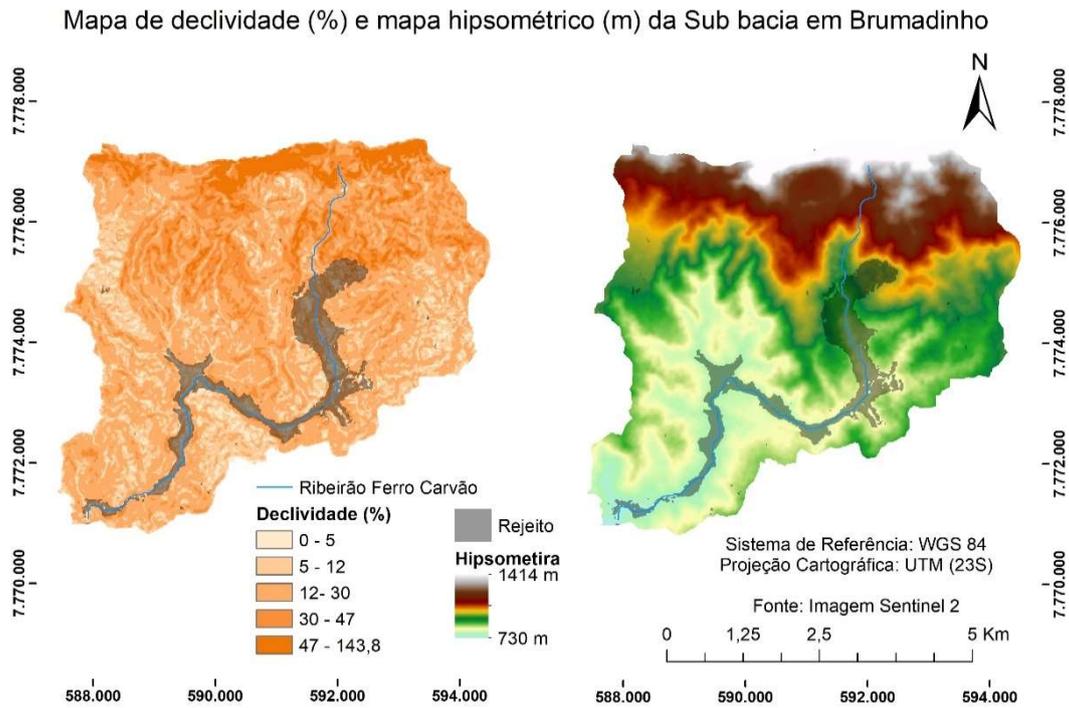


Figura 4 Mapa de Declividade e Mapa Hipsométrico, Fonte Os autores

Além do estudo e caracterização do relevo local, a classificação de imagens também nos permite extrair informações sobre o território de análise. Através da classificação de imagens de satélite do local de estudo, extraiu-se informações de uso e ocupação do solo da sub-bacia antes e após o rompimento de uma das barragens da mina Córrego do Feijão (Figura 5).

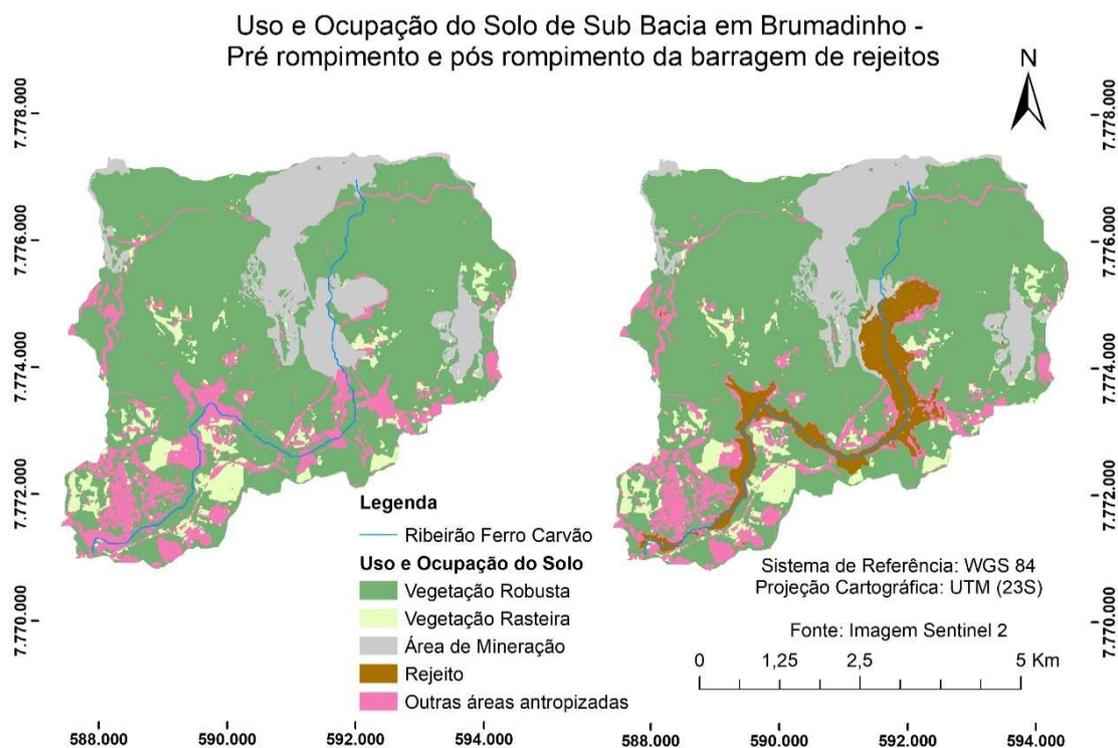


Figura 5 Uso e Ocupação do solo de sub-bacia em Brumadinho – Pré (esquerda) e pós rompimento (direita), Fonte Os autores

Assim foi possível calcular as áreas que representam as classes de uso e ocupação do solo antes e após o rompimento da barragem. Além disso, obteve-se a informação de área atingida pela lama para cada tipo de uso e ocupação do solo, assim como a área total atingida pelo rejeito de mineração.

A Tabela 2 demonstra que a classe de uso de solo mais atingida pela lama foi a de vegetação robusta, representando um total de 0,94 km², seguida da área de mineração, com 0,87 km². A área antropizada, que para esta análise representa as áreas urbanas, residências rurais, estradas e agricultura, foi atingida pela lama em uma área de 0,66 km². Apesar de ser a classe de uso e ocupação menos atingida em termos numéricos, trata-se da tipologia que sofreu maiores impactos, já que atingiu diretamente pessoas e animais.

Uso e Ocupação do Solo	Área (km²) Pré-rompimento	Área (km²) Pós-rompimento	Área Atingida pelos rejeitos (km²)
Vegetação robusta	21,71	20,77	0,94
Vegetação rasteira	1,87	1,87	0,00

Outras áreas antropizadas	4,34	3,67	0,66
Área de mineração	4,77	3,90	0,87
Rejeito	0,00	2,48	-
Total	32,69	32,69	2,48

Tabela 2 Áreas estimadas correspondentes ao uso e ocupação do solo e áreas atingidas pelo rejeito, Fonte Os autores, modificado de ESA (2017).

É importante salientar que essa análise se limita à sub-bacia de área de influência imediata, delimitada para o estudo. Sabe-se que após a lama atingir o vale do Ribeirão Ferro Carvão e córregos adjacentes, esta foi em direção ao Rio Paraopeba e à cidade de Brumadinho, atingindo novas áreas e causando outros impactos.

O presente estudo faz uma análise temporal e espacial da área de estudo, levando em consideração o recorte da sub-bacia hidrográfica diretamente afetada pelo rompimento. Além disso, buscou-se entender como a dinâmica e distribuição da lama foi determinada pela organização espacial da bacia hidrográfica, de acordo com sua hipsometria, declividade, drenagem, entre outras características. Isso permitiu a caracterização dos tipos de uso e ocupação dos locais mais vulneráveis ao atingimento pelo fluxo de lama.

6 Conclusão

A partir da compreensão do ordenamento espacial segundo o recorte de sub-bacias para planejamento territorial e análise dos elementos antrópicos, há de ser observado, principalmente, o eixo longitudinal destas unidades para melhor compreensão de suas características e definição quais atividades antrópicas podem ser alocadas, ou mesmo quais os riscos associados a cada atividade.

Atualmente, com as técnicas de sensoriamento remoto é possível caracterizar áreas vulneráveis a um determinado risco, neste caso o rompimento de uma barragem. O acesso a imagens de satélite é gratuito, e é possível a utilização de softwares gratuitos para realizar o mesmo processo aqui apresentado. As imagens já possuem boa resolução temporal, o que se significa a possibilidade de monitoramento de mudanças na cobertura do solo por qualquer usuário que faça uso das tecnologias de geoinformação. Da mesma forma, o acesso a dados topográficos também é gratuito, o que favorece que usuários elaborem modelagens tridimensionais para entenderem o território. Estudos desta natureza são possíveis para qualquer administração pública.

Uma vez modelada a topografia e as condições do fluxo de águas, é necessário entender que a energia da corrida de material é quanto mais impactante quanto maior a declividade, menor o

espaçamento entre cotas e, por consequência, maior a energia de qualquer movimentação de destroços ligados a qualquer possível desastre. Há de se observar e compreender como todos estes elementos que compõem a paisagem e o território se comportam associados, a fim de mitigar situações de vulnerabilidade para o local e evitar tragédias.

Planos Diretores não podem se limitar a ordenar apenas a mancha urbana, pois segundo o Estatuto da Cidade (2010), lei federal, os planos devem ter caráter municipal e cobrirem todo o território do município. Os planos deveriam ter caráter ordenador e estratégico, antecipando potencialidades e controlando vulnerabilidades. Conflitos de interesse precisam ser discutidos e ações de mitigação ou impedimento de incompatibilidades precisam ser pensadas.

Destaca-se uma perspectiva mais ampla, de que a natureza seja tratada como sujeito, ou seja com direito, e não como objeto para ser explorada (Calgaro *et al.*, 2016). Desta maneira as atividades ligadas ao homem devem levar em conta o espaço geográfico que tem maior afinidade para serem alocadas e não como é realizado atualmente, onde primeiro se elabora o projeto e em seguida transforma-se o meio físico para que este se adeque ao empreendimento.

Por fim, nota-se a demanda por atenção para a relação sujeito e natureza no sentido de se considerar que a natureza seja o principal elemento levado em conta quando há uma intervenção humana e não que o objeto determinante seja a atividade a ser desenvolvida pelo homem, como ocorre geralmente.

Referências

- Andrade, T.C.G. 2018. *Impactos socioambientais Decorrentes do rompimento da barragem de fundão No município de barra longa, Minas Gerais* - Dissertação de mestrado, Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Escola de Arquitetura/UFMG. 157p.
- Araujo, C.B. 2006. *Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro. 133p.
- Brasil, Lei N° 12.340, de 1° de Dezembro de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112340.htm. Acesso em: 25 de jul. de 2019.
- Botelho, M.H.C. 1998. *Águas de Chuva: Engenharia das Águas Pluviais nas Cidades*. São Paulo: Edgard Blücher, 2 ed. 237 p.

- Bowles, D.S. 1998. Anderson, L.R. & Glover, T.F. The practice of dam safety risk assessment and management: its roots, its branches, and its fruit. *Uscold Annual Meeting And Lecture*, 18., New York: Buffalo.
- Calgaro, C. Santos & S.A. Gardelin, L.D. 2016 O novo constitucionalismo Latino-Americano e o risco ecológico: a restauração e a reparação do dano ambiental. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, julio-septiembre.
- Carsalade, F.L. 2012. *Mineração em Minas Gerais: território e paisagem cultural*. Belo horizonte.
- Cerri, L.E. da S. & Amaral, C. 1998. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A.M DOS S., BRITO, S.N. (organizadores), *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia), p.301-310.
- Cetem/Mcti. 2014. *Recursos minerais e comunidade: impactos humanos, socioambientais e econômicos*. FERNANDES, Francisco Rego Chaves; ALAMINO, Renata de Carvalho Jimenez; ARAÚJO, Eliane Rocha (Eds.). Rio de Janeiro (RJ), 392 p.
- Costa, H.S.M. 2006. *Mercado imobiliário, Estado e natureza na produção do espaço metropolitano. Novas periferias metropolitanas. A expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no Eixo Sul*. Belo Horizonte: Editora C/ Arte, p. 101-124.
- Duarte, A.P. 2008. *Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de minas gerais em relação ao potencial de risco* - Dissertação de mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, EE/UFMG. 114p.
- Esa 2017 - <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access>>. acesso em: 2 de fev de 2019.
- Faria, D.M.C.P. 2012. *Análises de la capacidad del turismo en el desarrollo económico regional: el caso de Inhotim y Brumadinho*. Tese de doutorado – Universidad de Alicante, Departamento de Análisis Económico Aplicado / Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. Alicante / Belo Horizonte. 362p.
- Fiocruz. Nota técnica Avaliação dos impactos sobre a saúde do desastre da mineração da Vale - Brumadinho, MG. 2019. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/32268/3/Nota_Tecnica_Brumadinho_impacto_Saude_01022019.pdf> Acesso: 3 de jul. 2019.
- Fujimoto, N.S.V.M. 2001. *Análise Ambiental Urbana na Área Metropolitana de Porto Alegre-RS: Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Dilúvio*. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 236p.

- Ibge. 2011. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE.
- Jensen, J.R. 2009. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres*. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador). São José dos Campos, SP: Parêntese, 14: 511-572.
- Jouravlev, A. Los municipios y la gestión de los recursos hídricos. Santiago: CEPAL, 2003. *Recursos Naturales e Infraestructura*, 66.
- Machado, S.A. 2002. *Sensores de alta resolução espacial. Trabalho apresentado à disciplina de Sistemas e Sensores Avançados para Observação da Terra*. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos (SP): Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Machado, M.M.M. 2009. *Construindo a Imagem Geológica do Quadrilátero Ferrífero: conceitos e Representações*. Tese (Doutorado em Geologia). Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 256p.
- Magalhães Jr., A.P. & Alvarenga, J.L. *A política Nacional de Recursos Hídricos e a gestão de conflitos em uma nova territorialidade*. Belo Horizonte, 2005.
- Marcelino, E.V. 2008. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. *Caderno Didático*, 1. INPE/CRS, Santa Maria, 38p.
- Meneses, P.R.; Almeida, T. 2012. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: Editoras UnB - CNPq. 266p.
- Novo, E.M.L.M. 2001. Comportamento espectral da água. In: Paulo Roberto Meneses, José da Silva Madeira Netto. (org.) *Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais*. - Editora UNB, EMBRAPA Cerrados, Brasília.
- Oliveira, G.A.M. 2019. *Identificação de possíveis alvos de rochas ornamentais a partir de classificação supervisionada de imagem de satélite (sentinel-2)* - Monografia, DEMIN/UFMG. 46p.
- Peres, R.B. & Silva, R.S. 2013 Análise das relações entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara, Bauru e São Carlos, SP: avanços e desafios visando a integração de instrumentos de gestão. *Revista Sociedade & Natureza*, 25(2).
- Pires, J.S.R.; Santos, J.E. & Prette, M.E.A. 2002. Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In: SCHIAVETTI, ALEXANDRE; CAMARGO, ANTONIO F. M. (Ed.). *CONCEITOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: Teorias e Aplicações*. Ilhéus: Editus, Cap. 1. p. 17-36.

- Porto, M.F.A. & Lobato, F. 2004. Mechanisms of Water Management: Command & Control and Social Mechanisms. *Revista de Gestion Del'Agua de America Latina*, 2:113-29.
- Ribeiro, R.W. Paisagem cultural e patrimônio. Rio de Janeiro (RJ): IPHAN. 2007, 151 p. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/SerPesDoc1_PaisagemCultural_m.pdf> Acesso em: 10 dez. 2016.
- Santos, A.R.; Peluzio, T.M.O. & Saito, N.S. 2010. SPRING 5.1.2: passo a passo: aplicações práticas. Alegre: CAUFRES, 153p.
- SANTOS, R.F. 2007. *Vulnerabilidade ambiental, desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Org. Rosely Ferreira dos Santos. Brasília (DF), 191p.
- Tonucci Filho, J.B.M. 2012. *Dois momentos do planejamento metropolitano em Belo Horizonte: um estudo das experiências do PAMBEL e do PDDI-RMBH*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 236p.
- Usgs. United States Geological Survey. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 5 de fev. de 2019.

Conclusão Geral do Trabalho

A partir dos três artigos apresentados nesse volume, as seguintes conclusões acerca do ordenamento territorial na visão geológica podem ser estabelecidas.

Esta pesquisa propôs uma aplicação de métodos para o ordenamento territorial, passíveis de serem replicados em diversos outros estudos de caso. Tendo, assim, seu arcabouço metodológico como possível base para o Poder Público de utilizar no futuro em atividades em prol da melhor dinâmica do território.

Deste modo, as abordagens metodológicas utilizadas no trabalho permitem uma análise do território e é passível de identificar suas vocações para o uso humano. Ressaltando-se ainda a possibilidade de acesso aos dados, praticamente todos públicos, nesse trabalho. Uma vez que o estudo se baseia em leis as quais legalizam a condição de que todo município deva conhecer seu próprio território.

Assim, os instrumentos legais de gestão ambiental e do território, sejam planos diretores, zoneamentos, estudos ambientais, devem se adequar as condições físicas do local para melhor desenvolver as atividades antrópicas. A fim de se evitar catástrofes com as outras atividades no local. A aplicação de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para o tratamento de dados mostrou-se eficaz para a construção de cenários e índices para retratar a realidade de cada recorte de estudo apresentado nesta tese. Este processo foi realizado em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os métodos utilizados para o processamento, descritos nesta tese, foram os mais recomendados, devido ao conhecimento prévio de como operavam e, também, de acordo com a disponibilidade de dados para efetuar os modelos finais.

Mesmo que os recortes desta pesquisa apresentem conclusões independentes, em cada respectivo artigo, é possível entender que o pensamento de cada um dos modelos é lógico e que integram o planejamento urbano do qual cada um faz parte. Embora haja esforços no sentido de tornar acessível ao público em geral a informação espacial, ainda há uma trajetória longa a ser percorrida neste sentido, uma vez que, em sua maioria, os dados utilizados são públicos, ainda há um complexo protocolo para manuseio destes dados, pois necessita-se do usuário ter elevado conhecimento em geoprocessamento.

Conclui-se que, o papel do ordenamento territorial cabe, também, ao geólogo como parte na tomada de decisão, uma vez que este profissional é capacitado para conhecer e compreender a superfície terrestre e seu comportamento afim de mitigar os possíveis impactos gerados por atividades

antrópicas e alocar, todas estas atividades, em locais que melhor se adequem a realidade presente no local de estudo.

Isto posto, avaliando-se os recortes escolhidos, as áreas-pilotos, é possível compreender que os métodos (peso por evidência, combinatória e classificação pixel-a-pixel) utilizados foram eficazes e representativos para as questões analisadas. O que permite afirmar os métodos como válidos para este tipo de análise,

Em relação ao IRG foi possível compreender o território do município em análise (Nova Lima/MG) de maneira geral e setorizar o mesmo em áreas variando de baixo a alto risco, para que seja um guia básico no planejamento do município e em seu Plano Diretor. A figura final do índice é de fácil interpretação ao leitor e o mesmo não precisa de todo o conhecimento das ferramentas que levaram até aquela figura, possibilitando maior assertividade nos futuros planos de Uso e Ocupação da região. Além disso, o recorde da utilizado com o Drone tem o objetivo similar ao IRG, porém, em escala de detalhe, o que permite compreender o meio físico e seus detalhes a fim de elaborar o traçado das ruas, os locais de preservação, dentre outras várias da integração do urbano e ambiental. Ressalta-se que a utilização de VANT requer um conhecimento prévio de operação, entretanto não é um serviço oneroso (leia-se: não é caro).

Além destes dois trabalhos, há o terceiro artigo, que teve sua inquietude gerada após o rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, o mesmo gerou a reflexão de qual o motivo o planejamento não é realizado por sub-bacias (hoje em dia é por limites municipais/estaduais/federais), uma vez que a sub-bacia é um divisor natural do meio físico. Desta maneira o recorte de sub-bacia entra em ação, uma vez que este compreende todo um sistema local de integração do homem, suas atividades e o meio ambiente, sendo superior as limítrofes municipais e outros legais. Permitindo, por sua vez, uma compressão e gestão do território de maneira integrada e como parte de um todo. E não somente com um elemento pontual.

A metodologia empregada, demonstra a validade de tratar o meio físico e o urbano de maneira integrada, tanto geral quanto detalhada, de acordo com a necessidade e os problemas a serem tratados e solucionados, sempre, utilizado a natureza do local de estudo como base para o ordenamento do territorial em análise.

Por sua vez, os recortes das áreas são retratos de um período temporal e que, possivelmente, devido ao elevado crescimento urbano na região, serão modificados. Há de se salientar, que os dados presentes nesta tese podem ser utilizados prontamente pelos gestores públicos com o objetivo de qualificar as normas urbanas e identificar a potencialidades e restrições para a ocupação do território.

Por fim, a pesquisa aqui apresentada tem potencial de desdobramento futuros, com grande destaque ao desenvolvimento de uma nova área de atuação para os profissionais da geologia, possibilitando sua participação em equipes multidisciplinares para as tomadas de decisões em prol da melhor decisão da utilidade do terreno em análise. Sendo assim, há de se apropriar do conhecimento geológico em prol direto das tomadas de decisão e do uso e ocupação do solo pelo homem.

Referências Gerais

- ALKMIM, F.F., MARSHAK, S., 1998. Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco Craton, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*. 90, 29–58.
- ALKMIM F.F.; MARTINS-NETO M.A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*. 33:127-139.
- ALKMIM, F.F., NOCE, C.M. 2006. The Paleoproterozoic Record of the São Francisco Craton. IGCP 509 Field workshop, Bahia and Minas Gerais, Brazil. *Field Guide & Abstracts*, 114 p.
- ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S., 1998. Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco Craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence of Paleoproterozoic collision and collapse in Quadrilátero Ferrífero. *Pre-Cambrian Research*, 90: 29-58.
- BALTAZAR, O.F, ZUCCHETTI, M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the settings of gold deposits. *Ore Geology Reviews*, 32: 471-499.
- BRASIL, Lei N° 12.340, de de 1° de Dezembro de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112340.htm. Acesso 25 de Julho de 2018.
- BRASIL, Lei N° 12.608, de 10 de Abril de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acesso 25 de Julho de 2018.
- BATTY, M. Defining geodesign(= GIS + design ?). *Environment and Planning B: Planning and Design* v. 40, n. 1, p. 1–2, 2013. Disponível em: <http://www.envplan.com/abstract.cgi?id=b4001ed>>. Acesso em: 07 set. 2014.
- CASAGRANDE, P.B.; Fonzino, F., Lanfranchi, E., Fonseca, B.M. & Sena, I.S. 2017. Proposta de índice de risco geológico: estudo de caso para o município de Norcia, Itália. XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, Brasil.
- CASSINO L.F., 2014. Distribuição de idades U-Pb de zircões detríticos dos Supergrupos Rios das Velhas e Minas na Serra de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, MG e Implicações para a evolução sedimentar e tectônica. Monografia de conclusão de curso. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, p.52. In: Dutra, L.F. 2017. Caracterização geocronológica U-Th-Pb de zircões detríticos na porção nordeste do sinclinal Gandarela -

- implicações para evolução sedimentar e geotectônica do Quadrilátero Ferrífero. Dissertação de Mestrado. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 99p.
- DORR II, J.V., GAIR, J.E., POMERENE, J.B., RYNEARSON, G.A., 1957. Revisão da estratigrafia précambriana do Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Fomento da Produção Mineral, Avulso, vol. 81 (31 pp)
- DORR II, J. V. N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geological Survey. Professional Paper, 641 -A. 110p.
- DUTRA, L.F. 2017. Caracterização geocronológica U-Th-Pb de zircões detríticos na porção nordeste do sinclinal Gandarela - implicações para evolução sedimentar e geotectônica do Quadrilátero Ferrífero. Dissertação de Mestrado. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 99p.
- FARINA, F., ALBERT, C., LANA, C., 2015. The Neoproterozoic transition between medium- and high-K granitoids: Clues from the Southern São Francisco Craton (Brazil): *Precambrian Research*, v. 266, p.375-394.
- FARINA, F., ALBERT, C., MARTÍNEZ DOPICO, C., AGUILAR Gil, C., MOREIRA, H., HIPPERTT, J.P., CUTT, K., ALKIMIM, F.F., LANA, C. 2016. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brazil): Current models and open questions. *Journal of South American Earth Sciences*, 68: 4-21.
- FONSECA, B. M. Conceitos e práticas de geodesign aplicados ao ordenamento territorial do município de São Gonçalo do Rio Abaixo. 2015, 200 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=314480&idtema=162&search=minas-gerais|nova-lima|produto-interno-bruto-dos-municipios-2014>>. Acesso em 02 set. 2017
- LIMA, VENISSA DE SOUZA. Assinaturas Espectrais de Gossans Associados a Mineralizações de Pb-Zn-Ba na Bacia de Irecê (BA): Um Estudo Baseado em Dados dos Sensores TM e ASTER. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Unicamp. 2003.
- LOCZY, L., LADEIRA, E. A. 1976. *Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica*.
- LONGHITANO, G. A. Vants para Sensoriamento Remoto: Aplicabilidade na Avaliação e Monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes – Geoprocessamento). Escola Politécnica da Unviersidade de São Paulo, São Paulo, 2010

- MACHADO, M. M. M. Construindo a Imagem Geológica do Quadrilátero Ferrífero: Conceitos e Representações, 2009. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.
- MARTINEZ-DOPICO, C.I., LANA, C.C., MOREIRA, H.S., CASSINO, L.F., ALKMIM, F.F. 2017. U-Pb ages and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. *Precambrian Research*, 291: 143-161.
- MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. DE. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília: Editoras UnB - CNPq. 2012. 266p.
- MOURA, A.C.M. 2005. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. 2ª edição. Belo Horizonte: Ed. da autora.
- MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 2899-2906.
- MOURA, A. C. M., TONDELLI, S., MUZZARELLI, A., Complementary web-based geoinformation technology to geodesign practices. Strategic decision-making stages of co-creation in territorial planning. *Environmental and territorial modelling for planning and design*. 2018.
- MOTTA, S. R. F.; MOURA, A.C.M.; RIBEIRO, S. R. 2017. Ampliando do data-driven e knowledge-driven para propor o visual-driven na análise de multicritérios: estudo de caso de modelagem em Grasshopper+Rhino3D. *Revista da Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto*, 69(8): 1521-1535.
- NOCE, C.M., ZUCCHETTI, M., BALTAZAR, O.F., ARMSTRONG, R., DANTAS, E., RINGER, F.E., LOBATO, L.M., 2005. Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the Evolution of the Neoproterozoic Rio das Velhas Greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil): U-Pb zircon dating of volcanoclastic graywackes. *Precambrian Res.* 141, 67–82.
- NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.. Ed. Edgard Blucher Ltda, 3ª Edição, São Paulo, 2008. 363 p.
- PARIZZI, M. G. et al. Mapa de Unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte . Belo Horizonte: RMBH. 2010.
- PORTO, M.F.A. & LOBATO, F. 2004. Mechanisms of Water Management: Command & Control and Social Mechanisms. *Revista de Gestion Del'Agua de America Latina*, 2:113-29.
- RICHARDS, J. A. Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction. Springer-Verlag p. 286, 1986.
- RICHARDS, John A. Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction. Springer-Verlag, p. 286, 1986b.

- ROCHA, A.R.; CASAGRANDE, B.P. & MOURA, A.C.M. 2018. Análise Combinatória e Pesos de Evidência na Produção de Análise de Multicritérios em Modelos de Avaliação. Revista Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Volume Especial:37-61, Argentina.
- RUCHKYS, U. A.. Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais - 1. ed - Campinas, SP : Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2015.
- SOUZA, R. G. V. A Expansão Urbana da Região Metropolitana de Belo Horizonte e suas implicações para a redistribuição espacial da população: a migração dos ricos. In XV Encontro de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambu, Brasil, 2006
- VICHAS, Robert P. Complete Handbook of Profitable Marketing Research Techniques. New Jersey: Englewood Cliffs and Prentice-Hall, 1982.
- ZYNGER, C. M. Paisagens possíveis: geoprocessamento na análise da ação de agentes modeladores das paisagens urbanas dos Bairros Santa Lúcia e Vale do Sereno. 2012 Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura e Design, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.