



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

Arnon Costa Pereira de Lima

**Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas
siliciclásticas: bacia do rio Pandeiros-MG**

Belo Horizonte

2019

Arnon Costa Pereira de Lima

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE VOÇOROCAS EM
DOMÍNIO DE ROCHAS SILICICLÁSTICAS: BACIA DO RIO
PANDEIROS-MG**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geologia.

Área de concentração: Geologia aplicada

Orientador: Prof. Dr. Tiago Amâncio Novo

Coorientadora: Prof. Dra. Cristina Helena
Ribeiro Rocha Augustin

Belo Horizonte
Instituto de Geociências
Universidade Federal de Minas Gerais
2019

L732a Lima, Arnon Costa Pereira de Lima.
2019 Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas [manuscrito] : Bacia do Rio Pandeiros-MG/ Arnon Costa Pereira de Lima – 2019.

xi, 82 f.: il. (principalmente color.)

Orientador: Tiago Amâncio Novo.

Coorientadora: Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2019.

Área de concentração: Geologia Aplicada.

Inclui bibliografia.

1. Geologia – Minas Gerais – Teses. 2. Voçorocas – Minas Gerais – Teses. 3. Geomorfologia – Teses. 4. Estatística – Análise – Teses. I. Novo, Tiago Amâncio. II. Augustin, Cristina Helena Ribeiro Rocha. III Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 55(815.1)

Ficha catalográfica elaborada por Graciane Aparecida de Paula – CRB6 3404



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



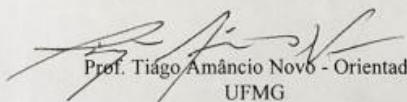
FOLHA DE APROVAÇÃO

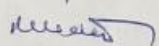
Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas: bacia do rio Pandeiros-MG

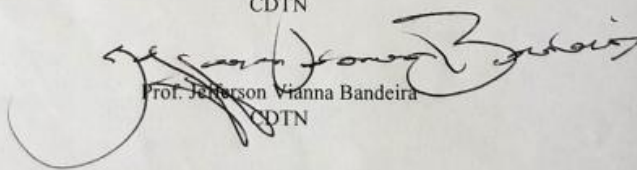
ARNON COSTA PEREIRA DE LIMA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA.

Aprovada em 02 de maio de 2019, pela banca constituída pelos membros:


Prof. Tiago Amâncio Novó - Orientador
UFMG


Prof. Rubens Martins Moreira
CDTN


Prof. Jefferson Vianna Bandeira
CDTN

Belo Horizonte, 2 de maio de 2019.

Resumo

A erosão acelerada, em geral associada à perda intensa de sedimentos para os sistemas de drenagem, constitui importante tópico das geociências. Essa pesquisa tem como objetivo entender melhor os fatores relativos às vertentes e suas geocoberturas que possam estar associados à sua predisposição em desenvolver voçorocas. Ela foi conduzida a partir da análise sobre características das vertentes com voçorocamento, e o comportamento dos materiais subsuperficiais que dela fazem parte, na bacia do rio Pandeiros, norte de Minas Gerais, Brasil. Essa bacia possui significativa importância regional devido à ocorrência de um pântano em seu baixo curso, viveiro de várias espécies de peixes, de fundamental importância para a manutenção do ecossistema do médio curso do rio São Francisco. A ocorrência de voçorocas na bacia (215) contribui para o assoreamento do pantanal e para a crescente vulnerabilidade ambiental da área, levando em conta a grande quantidade de sedimentos produzidos. Busca-se, com o levantamento das características físicas e químicas das geocoberturas dessas vertentes uma melhor compreensão de como esse material facilita ou dificulta o voçorocamento. O trabalho tem também como objetivo propor uma abordagem metodológica para otimizar as amostragens realizadas nas vertentes onde estas voçorocas ocorrem. Para isto, foram realizadas medidas de inclinação das vertentes e identificação de sítios geomorfológicos, bem como a coleta de amostras das geocoberturas, as quais foram submetidas à análises físico e químicas em laboratório. Os resultados permitiram demonstrar que há um controle morfológico na distribuição das voçorocas estudadas, limitadas por rupturas de declive que atingem toda a bacia. O tratamento estatístico dos dados, com a utilização de correlação de Pearson (r^2), possibilitou melhor entendimento dos principais atributos das geocoberturas que influenciam cada vertente, permitindo identificar as principais características de cada uma delas e as suas relações de homogeneidade, revelando a ocorrência de agrupamentos das vertentes baseada em dados geomorfológicos e geológicos. A Análise de Componentes Principais tornou possível comparar as cinco vertentes estudadas demonstrando que são diferentes quanto aos parâmetros de geocoberturas investigados.

Palavras chave: Voçoroca, fatores geológicos, geomorfológicos, análise estatística, Bacia do Rio Pandeiros.

Abstract

Accelerated erosion often associated with severe sediment loss to drainage systems, is an important topic of geosciences. This research aims to achieve better understanding of the slope characteristics including the upper part of the regolith, here denominated geocovers, may be associated with their predisposition to gullies development. It was conducted at the Pandeiros River basin, northern Minas Gerais, Brazil, which has a significant regional importance due to the occurrence of a swamp in its low course, a nursery of several fish species, of fundamental importance for the maintenance of the ecosystem of the middle course of the São Francisco river. The occurrence of gully processes contributes to the siltation of this wetland and to the increasing environmental vulnerability of the area, taking into account the large amount of this type of erosion in the basin (215). The work also aims to propose a methodological approach to optimize the sampling performed in slopes where these gullies occur. For this, slope inclination measurements and identification of geomorphological sites were carried out, as well as the collection of samples of geocovers which were submitted in the laboratory to physical and chemical analysis. Results show that there is a morphological control in the distribution of the studied gullies, limited by slope breaks that reach the whole basin. The statistical treatment of the data, using Pearson's correlation (r^2), gives a better understanding of the main attributes of the geocovers that influence each slope, allowing identifying the main characteristics of each of them and their homogeneity relations, revealing the occurrence of slope groupings based on geomorphological- geological data. The Principal Component Analysis made it possible to compare the five studied slopes with gully occurrence demonstrating that they are different regarding to the investigated geocovers parameters.

Keywords: Gully, geomorphological and geological factors, statistical analysis, Pandeiros River Basin.

Sumário

Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xi
1. Introdução	1
1.1 Considerações iniciais	1
Referências Bibliográficas	4
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E métodos E TÉCNICAS	10
2.1 Caracterização da área de estudo.	10
2.2 Métodos e Técnicas	11
2.2.1 Etapa Pré-campo	11
2.2.2 Etapa de Campo	12
2.2.2.1 Transectos Longitudinais e a identificação de Sítios Geomorfológicos	12
2.2.2.2 Coleta de amostras de geocobertura.	14
2.3 Etapa Pós-Campo	14
2.3.1 Análises laboratoriais	14
2.3.1.1 Análises físicas	14
2.3.1.2 Análises químicas	15
pH	15
Condutividade elétrica	17
Carbono orgânico (CO)	17
Matéria Orgânica (MO)	18
Macronutrientes	19
Potássio (K⁺) e sódio (Na⁺) trocáveis	19
Magnésio (Mg²⁺) e Cálcio (Ca²⁺)	20

Análise dos óxidos TiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ por extração sulfúrica.	21
TiO₂	22
Fe₂O₃	23
Al₂O₃	23
2.3.2 Análises Estatísticas	24
2.3.2.1 Análise de correlação de Pearson	24
2.3.2.2 P-valor	25
2.3.2.3 Análise de Componentes Principais (ACP)	26
Referências Bibliográficas	30
3.	35
3.1 Introdução	33
3.2 Materiais e Métodos	35
3.3 Resultados e discussões	38
3.3.1 Considerações Finais	41
3.4 Referências Bibliográficas	42
Referências Bibliográficas	42
4. Artigo submetido a revista “pesquisas em geociências”	45
4.1 INTRODUÇÃO	47
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.2.1 Localização e características da área	48
4.2.2 Métodos e Técnicas	50
4.2.2.1 Procedimentos Preliminares	50
4.2.2.2 Amostragem	51
4.2.2.3 Análises laboratoriais	54
4.2.2.4 Tratamento Estatístico	55
4.3 RESULTADOS	56

4.3.1 Teste de Correlação de Pearson (r) / P-Valor.	56
4.3.2. Análise dos Componentes Principais (ACP)	59
4.4 Discussão dos resultados	63
4.4.1. Análise dos dados de correlação de Pearson	63
4.4.2. Análise dos Componentes Principais	64
4.5 Conclusão	65
Considerações finais	66
Agradecimentos e entidades financiadoras	67
Referências Bibliográficas	68
Apêndice A	73
Apêndice A	76
Apêndice B	78

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da bacia do rio Pandeiros.	11
Figura 2 - Imagem ilustrando a construção dos transecto adaptado de www.geojurista.files.wordpress.com	13
Figura 3 - Esquema de separação de sítios geomorfológicos, adaptado de www.geojurista.files.wordpress.com	13
Figura 4 - P-valor nos casos em que temos um teste de hipóteses bilateral com rejeição da hipótese nula e sem rejeição da hipótese nula. Fonte: PORTAL ACTION.	25
Figura 5 - Mapa de drenagem e localização da bacia do rio Pandeiros. Elaborado pelos autores.	36
Figura 6 - Mapa geológico da bacia do rio Pandeiros, construído a partir dos mapas geológicos 1:100.000 da CODEMIG, (NQdi)- Depósitos aluvionáres, (Q2a)- Depósitos aluvionáres, (NQec)-Cobertura Eluvio Coluvionar, (K2usa)-Formação Serra das Araras, (K2up)- Formação Posse, (NP2sl)- Formação Sete Lagoas, (NP2sls)-Formação Sete Lagoas membro Lagoa Santa, (NP2Spl)-Formação Sete Lagoas membro Pedro Leopoldo, (A3j)- Complexo Januária.	37
Figura 7 - Mapas utilizados para uma melhor compreensão da bacia: A- Índice de Concentração de Rugosidade e B - Índice de Hack. Fonte: Oliveira et al. (2017).	38
Figura 8 - A) Voçorocas mapeadas e agrupadas em cinco grupos, B) Regiões onde os agrupamentos ocorrem, indicando a representatividade das voçorocas escolhidas para amostragem de campo. Elaborado pelo Autores.	39
Figura 9 - Mapa hipsométrico da região da bacia do Rio Pandeiros.	40
Figura 10 - Perfil longitudinal da bacia do rio Pandeiros.	40
Figura 11 - Mapa de compartimentação geomorfológica da bacia do rio Pandeiros, adaptado de Oliveira et al., (2017).	41
Figura 12 - Localização da bacia do rio Pandeiros, e áreas amostrais.	49
Figura 13 - Localização das vertentes/voçorocas de estudo	51
Figura 14 - vertente/voçoroca denominada de Cabeceirinhas, amostrada em perfil do topo para a base de uma das voçorocas presentes na meia/baixa vertente.).	52
Figura 15 - Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Campo ao longo de uma das três voçorocas que ocorrem na meia/baixa vertente, unidas por um tronco comum.).	52
Figura 16 - Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Igrejinha, voçoroca profunda e muito ativa.	53
Figura 17 - Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Mandim , na baixa vertente com voçorocas em estágios diferenciados de incisão ao rio Mandim.	53
Figura 18 - Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Várzea, localizada na baixa vertente, conecta-se diretamente com um canal fluvial. O perfil foi como no caso das demais, realizado do topo até a base da forma erosiva.	54
Figura 19 - O screeplot dos autovalores dos componentes principais	60
Figura 20 - Biplot CP1 × CP2 sobre as variáveis físicas e químicas das geocoberturas estudadas.	61
Figura 21 - Triplot CP1 × CP2 x CP3 sobre as variáveis físicas e químicas das geocoberturas estudadas. As cores são: Cabeceirinhas- amarelo escuro, Campos - azul claro, Igrejinha - Verde escuro, Mandim - Amarelo claro, Várzea- Azul escuro.	62

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Enquadramentos físico-químicos dos solos como pré-requisitos para utilização da metodologia da pipeta. Adaptada de Donagema et al. (2017)	15
Tabela 2 - Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Cabeceirinhas.	55
Tabela 3 - Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Campos	56
Tabela 4 – Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Igrejinha.	57
Tabela 5 - Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Mandim	57
Tabela 6 - - Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Várzea.	58
Tabela 7 - Coeficientes de correlações dos parâmetros de geocobertura, com os 3 primeiros autovalores da análise de componentes principais.	59

1. INTRODUÇÃO

Este volume consiste na apresentação e discussão dos resultados de pesquisa desenvolvida no âmbito do mestrado do Programa de Pós-graduação de Geologia do Instituto de Geociências, da Universidade Federal de Minas Gerais. Ela foi realizada no período de março de 2017 a maio de 2019, com bolsa financiada pela CAPES. Os trabalhos de campo e despesas laboratoriais foram custeados pelo projeto “Pesquisa Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros-MG” (CRA-APQ-03773-14), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

1.1 Considerações iniciais

O voçorocamento assola várias regiões da Terra, motivo pelo qual é objeto de estudos desde meados do século passado (IRELAND, SHAPE, EARGLE, 1939; F.AO, 1965; YOUNG, 1972; DE PLOEY, 1989; HARVEY *et al.*, 1985; BOCCO, 1991; BULL e KIRKBY; POESEN *et al.*, 2003; VALENTIN *et al.*, 2005), respondendo, atualmente, segundo Castillo e Gómez (2016, p. 300), “por aproximadamente 10% de todas as pesquisas de erosão do solo”. No Brasil, as primeiras publicações específicas aparecem a partir da década de 50 (PICHLER, 1953; PETIT e BOUGET, 1965) e os estudos mais sistematizados, a partir da década de 70 (FIORI e SOARES, 1976; COELHO NETO, FERNANDES e DEUS, 1988; AUGUSTIN, 1995; BACELLAR, 2000; ARANHA, 2002, AUGUSTIN e ARANHA, 2006a, 2006b).

Há ainda inúmeros trabalhos de caráter pedológico e agrônomo, com ênfase na análise das propriedades químicas e físicas do solo. Tal interpretação auxilia na compreensão da dinâmica de formação e evolução dos processos de erosão acelerada concentrada (GUERRA, 1991, 1996; VITTE e DE MELLO, 2007; POESEN, 2011), que são normalmente atrelados aos aspectos de degradação e perda da capacidade de solo em produzir alimentos (FAO, 1965; KAKEMBO *et al.*, 2009; CASTILLO e GÓMEZ, 2016).

Voçorocas são feições resultantes de processos erosivos complexos, incluindo os de transferência gravitacional, que levam a uma grande movimentação de sedimentos nas vertentes, que eventualmente, atingem os canais fluviais (AUGUSTIN, 1995; AUGUSTIN e ARANHA, 2006). Além da perda de solo para a agricultura, e da base para edificações, a erosão acelerada causa perdas significativas do ponto de vista econômico. (MONTGOMERY, 1994; NYSSSEN *et al.* 2002; NAGASAKA, *et al.*, 2005; HANCOK e

EVANS, 2006; SVORAY e MARKOVITCH, 2009). Ainda como efeito, a chegada de sedimentos aos canais fluviais pode ocasionar assoreamento e a perda de condições de manutenção de ecossistemas e das populações ribeirinhas, que dependem diretamente de rio para sobreviverem, gerando fortes impactos socioambientais (GOMÉZ *et al.*, 2003).

Por se tratar de um processo erosivo complexo, o voçorocamento possui inúmeros mecanismos de atuação, como é o caso do *seepage* (ZHENG *et al.*, 2009), dos solapamentos (*sapping*), os *piping* e *tunnelings* (HADLEY e ROLFE, 1955; JONES, 1971, 1981, 1997a, 1997b; CROUCH, 1976, 1983; DARDIS e BECKHAHL, 1988; AUGUSTIN, 1995; GUTIERREZ *et al.*, 1997; AUGUSTIN e ARANHA, 2006a, 2006b), bem como os movimentos gravitacionais (AUGUSTIN, 1995; ZINCK, *et al.*, 2001).

De acordo com Augustin (1995), Bacellar (2000), Aranha (2002), Augustin e Aranha (2006a, 2006b) e Sidorchuk (2006), o voçorocamento é condicionado pela perda do equilíbrio da vertente, isto é, ocorrem quando os condicionantes erosivos se sobrepõem aos da pedogênese. Esses condicionantes estão associados às características da geologia, do clima e da vertente, que afetam a distribuição dos fluxos de energia na superfície e subsuperfície, assim como na composição das geocoberturas e cobertura vegetal (YOUNG, 1972; VITTE e DE MELLO, 2007). A abordagem defendida pelos autores acima, vem ao encontro do estudo proposto por Moreira (1992), que aborda o voçorocamento como sendo decorrente da atuação de vários processos, tais como: (i) erosão hídrica superficial, (ii) subsuperficial e (iii) movimentos de massa, não se restringindo aos aspectos e características dos impactos antrópicos.

Para vários estudiosos do processo, há uma relação direta entre o voçorocamento e as características do escoamento superficial e do solo (LOPES e GUERRA, 2001; KIRKBY e BRACKEN, 2009; KNAPEN e POESEN, 2010; POESEN *et al.*, 2003). Outros autores ressaltam a ação antrópica como responsável pela formação de voçorocas (KOSMAS, *et al.*, 2002; KAKEMBO e ROWNTREE, 2003; KEAY-BRIGHT e BORDMAN, 2006, 2007; COSTA e BACELLAR, 2007; VANACKER, *et al.*, 2009). Todavia, como apontado por Gutiérrez *et al.* (2011), se faz necessária melhor compreensão da gênese e dinâmica do voçorocamento, bem como da análise antrópica do processo, que podem agir em conjunto ou separadamente, causando maior propensão de uma vertente

para a ocorrência e desenvolvimento de voçorocas (AUGUSTIN, 1995; BACELLAR, 2000; AUGUSTIN, ARANHA, 2006b).

Segundo Crouch e Blong (1989) as maneiras como o voçorocamento ocorrem são modificadas pela ação da água e pela gravidade, produzindo respostas diferentes dependendo das características físicas e químicas das geocoberturas, o que lhes confere grande dinamismo. Young (1972), por sua vez, ressalta a importância de que ao analisar os perfis de topossequências na vertente, é possível inferir quais os principais processos de modelagem passados e presentes na vertente, sendo também de suma importância para compreender a relação entre as geocoberturas superficiais e o seu contexto geomorfológico. Isso, porque, em geral, as vertentes apresentam indícios de processos ocorridos no passado e quais elementos estão associados ao desenvolvimento da sua forma, incluindo os voçorocamentos (YOUNG, 1972; AUGUSTIN 1979). Para melhor compreensão da dinâmica da vertente e de suas geocoberturas se faz necessária o estudo das suas propriedades físicas e químicas em laboratório (DANIELS e HAMMER, 1992). Dentre tais propriedades, ressalta-se a granulometria, fundamental para o entendimento do material e seu comportamento hidrogeomorfológico, a determinação de características químicas de matéria orgânica, saturação de bases, dentre outros atributos físico-químicos. Possibilitando dessa forma, um aprofundamento na compreensão das propriedades e do histórico evolutivo da encosta (AUGUSTIN, 1995; MARTINS *et al.*, 2013). Desse modo, a compreensão da dinâmica geomorfológica da área de estudo contribui para a investigação da gênese e evolução das voçorocas, permitindo uma análise mais precisa dos fatores que condicionam e favorecem seus processos tanto na superfície, quanto na subsuperfície.

O mesmo é defendido por Augustin, (1979, 1995) e Martins *et al.*, (2013), uma vez que, em função de sua alta complexidade, o voçorocamento depende de uma grande variedade de fatores de ordem natural e antrópica. O estudo da erodibilidade das geocoberturas e sua suscetibilidade à erosão exigem o conhecimento detalhado das características das vertentes e dos seus materiais da geocobertura (BACELLAR, 2000; AUGUSTIN e ARANHA, 2006b). Para entender tais processos se faz necessário compreender também a relação entre as geocoberturas superficiais e o seu contexto geomorfológico, com uma abordagem nos estudos das vertentes e nos materiais do seu regolito, e ou das geocoberturas (STOCKING, 1972; AUGUSTIN, 1979, 1995; MORGAN, 1983; BOARDMAN, 1990; DANIELS e HAMMER, 1992; BOARDMAN *et al.*, 1996; MARTINS *et al.*, 2013).

O presente trabalho tem como área de estudo a bacia do Rio Pandeiros, local com um significativo número de voçorocas, que causam o assoreamento de grande parte da bacia (CETEC, 1981). Foram identificadas e mapeadas 215 voçorocas a partir do uso de imagens SIG e fotografias aéreas (LIMA *et al.*, 2019). Com base na análise das imagens da bacia, é possível inferir que há impacto no assoreamento da mesma, em especial, no baixo curso do Rio Pandeiros, onde existe uma zona úmida conhecida como Pantanal Mineiro, responsável por cerca de 70% da reprodução de peixes no médio São Francisco (CETEC, 1981, BETHONICO, 2009a, 2009b, FROTA, 2013).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral, analisar os fatores associados à ocorrência e distribuição espacial das voçorocas nessa bacia. Como objetivos específicos busca-se quantificar as semelhanças existentes entre as voçorocas estudadas, com base na caracterização das suas vertentes, a partir de parâmetros físico-químicos das geocoberturas.

A dissertação encontra-se estruturada na forma de 4 capítulos:

Capítulo 1. Introdução à temática de geocoberturas e voçorocamento,

Capítulo 2. Apresentação de um guia metodológico dos diversos estágios analíticos adotados.

Capítulo 3. A primeira publicação que compõe a dissertação, um resumo expandido publicado no “*XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*”, realizado em Fortaleza, de 11 a 15 de junho de 2019, intitulado “***Distribuição Espacial de Voçorocas e sua Relação com o Relevo em Escala de Bacia para Fins de Amostragem: Rio Pandeiros-MG***”.

Capítulo 4. Um artigo abordando o tema principal desenvolvido durante o curso de mestrado sob a forma de manuscrito intitulado “***Estatística aplicada às análises das geocoberturas de vertentes com voçorocamento: bacia do rio Pandeiros-MG***”, submetido à revista “*PESQUISAS EM GEOCIÊNCIAS* em 02 de fevereiro de 2019.

Gostaria, ainda, de agradecer ao meu orientador e coorientadora pelo aprendizado ao longo do processo, bem como a Capes, pela bolsa de mestrado concedida, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FUNDEP) pelo apoio financeiro à pesquisa, bem como ao Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, que me deu a base para o desenvolvimento deste trabalho, bem como de outros que deverão surgir em meu percurso profissional.

Referências Bibliográficas

- ARANHA, P.R.A. **Estudo das Coberturas Superficiais e sua Dinâmica na Região de Gouveia, Serra do Espinhaço, MG: Utilizando o Radar de Penetração no Solo (GPR)**. Tese de doutorado, Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 305p. 2002.
- AUGUSTIN, C.H.R.R. **A preliminary integrated survey of the natural resources near Alcantarilla, Southeast Spain**. MSc Thesis. Geography Department, University of Sheffield, UK, 328p. 1979.
- AUGUSTIN, C.H.R.R. **Geoökologische Studien im südlichen Espinhaçogebirge bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien unter besonder Berücksichtigung der Landschaftsentwicklung**. Tese de Doutorado. Johann Wolfgang Goethe Universität, Frankfurt a.m.. Germany, 294p.1995.
- AUGUSTIN, C.H.R.R., ARANHA, P.R.A. A ocorrência de voçorocas em Gouveia, MG: Características e processos associados. **Geonomos**, v.14, n.1, p.75-86, 2006A.
- AUGUSTIN, C.H.R.R., ARANHA, P.R.A. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.7, n.1, p.09-18. 2006b.
- BACELLAR, L.A.P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG**. Tese Doutorado em Geologia. Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 226p. 2000.
- BETHONICO, M.B.M. **Área de proteção ambiental estadual do rio Pandeiros-MG: espaço, território e atores**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 288p. 2009a.
- BETHONICO, M.B.M. Rio Pandeiros: território e história de uma área de proteção ambiental no norte de Minas Gerais. **Revista Acta Geográfica**, v.3, n.5, p.23-38. 2009b.
- BOARDMAN, J. Soil erosion on the South Downs: a review. In: **Soil erosion on agricultural land. Proceedings of a workshop sponsored by the British Geomorphological Research Group, Coventry, UK, January 1989**. John Wiley & Sons Ltd., 1990, p. 87-105.
- BOARDMAN, J., BURT, T. P., EVANS, R., SLATTERY, M. C., SHUTTLEWORTH, H. Soil erosion and flooding as a result of a summer thunderstorm in Oxfordshire and Berkshire, May 1993. **Applied Geography**, v. 16, n. 1, p. 21-34, 1996.

- BOCCO, G. Gully erosion: processes and models. **Progress in Physical Geography**, v.15, n 4, p. 392-406, 1991.
- BULL, L.J., KIRKBY, M.J., Gully processes and modelling. **Progress in Physical Geography**, v.21, n.3, p 354-374, 1997.
- CASTILLO, C., GÓMEZ, J.A. A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches. **Earth-Science Reviews**, v. 160, p. 300-319, 2016.
- COELHO NETO A., FERNANDES N.F., DEUS C.E. Gullying in southeastern Brazilian Plateau, Bananal, SP. In: **Anais Proceedings of the Porto Alegre Symposium of Sediments Budgets**, 174, p. 35-42, 1988.
- COSTA, F.M., BACELLAR, L.A.P. Analysis of the influence of gully erosion in the flow pattern of catchment streams, Southeastern Brazil. **Catena**, v. 69, n. 3, p. 230-238, 2007.
- CROUCH, R. J. Field tunnel erosion-a review. **Journal of the Soil Conservation Service of New South Wales**, v.32, p.99-111, 1976.
- CROUCH, R.J., BLONG, R. J. Gully sidewall classification-methods and applications. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, v. 33, n. 3, p. 291-305, 1989.
- CROUCH, R.S. The role of tunnel erosion in gully head progression. **Journal of Soil Conservation New South Wales**, v.30 n.2, p.145-155, 1983.
- DANIELS, R.B., HAMMER, R.D. **Soil Geomorphology**. Nova York, John Wiley and sons, 1992. 216p.
- DARDIS, G.F., BECKEDAHL, H.R. Drainage evolution in an ephemeral soil pipe-gully system, Transkei, southern Africa. **Geomorphological Studies in Southern Africa**. Rotterdam, Balkema, p. 247-265, 1988.
- DE PLOEY, J. A model for headcut retreat in hills and gullies. In: Yair & Berkowicz (eds), Arid and semiarid environments. Geomorphological and pedological aspects. **Catena Supplement Bd**, 14, p. 81-86, 1989.
- F.A.O. **Soil Erosion by Water: Some Measures for its Control on Cultivated Lands**. FAO/UNESCO, Rome. 1965.
- FIORI, L., SOARES, A. Aspectos relativos das voçorocas. **Noticias Geomorfológicas**, v.16, n.32, p. 40-48, Campinas 1976.
- FROTA, R.C. **Influência da política pública ambiental como promotora do desenvolvimento: a experiência do projeto de desenvolvimento sustentável do Pandeiros, município de Januária –**

MG. Tese doutorado. Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 238p. 2013.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **2º Plano de desenvolvimento integrado do Noroeste Mineiro: recursos naturais.** Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, CETEC, segunda edição, Belo Horizonte, FINEP, 359p. 1981.

GOMEZ, B., BANBURY, K., MARDEN, M., TRUSTRUM, N.A., PEACOCK, D.H., HOSKIN, P.J. Gully erosion and sediment production: Te Weraroa Stream, New Zealand. **Water Resources Research**, v. 39, n. 7, 2003.

GUERRA, A.J.T. **Soil characteristics and erosion, with particular reference to organic matter content.** Tese de Doutorado, Universidade de Londres. 441p, 1991.

GUERRA, A.J.T., BOTELHO, R.G.M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 19, p. 93-114, 1996.

GUTIÉRREZ, A.G., SCHNABEL, S., CONTADOR, F.L., GARCÍA, A.J. The origin and development of a valley bottom gully in a small rangeland catchment: influences of land use in the growth model. **Landform Analysis**, v. 17, p. 65-70, 2011.

GUTIERREZ, M., SANCHO, C., BENITO, G., SIRVENT, J., DESIR, G. Quantitative study of piping processes in badland areas of the Ebro Basin, NE Spain. **Geomorphology**, v.20, p. 237-253. 1997.

HANCOCK, G.R., EVANS, K.G. Gully position, characteristics and geomorphic thresholds in an undisturbed catchment in Northern Australia. **Hydrological Processes**, v. 20, n° 14, p. 2935-2951, 2006.

HARVEY, M.D., WATSON, C.C., SCHUMM, S.A. **Gully erosion.** USDI Bureau of Land Management Tech. Note 366. Bldg. 50, Federal Center. Denver 80225, 181p, 1985.

IRELAND, H.A., SHARPE, C.F.S., EARGLE, D.H., **Principles of gully erosion in the Piedmont of South Carolina.** U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin, v. 631. 142 p. 1939.

JONES, J.A.A. Soil piping and stream channel initiation. **Water Resource Resesearch**, v. 7, n. 3, p. 602-610, 1971.

JONES, J.A.A. Pipeflow contributing areas and runoff response. **Hydrological Processes**, v. 11, n. 1, p. 35-41, 1997.

JONES, J.A.A. The nature of soil piping-a review of research. **BGRG research monograph**, 1981.

- KAKEMBO, V., ROWNTREE, K.M. The relationship between land use and soil erosion in the communal lands near Peddie Town, Eastern Cape, South Africa. **Land Degradation & Development**, v. 14, n. 1, p. 39–49, 2003.
- KAKEMBO, V., XANGA, W.W., ROWNTREE, K. Topographic thresholds in gully development on the hillslopes of Ngqushwa communal areas in Local Municipality, Eastern Cape, South Africa. **Geomorphology**, v. 110, n. 3-4, p.188-194, 2009.
- KEAY-BRIGHT, J., BOARDMAN, J. Changes in the distribution of degraded land over time in the central Karoo, South Africa. **Catena**, v. 1, n. 67, p.1-14, 2006.
- KEAY- BRIGHT, J, BOARDMAN, J. The influence of land management on soil erosion in the Sneeuberg Mountains, Central Karoo, South Africa. **Land degradation & development**, v. 18, n. 4, p.423-439, 2007.
- KIRKBY, M.J., BRACKEN, L.J., Gully processes and gully dynamics. **Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group**, v. 34, n. 14, p.1841-1851, 2009.
- KNAPEN, A., POESEN, J. Soil erosion resistance effects on rill and gully initiation points and dimensions. **Earth Surface Processes and Landforms, : The Journal of the British Geomorphological Research Group**, v. 35, n. 2, p. 217-228, 2010.
- KOSMAS, C, DANALATOS, N.G., LÓPEZ-BERMÚDEZ, F., ROMERO DIAZ, M.A. The effect of land use on soil erosion and land degradation under Mediterranean conditions. *In*: Geeson, N.A., Brandt, C.J., Thornes, J.B. (Eds.), **Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses**. Chichester: Wiley, p. 57–70, 2002.
- LIMA, C.P., AUGUSTIN, C.H.R.R, OLIVEIRA, D.A. **Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: rio Pandeiros-MG**. Resumo aceito pelo XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Fortaleza, 11 a 15 de Junho de 2019. 2019.
- LOPES, S.L, GUERRA, A., J.T. Monitoramento de voçorocas por satélites GPS em áreas de areia quartzosa podzolizada: Praia Mole, Florianópolis-SC. *In*. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, Goiânia-GO, v. 1, n 1, p. 106. 2001.
- MARTINS, R.M, AMORIM, M.A.F., AUGUSTIN, C.H.R.R., AZEVEDO, P.A.A. Relação entre forma da vertente, cobertura superficial e sítios geomorfológicos na bacia do ribeirão do Chiqueiro, Depressão de Gouveia, Serra do Espinhaço Meridional – MG. **Geonomos**, v. 21, n° 2, p. 38-45, 2013.

- MONTGOMERY, D.R. Road surface drainage, channel initiation, and slope instability. **Water Resources Research**, v. 30, n. 6, p. 1925-1932, 1994.
- MOREIRA, C.V.R. **Fatores condicionantes das voçorocas na sub-bacia do rio Santo Antonio, bacia do Rio Grande-MG**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 163p. 1992.
- MORGAN, C. The non- independence of rainfall erosivity and soil erodibility. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 8, n. 4, p.323-338, 1983.
- NAGASAKA, A., YANAI, S., SATO, H.E, HASEGAWA, S. Soil erosion and gully growth associated with cultivation in southwestern Hokkaido, Japan. **Ecological Engineering**, v. 24, n. 5, p.503-508, 2005.
- NYSSSEN, J., POESEN J, MOEYERSONS, J., LUYTEN, E., VEYRET-PICOT, M., DECKERS, J., HAILE, M. GOVERS, G. Impact of road building on gully erosion risk: a case study from the northern Ethiopian highlands. **Earth Surface Processes and Landforms, : The Journal of the British Geomorphological Research Group**, v. 27, n. 12, p. 1267-1283, 2002.
- PETIT, M., BOURGEAT, F. Etude morphologique du bassin versant de la Tafaina. **Centre de Madagascar**, n. 2, 1965.
- PICHLER, E. Boçorocas. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 2, n.1, p.3-16, 1953.
- POESEN, J. Challenges in gully erosion research. **Landform Analysis**, v. 17, p 5–9, 2011.
- POESEN, J., NACHTERGALE, J., VERTSTRAETEN, G., VALENTIN, C. Gully erosion and environmental change. Importance and research needs. **Catena**, v. 50, n° 2-4, p. 91-134, 2003.
- SIDORCHUK, A. Stages in gully evolution and self- organized criticality. **Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group**, v. 31, n. 11, p.1329-1344, 2006.
- STOCKING, M.A. Relief analysis and soil erosion in Rhodesia using multivariate techniques. **Zeitschrift fur Geomorphologie NF**, v. 16, p.432-443, 1972.
- SVORAY, T., MARKOVITCH, H. Catchment scale analysis of the effect of topography, tillage direction and unpaved roads on ephemeral gully incision. **Earth Surface Processes and Landforms,: The Journal of the British Geomorphological Research Group**, v. 34, n. 14, p.1970-1984, 2009
- VALENTIN, C., POESEN, J., LI, YONG. Gully erosion: Impacts, factors and control. **Catena**, v. 63, p.132–153, 2005.

- VANACKER, V., MOLINA, A., GOVERS, G., POESEN, J., DECKERS, J. Spatial variation of suspended sediment concentrations in a tropical Andean river system: The Paute River, southern Ecuador. **Geomorphology**, v. 87, n. 1-2, p.53-67, 2007.
- VITTE, A.C., DE MELLO, J.P. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. **CLIMEP- Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 2, p.27, 2007.
- YOUNG A. **Slopes**. Londres: Logman. 160p. 1972.
- ZHENG, F, HUANG, C., ROMKENS, M. Ephemeral gully erosion research at the Loess Plateau of China." Paper presented at the **Annual Meeting of the Soil and Water Conservation Society**, Saddlebrook Resort, Tampa, Florida, USA http://www.allacademic.com/meta/p202367_index.html, 2009.
- ZINCK, J.A, LÓPEZB J., METTERNICHTC G.I., SHRESTHAA D.P., VÁZQUEZ-SELEMD LMapping and modelling mass movements and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 3, n.1, p.43-53, 2001.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E MÉTODOS E TÉCNICAS

2.1 Caracterização da área de estudo.

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Pandeiros, localizada no Norte de Minas Gerais, cujo baixo curso faz parte da Área de Preservação Ambiental – APA criada através da Lei estadual 11.901 de 01/09/1995, abrangendo os Municípios de Bonito de Minas, Januária e Cônego Marinho. A bacia se estende entre as coordenadas 15° 0' 00" S até 15° 43' 00" S e 44° 30' 00" O e 45° 28' 00" O, totalizando 3.960,37 km² (Fig.1).

A vegetação da região é formada por espécies de transição entre cerrado e caatinga e suas variações (IBGE, 2004a, 2004b), biomas marcados pelo déficit hídrico significativo em parte do ano hidrológico da estação seca, correspondente ao inverno. Ele é classificado como Aw, segundo a classificação de Köppen, ou seja, tropical quente, com uma precipitação média anual de 826,5mm e déficit hídrico concentrado entre abril e setembro, com temperatura média de 24,2°C (De Moura & Jardim, 2017).

Sua rede de drenagem está associada regionalmente à retração da escarpa do Chapadão Central, constituído de rochas dos Grupos Urucuia e Bambuí. A área é formada predominantemente por depósitos terciário-quaternários e rochas cretáceas do Grupo Urucuia, da bacia sedimentar Sanfranciscana, bem como por rochas do Grupo Bambuí Neoproterozóico, e do embasamento cristalino (complexo Januária). A paisagem formada de planaltos esculpidos em arenitos do grupo Urucuia, especialmente reduzidos, superpostos a rochas carbonáticas e metapelíticas do Grupo Bambuí, com afloramentos localizados de rochas granito ganáissicas (Augustin *et al.*, 2019), que afloram nos fundos dos vales de afluentes na margem esquerda do médio rio Pandeiros (Chimpliganond, 2013).

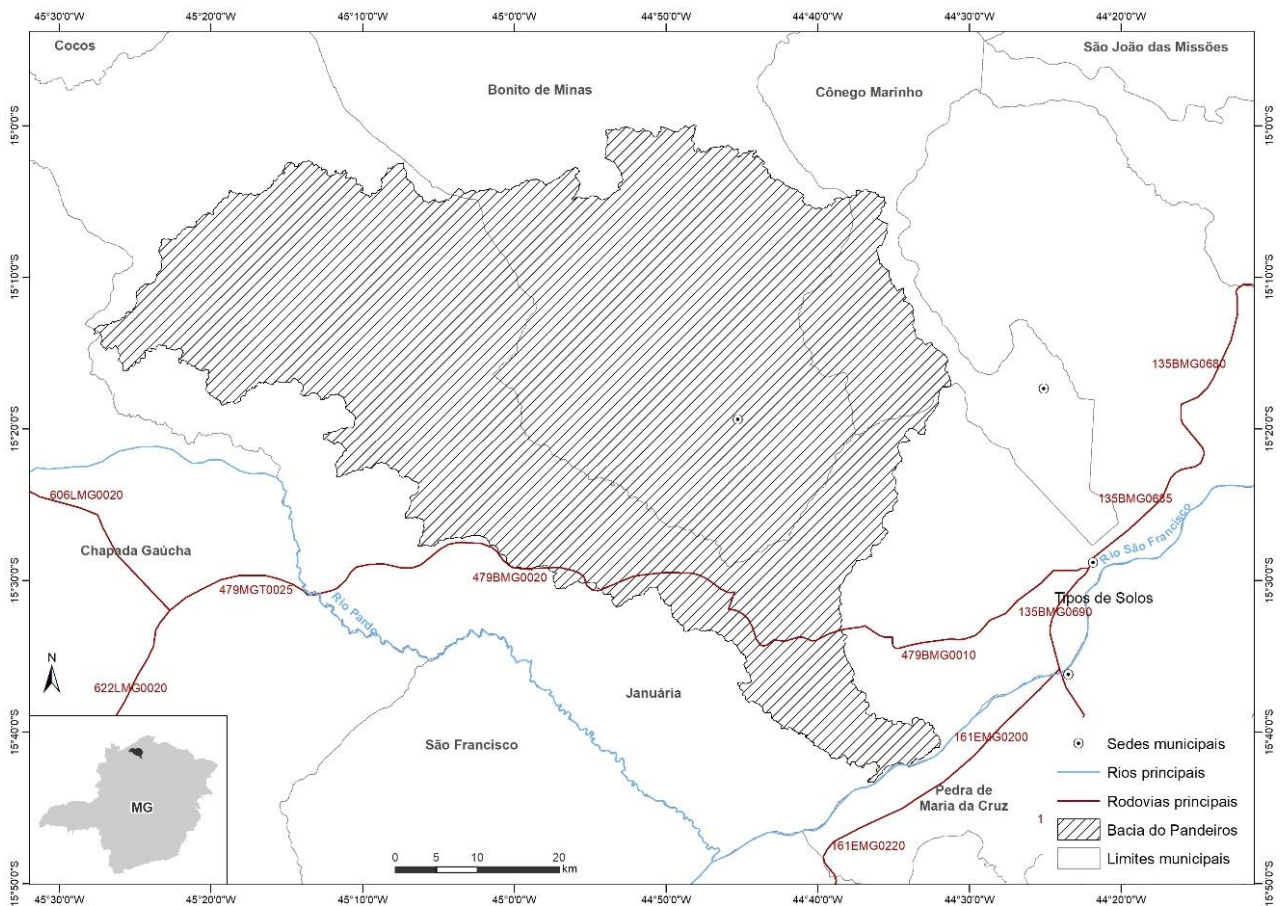


Figura 1 - Localização da bacia do rio Pandeiros.

2.2 Métodos e Técnicas

O conjunto de técnicas aplicadas pode ser subdividida em pré-campo, **campo** e pós-campo. A etapa inicial, pré-campo, foi voltada ao reconhecimento das características gerais da bacia e escolha/mapeamento preliminar das voçorocas a serem estudadas, utilizando-se mapas, bibliografia e imagens da área e satélite. O campo envolveu a identificação e amostragem de 5 vertentes com voçorocamento, representativas das que ocorrem na bacia, a etapa pós-campo subdivide-se em análise físicas e químicas das amostras das geocoberturas amostradas em laboratório e análise estatística dos seus dados físico-químicos bem como da sumarização e interpretação dos resultados.

2.2.1 Etapa Pré-campo

A metodologia utilizada nesta etapa está descrita no resumo aceito pelo XVIII SBGFA (Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada) – Capítulo 3. Neste contexto, houve o estudo e análise do material de imageamento, bem como a definição dos parâmetros para a escolha prévia de 5 voçorocas, de maneira a que fossem representativas

das 215 mapeadas na bacia. Esses parâmetros incluíram: fatores geológicos, como distribuição espacial dos principais tipos de rochas presentes na bacia, fatores geomorfológicos, como declividade, Índice de Hack, Índice de Concentração de Rugosidade, altitude, padrões de drenagem e a presença de domínios geomorfológicos, obtidos a partir da utilização de ferramentas SIG e análises de imagens de satélite e fotos-aéreas na escala de 1:60.000 da CEMIG (1969). Com base nesses parâmetros foram escolhidas 5 vertentes com voçorocas para serem amostradas.

2.2.2 Etapa de Campo

As vertentes com voçorocas amostradas foram medidas buscando sua compartimentação em sítios geomorfológicos que são, segundo Augustin (1979, 1995, p. 149) “elementos taxonômicos menores que a vertente, podendo ser definidos como unidades da vertente que morfologicamente apresentam uniformidade interna, e são externamente delimitadas por descontinuidades de gradientes”. Para Stewart e Christian (1968) e Wright (1973), os sítios geomorfológicos são unidades da vertente que morfologicamente apresentam uniformidades internas e são externamente delimitadas por descontinuidades de gradiente.

KLINGEBIEL *et al.* (1987) enfatizam a importância das unidades de relevo em trabalhos de levantamento pedológico, uma vez que interferem no tempo de exposição dos materiais, na intensidade e direção do fluxo de água no solo, processos estes que regulam as variações nos processos pedogenéticos (CAMPOS *et al.*, 2006, 2007). O estudo das relações entre geologia, geomorfologia e solos em uma topossequência, pode auxiliar no entendimento da distribuição dos solos em uma dada região, através da determinação de sítios geomorfológicos.

2.2.2.1 Transectos Longitudinais e a identificação de Sítios Geomorfológicos

As vertentes nas quais ocorrem as voçorocas e previamente selecionadas por imageamento (5), foram identificadas no campo e suas declividades medidas do topo para a base, ao longo do gradiente máximo da vertente, paralelamente às bordas das voçorocas, conforme metodologia proposta por Augustin (1979, 1995, 2006a, 2006b) e utilizada entre outros por Aranha (1982) e Messias-Martins *et al.* (2013).

A primeira baliza, ponto inicial, foi fixada na alta vertente e, em seguida, as outras duas balizas foram alinhadas sucessivamente com espaçamento regulares de 20m entre elas

vertente abaixo, permitindo a leitura do azimute com o auxílio de uma bússola Brunton, indicando a direção do transecto, da posição original até seu ponto final, na baixa vertente.

A medição da declividade ao longo do transecto foi realizada com o auxílio de um clinômetro Suunto de leitura direta e as balizas foram sendo revezadas, sempre a partir da inicial, mantendo o alinhamento das três, até que toda a vertente fosse medida (Fig. 2), seguindo procedimentos de Augustin (1997, 1995).

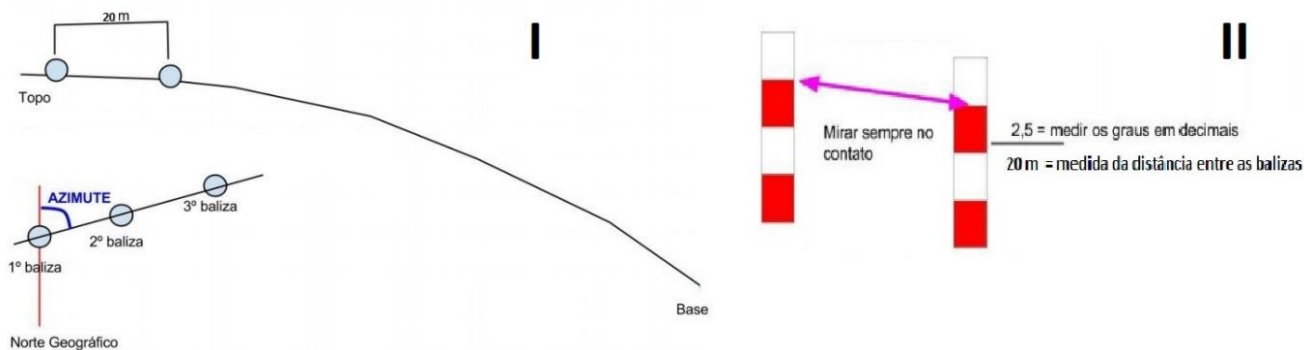


Figura 2 - Imagem ilustrando a construção dos transecto adaptado de www.geojurista.files.wordpress.com

Segundo Augustin (1979, 1995), os sítios geomorfológicos são identificados com a análise dos dados de inclinação da vertente obtidos ao longo do transecto. Assim, um sítio geomorfológico é separado de outro por rupturas de declive permitindo reconhecer unidade espacial da vertente com declividades próximas (Fig. 3), configurando um sítio geomorfológico (SG). Wright estabeleceu o tamanho mínimo de um SG em 15m por este ser o mínimo segmento de uma vertente a ser identificada em imageamentos de escalas menores e até 1:25.000.

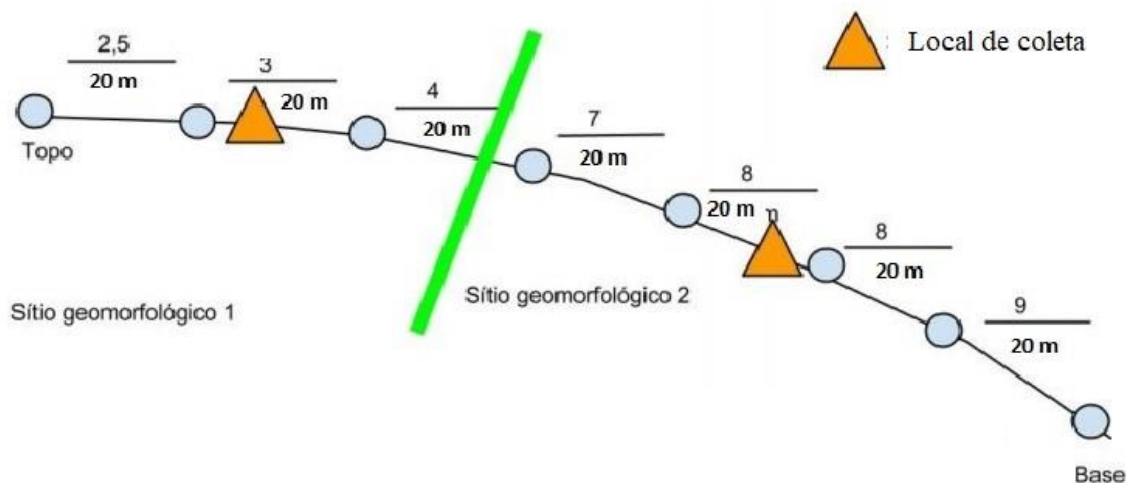


Figura 3 - Esquema de separação de sítios geomorfológicos, adaptado de www.geojurista.files.wordpress.com

2.2.2.2 Coleta de amostras de geocobertura.

As amostras das geocobertura foram coletadas na porção central de cada SG identificado, com a abertura de trincheiras com dimensões de aproximadas de 1m x 1m de largura e 2m de profundidade, sempre no lado voltado para o topo da vertente, limpa e lisa. A descrição e os procedimentos de coleta seguiram orientação de LEMOS *et al.* (2013), sendo que foi tomado o cuidado para que a amostra, de aproximadamente 700gr em cada volume, fosse coletada de baixo para cima do perfil, para evitar contaminação dos volumes superiores da trincheira. Para a identificação da cor da amostra úmida, foi utilizado o Munsell Color Soil Charts (1994).

2.3 Etapa Pós-Campo

2.3.1 Análises laboratoriais

Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, seguindo as metodologias descritas no “Manual de Métodos de Análise de Solo, EMBRAPA, 2017” (DONAGEMA *et. al.*, 2017).

2.3.1.1 Análises físicas

As amostras coletadas foram analisadas no laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia do Departamento de Geografia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais para quantificação de fragmentos nas frações argila (< 0,002mm), silte (0,002 - 0,05mm), areia fina (0,05 - 0,21mm) e areia grossa (0,21 -

2,0mm) de acordo com a metodologia utilizada pela Embrapa/Donagema *et al.* (2017). Segundo Donagema *et al.* (2017) para se utilizar essa metodologia as amostras de solo devem atender aos pré-requisitos apresentados na tabela a seguir.

Tabela 1 - Enquadramentos físico-químicos dos solos como pré-requisitos para utilização da metodologia da pipeta. Adaptada de Donagema *et al.* (2017)

Atributo	Valor mínimo	Valor máximo
pH em água	4,00	7,00
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,00	4,00
Densidade de partículas (kg dm ⁻³)	2,55	2,75
Teste de dispersão rápida	Suspensão ligeiramente turva (baixo teor de argila dispersa em água)	Suspensão turva (elevado teor de argila dispersa em água)

As etapas de análise granulométrica consistem no destorroamento manual das amostras secas ao ar e posterior peneiramento de frações inferiores a areia (<2,0 mm) para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Para separação das frações é utilizado a metodologia da pipeta, isto é, são pesados 20,000 g de amostra de TFSA em frasco polietileno e adicionados uma solução que contém 25 mol.L⁻¹ de hidróxido de sódio (NaOH) e 100 mL de água deionizada.

O preparado é então levado para o agitador tipo Wagner a 50 rpm por 16 horas ininterruptas. O objetivo desta etapa é dispersar até os menores agregados. Decorridos o tempo a amostra é colocada em uma peneira de malha 0,053 mm e apoiada sobre um funil de suporte sob um cilindro de sedimentação (proveta) de 1000 mL.

A amostra, desse modo, é lavada com água deionizada até que restem apenas os fragmentos retidos na peneira e o restante da solução retida na proveta. Os fragmentos retidos na peneira correspondem às frações areia, e são transferidas para uma lata de alumínio para posterior pesagem.

O restante da solução na proveta contém argila e silte é colocada em um agitador magnético para serem pipetados 50 ml a 5 cm de profundidade, para quantificação final dos teores de silte. Para os valores de argila, por sua vez, interrompe-se a agitação e deixa a solução em repouso por tempo determinado de acordo com a temperatura da amostra. Após

o tempo de decantação dos sedimentos, novamente são pipetados 50 mL a 5 cm de profundidade.

As latas de alumínio contendo a fração areia, bem como as capsulas argila + silte e apenas argila são levadas à estufa a 105°C por 24 horas. Assim, os valores absolutos são pesados em balança analítica de precisão 0,001g. Para a quantificação da areia fina e grossa pesa-se a lata com o total de areia, depois é peneirada e pesada a areia fina, e por diferença, tem-se o valor da areia grossa. A quantificação do silte é semelhante à areia, isto é, pela diferença entre o peso da cápsula de argila e da contendo argila + silte.

2.3.1.2 Análises químicas

pH

O pH do solo afeta vários processos no desenvolvimento das raízes, disponibilizando ou não nutrientes para a planta. Sendo um termômetro das condições químicas do solo. Valores de pH muito baixos indicam condições inadequadas para o crescimento vegetal. Podendo existir muito Al trocável na solução inibindo o desenvolvimento de raízes e adequada absorção de outros nutrientes. A atividade da maior parte dos microrganismos também é afetada pelo pH. Eles se desenvolvem melhor em valores de pH acima de 5,5. A escala de pH varia entre 0 e 14, sendo 7 neutro, 0 o mais ácido e 14 o mais básico. Os solos brasileiros são geralmente mais ácidos. (BRADY e WEIL, 2013)

Em regiões com chuvas abundantes, o escoamento das águas superficiais em terrenos sem cobertura vegetal lava a camada nutritiva do solo e também aumenta a acidez.

A determinação de pH é feita em água e KCl por dois motivos principais:

-Para evitar efeito de sais, quando se realiza uma amostragem e ao deixar ela armazenada úmida num saco plástico por longo tempo antes de analisa-la, os microrganismos continuam decompondo a matéria orgânica e liberam nutrientes na forma de sais, que podem reduzir o valor de pH real do solo. O pH em KCl, é geralmente menor que o pH em água.

- Para saber se o solo tem predomínio de cargas positiva ou negativa, utilizamos o conceito de ΔpH .

$$\Delta\text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$$

Sendo o valor de ΔpH negativo o indicador do predomínio de argilas silicatadas, ao passo que ΔpH positivo seriam óxidos de ferro e alumínio, ou seja, o ΔpH poderia indicar o grau de intemperismo do solo.

As análises foram realizadas seguindo a metodologia proposta por Donagema *et al.* (2017):

Para determinação do balanço entre íons de hidrogênio H^+ e hidroxila (OH^-), do solo, isto é, acidez ou alcalinidade, foi utilizada a escala de pH (BRADY e WEIL, 2013). Esta representa o logaritmo negativo da atividade do íon hidrônio (H_3O^+). As análises foram feitas em triplicata, sendo distribuídos 10 cm^3 TFSA em dois frascos. Em um foi adicionado 25 mL de água destilada (H_2O) e noutro 25 mL de solução 1 molar de cloreto de potássio (KCl). Ambas foram deixadas em repouso por uma (1) hora e agitadas com um bastão para leitura em pHmetro eletrônico calibrado. Para determinação do ΔpH , por sua vez, é realizada a diferença aritmética dos valores do pH em KCl e em água ($\Delta\text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$).

Condutividade elétrica

Segundo Brady & Weil, 2013, a condutividade elétrica é a capacidade que um material possui em conduzir correntes elétrica. Tais valores para a geocobertura, estão ligados a distribuição de cargas, va distribuição relaciona-se diretamente aos minerais presentes na geocobertura que na presença de água se solubilizam formando íons. Estes que são condutores de eletricidade, esta propriedade pode ser utilizada para determinar a presença de solutos inorgânicos dissolvidos a fase aquosa do solo, ou seja, salinidade do solo (MOLIN & RABELLO, 2011). Quanto maior concentração de sais, maior serão os valores de condutividade encontrados. Os efeitos da salinidade subsidiam os mais adversos efeitos no plantio, como subdesenvolvimento de culturas.

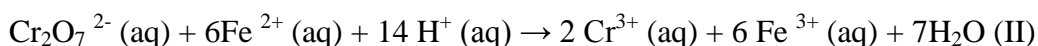
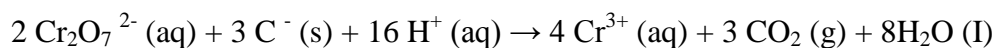
Os testes foram realizados em todas as oitenta e quatro amostras de geocobertura, e nas trinta e cinco amostras de sedimento. O procedimento utilizado foi pesar 100g de TFSA, acrescentar 100mL d'água Milli-Q, homogeneizando a mistura por aproximadamente 30s, a cada 30min, durante o período de 2h30min, afim de conferir a dissolução completa dos sais ali contidos. Posteriormente o sobrenadante é filtrado em

papel de filtro faixa azul (nº42), e a solução filtrada tem sua leitura realizada no condutivímetro.

Carbono orgânico (CO)

Segundo Magdoff e Weil (2004), Clapp *et al.* (2005), Brady e Weil (2013), a matéria orgânica (M.O), é um importante componente das geocoberturas, exercendo significativa influência em muitas de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, sobretudo nos horizontes mais superficiais, nos quais ocorrem intensos processos pedogênicos. Segundo os autores, ela é responsável por grande parte da capacidade de troca catiônica e da capacidade de retenção d'água. Isto, porque alguns componentes da matéria orgânica do solo influenciam na formação e estabilização dos agregados dos solos encontrados na porção superior das geocoberturas, além de conter grandes quantidades de nutrientes para as plantas, funcionando como uma fonte de liberação lenta desses. A matéria orgânica do solo é ainda fonte de diversas substâncias fundamentais para os microorganismos. Certos compostos orgânicos contribuem para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Por estas razões a quantidade da matéria orgânica da geocobertura é fundamental para uma compreensão da dinâmica da vertente.

As amostras coletadas em campo, foram submetidas a metodologia descrita em (DONAGEMMA *et al.* 2017), o método proposto por Walkley e Black (1934), o qual consiste na determinação de carbono por meio de redução por um agente oxidante forte, o qual oxida a matéria orgânica através da solução de dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico, tendo o excesso de dicromato, após a oxidação, titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr). As reações químicas envolvidas são representadas a seguir:



Na equação 1 considera o dicromato reduzido equivalente ao C existente na amostra de solo. O excesso de dicromato é titulado com íons Fe^{2+} obtidos a partir de uma solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal (Sal de Mohr). O C é determinado pela diferença entre a quantidade de Fe^{2+} gasta na titulação quando o Cr^{6+} foi adicionado e aquela gasta na titulação do dicromato que restou após a oxidação do carbono da amostra,

assumindo que todo o carbono da matéria orgânica está no estado de oxidação zero (Equação 2).

A execução da análise consiste na pesagem de 0,5g de TFSA em frasco Erlenmeyer de 250 mL, adicionados 10 mL pipetados de solução de dicromato de potássio 0,0667 molar e aquecida a solução em fervura branda por 5 minutos. Após esfriar são adicionados 80 mL de água destilada, 2 mL de ácido ortofosfórico (H₃PO₄) e 2 gotas de difenilamina (indicador). Com a solução preparada, realiza-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol/L até que o preparado passe de uma cor que varia progressivamente de amarelo, verde escuro, azul turquesa e atinja uma coloração verde esmeralda clara. Esta última indica o consumo total do carbono orgânico dissolvido na solução.

Com os valores de sulfato ferroso amoniacal gastos na titulação é apresentada a equação que estima a quantidade de carbono, a qual é utilizada para calcular a quantidade de matéria orgânica, M.O:

$$C \text{ (g/kg)} = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6$$

$$f = (40/\text{volume de sulfato ferroso gasto na prova em branco})$$

Matéria Orgânica (MO)

A partir do valor obtido de C.O é possível determinar o teor de matéria orgânica da geocobertura, partindo da premissa de que, em média, a matéria orgânica (M.O) possui aproximadamente 58% de C. Assim o teor de M.O é dado pela seguinte equação:

$$M.O = C \times 1,724$$

Sendo este valor, 1,724, o fator resultante denominado por Van Bemmelen (1890), que é uma medi relativa aos vários tipos de vegetação. Além disso, assume-se também que a oxidação do carbono orgânico por dicromato não é completa, sendo necessário aplicar outro fator de correção do método (GATTO *et al.*, 2009).

Macronutrientes

Potássio (K⁺) e sódio (Na⁺) trocáveis

Os cátions sódio e potássio são analisados pelo fotômetro de chama, a partir de extração com solução Mehlich-1.

O Potássio (K) é um macronutriente catiônico, sendo considerado o mais abundante na planta. Sua principal forma de absorção é pelas raízes e não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica a planta. Suas principais funções são a de manutenção do pH das células e tecidos das plantas, ativação do sistema enzimático, atua na fotossíntese, interfere na constituição das paredes da planta, promove absorção de água, auxilia no transporte e armazenamento de carboidrato, e incrementa a absorção de Nitrogênio e a síntese de proteínas. Enquanto a concentração de Sódio (Na), um macronutriente secundário, em geocoberturas costuma ser próxima de zero. Este é um elemento de maior poder salino, ou seja, excesso de sódio saliniza a geocobertura, podendo levar a um processo de sodificação. Este elemento quando em excesso diminui a disponibilidade de nutrientes, diminui a capacidade do material reter humidade, provoca um aumento na compactação do solo, altera o metabolismo das plantas e inibe a absorção de nitrogênio.

Ambas as análises são realizadas se pesando de 10g de TFSA em um béquer, adicionar 50mL da solução de Mehlich-1 e esperar 12 horas. Onde o sobrenadante tem sua leitura realizada no fotômetro de chama.

$$K^+, Na^+ (\text{mg.Kg}^{-1}) = ([L - b] / a) \cdot d$$

Em que:

L – Leitura da amostra (para sódio ou potássio).

a – Coeficiente angular da reta de padrões (intercepto).

b – Coeficiente linear da reta de padrões.

d – Fator de correção que considera a diluição do extrato de leitura

Magnésio (Mg^{2+}) e Cálcio (Ca^{2+})

Os cátions solúveis cálcio e magnésio são determinados por complexometria utilizando uma solução extratora de KCl 1M.

Pesando-se 10,0 g de TFSA em erlenmeyer de 125 mL, em seguida se adiciona 100 mL de solução de KCl 1 mol L⁻¹. A mistura é agitada em agitador horizontal por 5 minutos. Depois da agitação, deve-se deixar em repouso durante 12h. O sobrenadante é pipetado para dois erlenmeyer de 125 mL duas alíquotas de 25,00 mL para determinação, cálcio + magnésio e cálcio trocáveis.

O Magnésio (Mg) é um macronutriente secundário, catiônico muito importante para o desenvolvimento das plantas. Ele é encontrado na geocobertura na forma de minerais primários, carbonatos, sulfatos, minerais secundários e matéria orgânica. As principais funções do Magnésio são a de ativar as enzimas. Importante componente da clorofila, sua falta impede a fixação de CO₂, participa do metabolismo do Nitrogênio, afetando a síntese de proteínas e ativação dos aminoácidos além de contribuir para a absorção de Fósforo.

O Cálcio (Ca) é um macronutriente secundário, catiônico muito importante para o desenvolvimento das plantas, encontrado nas geocoberturas na forma de carbonatos, sulfatos e silicatos. As principais funções do Cálcio são a de compor as paredes celulares das células, na reprodução das plantas, auxiliar na disponibilidade de micronutrientes, atuar reduzindo a acidez da geocobertura assim como a toxicidade do alumínio, cobre e manganês.

A determinação da quantidade de Ca²⁺ e Mg²⁺ é feita com alíquota de 25,00 mL da solução obtida pela extração com KCl 1M, transferida para erlenmeyer de 125mL, tamponada por 4 mL do coquetel tampão (cianeto de potássio e trietanolamina), 30mg de ácido ascórbico e três gotas do indicador negro de eriocromo. A solução que será titulada utilizando EDTA 0,0125 mol.L⁻¹.

$$[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}] = V.f$$

Em que: [Ca²⁺ + Mg²⁺] – concentração de Ca²⁺ + Mg²⁺ trocáveis no solo, em cmolc kg⁻¹.

V – Volume da solução padronizada de EDTA gasto na titulação, em mL.

f – fator de correção considerando a padronização da solução de EDTA 0,0125 mol L⁻¹.

f – [EDTApad] x 80.

[EDTApad] – concentração da solução padronizada de EDTA, em mol L⁻¹.

Valor 80 – equivale a 4 x 100 x 2 / 10, sendo o 4 vindo da divisão de 100 mL da solução extratora por 25 mL pipetado, 100 vindo da mudança de 10 g para 1 kg de solo, 2 da carga do cátion e 10 da mudança de mmolc kg⁻¹ para cmolc kg⁻¹

O cálcio (Ca^{2+}) trocável é determinado através da seguinte metodologia.

Pipetar 25,00 mL da solução obtida pela extração com KCl 1M para um erlenmeyer de 125mL, adicionar 3mL de KOH a 10%, 30 mg de ácido ascórbico e 30 mg do indicador ácido calcocarbônico + sulfato de sódio. Titular com solução de EDTA 0,0125 mol.L⁻¹.

$$\text{Ca}^{2+} = V \cdot F$$

Em que:

Ca^{2+} – concentração de cálcio trocável no solo, em cmolc kg⁻¹.

V – Volume da solução padronizada de EDTA gasto na titulação, em mL.

f – fator de correção considerando a padronização da solução de EDTA 0,0125 mol L⁻¹.

f – [EDTApad] x 80. [EDTApad] – concentração da solução padronizada de EDTA, em mol L⁻¹.

Valor 80 – equivale a $4 \times 100 \times 2 / 10$, sendo o 4 vindo da divisão de 100 mL da solução extratora por 25 mL pipetado, 100 vindo da mudança de 10 g para 1 kg de solo, 2 da carga do cátion e 10 da mudança de mmol kg⁻¹ para cmolc kg⁻¹.

Análise dos óxidos TiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 por extração sulfúrica.

Os óxidos de ferro apresentam considerável influência nas propriedades físicas e químicas das geocobertura devido aos seus vários graus de cristalinidade e por apresentar cargas variáveis dependendo do pH do solo. (GENÚL *et al.*, 2010). O óxido de titânio é utilizado para se observar aspectos de aloctonia ou autoctonia das geocoberturas.

Já os óxidos de alumínio estão relacionados ao intemperismo intenso, favorecido pelas altas temperaturas e circulação intensa de água, permitindo a saída de sílica e bases do sistema. Dependendo do valor de pH da geocobertura, os óxidos de alumínio participam diretamente da retenção de ânions e cátions, além de exercerem maior influência nos atributos físico-químicos do solo do que os óxidos de ferro. (PEDROTTI *et al.*, 2003, GHIDIN *et al.*, 2006, EBERHARDT *et al.*, 2008).

Para o preparo do extrato seguiu-se a metodologia da EMBRAPA, Donagema *et al.* (2017), em que foi pesado 1g de TFSA em erlenmeyer de 250 mL, adicionados 20 mL de

ácido sulfúrico 1:1 e deixado em fervura por 30 minutos. Após resfriar, foram adicionados 50 mL de água ultrapurificada e filtrado para balão de 250 mL. O extrato filtrado, por sua vez, foi utilizado para fazer a determinação de ferro, titânio e alumínio. Para medida foram seguidos diferentes procedimentos.

TiO₂

Pipetar 25,00 mL do extrato em um béquer de 50 mL e adicionar 4 mL de ácido sulfúrico 1:1, em seguida adicionar solução de permanganato de potássio até a persistência de coloração violeta, aquecer a 80-90 °C durante 5 minutos. Adicionar ácido oxálico 1%, até completo descoloramento. Após esfriar transferir a solução para balão volumétrico de 50 mL junto de 2 mL de ácido fosfórico 1:1 e sete gotas de H₂O₂, esperar 1 hora até a coloração amarelada fique estável. A medição é realizada em um espectrofotômetro medindo absorvância a 430 nm, os valores obtidos são interpretados através da curva de calibração construída.

Quando a leitura da amostra for menor que a leitura do padrão médio (1 mL), usar a fórmula abaixo:

$$\mathbf{TiO_2 = L \cdot f_1 \cdot 10}$$

Quando a leitura da amostra for maior que a leitura do padrão médio (1 mL), usar a fórmula abaixo:

$$\mathbf{TiO_2 = [(L - L_1) \cdot (f_2 + 1)] \cdot 10}$$

Em que:

TiO₂ – concentração de TiO₂ total no solo, em g/kg.

L – Leitura da amostra.

L₁ – Leitura do padrão correspondente a 1 mL.

L₂ – Leitura do padrão correspondente a 2 mL.

$$f_1 = \frac{1}{L_1}$$

$$f_2 = \frac{1}{L_2 - L_1}$$

Fe₂O₃

Pipeta-se 20,00 mL do extrato sulfúrico em um erlenmayer de 250 mL, e adiciona-se 2,5mL da solução HNO₃ + HCl 1:4, fervendo a solução por 3 minutos para completa destruição da matéria orgânica. Adiciona-se 30 mL de água ultra purificada, e ajusta-se o pH da solução para 1,5, empregando soluções de HCL 1:1 e NH₄OH concentrado. Após o ajuste do pH, se aquece a solução em chapa aquecedora até temperatura aproximada de 60 °C e adiciona 1 mL de ácido sulfossalicílico 5%, indicador, titulando a solução com EDTA 0,01 mol/L, com viragem de vermelho para amarelo.

$$\mathbf{Fe_2O_3 = V \cdot 10 \cdot f}$$

Onde:

Fe₂O₃ - Concentração de Fe₂O₃ total na geocobertura, em g/Kg

V – Volume da solução EDTA gasto na titulação da amostra, em mL

f – Fator de correção considerando a padronização da solução EDTA 0,01mol/ L.

Al₂O₃

A solução titulada remanescente na análise de óxido de ferro, é utilizada para esta dosagem, com a adição de 10 mL da solução CDTA, que após sua adição deve-se aguardar 1 hora, em seguida se adiciona 30 mL da solução tampão de acetato de amônio pH 4,5, espera-se 10 minutos, em seguida adiciona 50 mL de álcool etílico e 2 mL de solução de ditizona. A solução é titulada com sulfato de zinco 0,0156 mol. L⁻¹ com viragem de verde-acinzentado para rosa forte.

$$\mathbf{Al_2O_3 = \left[(b - a) - \frac{0,1 \cdot TiO_2}{1,668} \right] \cdot 10}$$

Onde:

Al_2O_3 - Concentração de Al_2O_3 total no solo, em g/kg.

a - Volume da solução de sulfato de zinco gasto na titulação da amostra, em mL.

b - volume da solução de sulfato de zinco gasto na titulação da prova em branco, em mL.

TiO_2 - concentração de TiO_2 total no solo, obtida pelo ataque sulfúrico, em g/Kg.

Valor 1,668 - fator de conversão de Ti para TiO_2 .

2.3.2 Análises Estatísticas

A estatística é uma ferramenta matemática extremamente útil para se analisar um grande número de dados, buscando possíveis correlações entre estes, é utilizada em diversas áreas incluindo a geociências.

Devido à grande difusão na literatura dos métodos estatísticos, as descrições metodológicas a seguir foram baseadas nos autores (THIOULOUSE, *et al*, 1997, HERLIHY, M. e McCARTHY, 2006, HONGYU *et al.*, 2016, GUIMARÃES, 2017, OLIVEIRA, 2017, PORTAL ACTION, 2019).

2.3.2.1 Análise de correlação de Pearson

O primeiro passo para a análise estatística foi saber se os dados eram quantitativos (possuem valores mensuráveis), ou se eram qualitativos (valores relativos, que devem ser colocados em uma escala). Os dados obtidos no laboratório foram dados quantitativos.

Em seguida construiu-se o diagrama de dispersão, a fim de se identificar como é a distribuição dos dados: se a variação é predominantemente ascendente ou descendente, se assume uma tendência linear, ou a distribuição dos dados é normal (gaussiana). Diferentes combinações destas premissas indicam diferentes técnicas de análise de correlação uma vez que diferentes distribuições levam a diferentes técnicas de análise de correlação.

Os dados laboratoriais das propriedades físicas e químicas das geocoberturas estudadas são quantitativos, com menos de 1% de outliers, com distribuição Gaussiana (normal) tendo sido possível mantê-los e trata-los com testes paramétricos.

A técnica mais difundida para se avaliar a correlação entre duas variáveis quantitativas e de distribuição normal é a de correlação produto-momento de Pearson, que pressupõem distribuição gaussiana das duas amostras, e comportamento linear da relação entre as variáveis.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

No qual:

X e Y são valores de um conjunto de medidas.

n – é o número de amostras.

Ela quantifica a força de associação linear entre duas variáveis, descrevendo quão bem uma linha reta se ajustaria através da nuvem de pontos. Se os pontos caem exatamente sobre uma linha crescente então $r = 1$ e se eles caem exatamente sobre uma linha decrescente, $r = -1$, indicando a direção da correlação.

2.3.2.2 **P-valor**

Para validar os valores obtidos pela matriz de correlação, foram obtidos valores de P-valor para cada correlação. O P-valor, também conhecido como nível descritivo do teste, é a probabilidade de que uma amostra aleatória tenha um valor diferente ao observado durante a análise, ou seja, a de que a H_0 (hipótese nula) seja verdadeira. Isto pode ser interpretado pelo gráfico a baixo.

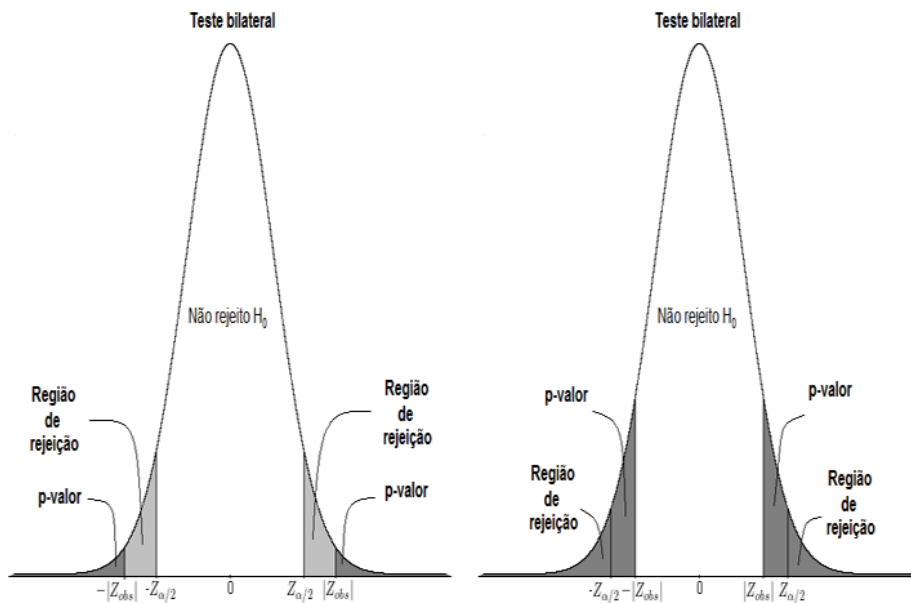


Figura 4 - P-valor nos casos em que temos um teste de hipóteses bilateral com rejeição da hipótese nula e sem rejeição da hipótese nula. Fonte: PORTAL ACTION.

Quando os valores de P-valor $\leq \alpha$, se rejeita H_0 , e quando P-valor $\geq \alpha$, se aceita H_0 . Ou seja, quando se obtém valores de P-valor menores que α , os valores da matriz de correlação possuem um nível descritivo válido, isto é a hipótese está correta.

2.3.2.3 *Análise de Componentes Principais (ACP)*

A Análise de Componentes Principais (ACP) é um método estatístico multivariado que busca encontrar um menor conjunto de variáveis para melhor representar o sistema original, tendo seu conceito sido descrito por Pearson (1901), e computacionalmente, por Hotelling (1933,1936). Trata-se de um procedimento matemático que utiliza ortogonalização de vetores para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas, em um conjunto de vetores com variáveis linearmente não correlacionadas. Cada uma dessas novas variáveis é chamada de componente principal, e sua ordem é definida de forma a maximizar a variância em cada componente. Ou seja, a primeira componente vai ser definida de forma a se ter a maior variabilidade dos dados originais possíveis relacionada a si, e cada componente próximo seguirá essa premissa, respeitando as condições de ortogonalidade com as componentes anteriores.

Para um melhor entendimento dessa transformação, pode-se pegar um sistema de coordenadas cartesianas de três dimensões, com cada uma dessas dimensões representa

uma das variáveis do conjunto original. Um ponto nesse sistema representa uma observação do nosso conjunto que é representado por:

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$$

Para transformar esse sistema de coordenadas ortogonal em um novo sistema ortogonal, pode-se usar uma matriz de rotação que representa rotações em cada um dos eixos. A matriz de rotação de um espaço de três dimensões, \mathbf{R} é uma matriz quadrada com três linhas e três colunas:

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{pmatrix}$$

Uma das restrições que é imposta as matrizes de rotação é que a soma dos quadrados dos valores de cada uma das linhas deve ser igual a 1. Ou seja:

$$\vec{r}_i = \begin{pmatrix} r_{1i} \\ r_{2i} \\ r_{3i} \end{pmatrix}$$

$$\vec{r}_i^T \vec{r}_i = r_{1i}^2 + r_{2i}^2 + r_{3i}^2 = 1$$

Onde \vec{r} representa cada uma das linhas da matriz, $i = 1,2,3$, e \vec{r}_i^T a transposta da linha. Para obter os valores da observação \vec{x} nesse novo sistema que foi rotacionado. use-se:

$$\vec{\sigma} = R\vec{x}$$

$$\vec{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \end{pmatrix}$$

Dessa forma, temos um sistema onde cada σ vale:

$$\sigma_i = r_{1i}x_1 + r_{2i}x_2 + r_{3i}x_3$$

Tendo em vista essa transformação para 3 dimensões, é então abstrair dela um conjunto de n dimensões onde o valor de $i = 1, 2, \dots, n$ e a matriz quadrada de rotação \mathbf{R} , tem n linhas e n colunas.

A análise de componentes principais visa achar os argumentos para cada linha da matriz \mathbf{R} de forma a maximizar a variância para cada uma das componentes em ordem. A forma matemática pode assim ser escrita:

$$\arg[(Var(\sigma_i))]$$

A variância de σ_i é dada por:

$$Var(\sigma_i) = Var(r_{1i}x_1 + r_{2i}x_2 + \dots + r_{ni}x_n)$$

$$Var(\sigma_i) = Var(\vec{r}_i^T \vec{x})$$

$$Var(\sigma_i) = \vec{r}_i^T \Sigma \vec{r}_i$$

Onde Σ é a matriz de covariância dos dados originais. Logo, a representação matemática da forma pode ser assim reescrita:

$$\arg[\max(\vec{r}_i^T \Sigma \vec{r}_i)]$$

Sujeito à restrição de:

$$\vec{r}_i^T \vec{r}_i = 1$$

A solução desta formulação passa por processos matemáticos mais avançados, como multiplicadores de Lagrange, gradiente e derivada de matrizes. O interessante é que ao se resolver esta formulação chega-se em uma solução bem simples, que está diretamente relacionada à equação de autovalores e autovetores da matriz de covariância que é representada como:

$$\Sigma \vec{r}_i = \lambda \vec{r}_i$$

Os autovalores representam a contribuição relativa de cada componente na explicação da variação total dos dados. Logo para a seleção da primeira componente

principal, toma-se o maior autovalor encontrado para a matriz de covariância, e assim sucessivamente até completar o número de componentes principais desejadas, sendo que o número de componentes principais deve ser menor ou igual ao número de variáveis originais.

Cada um dos autovalores escolhidos tem relacionado a si um autovetor. Os autovetores nesse caso são o conjunto de valores que representam o peso de cada variável original sobre cada componente. Cada autovetor relacionado a um autovalor escolhido para as componentes principal será uma linha da matriz de rotação.

O autovalor para qualquer uma das componentes é uma medida exata da proporção da variação total nos dados explicada por este componente. Pode-se representa-lo também como uma fração do autovalor sobre o número de variáveis envolvidas na análise.

A ACP dos dados das vertentes/voçorocas do rio Pandeiros foi realizada no programa Rstudio, o qual através das bibliotecas, “pca3d” e “factoextra” geraram os gráficos screeplot, Biplot e Triplot.

As funções utilizadas estão descritas a seguir:

#Ativar as bibliotecas

```
library(pca3d)
```

```
library(factoextra)
```

#Inserir dados

```
data <- read.csv("dados_geocobertura_lab.csv", sep= ",")
```

##Analise componentes principais

```
pca <- prcomp(data[,2:18],scale=T)
```

```
gr <- data$Voçoroca
```

```
summary(gr)
```

screeplot

```
screeplot(pca, type="lines",col=2)
```

#Biplot

```
fviz_pca_biplot(pca, label="var", habillage=gr,  
                addEllipses=TRUE, ellipse.level=0.95)
```

#Triplot

```
pca3d (pca,group=gr)
```

```
#pch.group <- c(rep(21, times=16), rep(22, times=22), rep(24, times=16), rep(25,  
times=12), rep(26, times=15))
```

```
#col.group <- c(rep("skyblue2", times=16), rep("gold", times=22), rep("green2",  
times=16), rep("red", times=12), rep("brown", times=15))
```

Referências Bibliográficas

- AUGUSTIN, C.H.R.R. **A preliminary integrated survey of the natural resources near Alcantarilla, Southeast Spain.** Dissertação de Mestrado. 328p. 1979. Departamento de Geografia, University of Sheffield, UK.
- AUGUSTIN, C.H.R.R. **Geoökologische Studien im südlichen Espinhaçogebirge bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien unter besonder Berücksichtigung der Landschaftsentwicklung.** Tese de Doutorado. 1995. 294p. Johann Wolfgang Goethe Universität. Frankfurt a.M.. Germany.
- AUGUSTIN, C.H.R.R., FONSECA, B.M., OLIVEIRA D.A., LIMA A.C.P. ARANHA, P.R.A.e BANDEIRA, J.V. **O relevo e a drenagem da bacia do rio Pandeiros-MG.** Artigo sendo finalizado para a revista MG-Biota. Número Especial. 2019.
- BRADY, N.C., WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 685 p. 2013.
- CAMPOS, M.C.C., MARQUES JÚNIOR, J., PEREIRA, G.T., MONTANARI, R., CAMARGO, L.A. **Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 31, p.519-529, 2007.
- CAMPOS, M.C.C., CARDOZO, N.P., MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra,** Campina Grande, v. 6, p. 104-114, 2006.
- CHIMPLIGANOND, C.N. **Estudos sobre a sismicidade de Caraíbas-Itacarambi, Minas Gerais: causas e características.** Tese de Doutorado. 100f. 2013. Curso de Geologia, Universidade de Brasília, Brasília-D.F.
- CHRISTIAN, C.S., STEWART, G.A. **Methodology of integrated surveys.** In: *Aerial Surveys and Integrated Studies.* Proceedings of the Toulouse Conference. UNESCO, Paris, p.233–280, 1968.
- CLAPP, C.E., HAYES, M.H.B., SIMPSON, A.J., KINGERY, W.L. **Chemistry of soil organic matter.** In: M. A.Tbatadai and D.L. Sparks (eds.), *Chemical Process in soil.* SSSA BOK series, no. 8, Madison, WI: Soil Science Society of America, p 1-150, 2005.
- DE MOURA, F., JARDIM, C.H. **Variação temporal das chuvas em Januária, Carinhanha e Montes Claros, norte do estado de Minas Gerais. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento,** 1 p. 2705-2709, 2017.
- DONAGEMA, G.K., CAMPOS, D.V.B., CALDERANO, S.B., TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo.** 3ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 2017. 230p.
- EBERHARDT, D.N. VENDRAME, P.R.S., BECQUER, T., GUIMARÃES, M.F. **Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção de fósforo em Latossolos sob pastagens no Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 32, n. 3, p. 009-1016, 2008.
- GATTO, A., BARROS, N.F. de, NOVAIS, R.F., SILVA, I.R., MENDONÇA, E. de S., VILLANI, E.M. de A. **Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.33, p.735-740, 2009.
- GENÚL, A. M., DEMATTÊ, J. A. M., FIORIO, P. R. **Análise espectral de solos da Região de Mogi-Guaçu (SP). Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v. 31, p. 1235-1244, 2010. suplemento 1.
- GEOJURISTA, Disponível em: <www.geojurista.files.wordpress.com>. Acessado 08 de junho de 2017.

- GHIDIN, A. A., MELO, V. F., LIMA, V. C., LIMA, J. M. C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I - Mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 292-306, 2006.
- GUIMARÃES, P. R. B. (2017). **Análise de Correlação e medidas de associação**. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~jomarc/correlacao.pdf>>. Acesso em, 22 de dezembro de 2018.
- HERLIHY, M. & McCARTHY, J. Association of soil-test phosphorus with phosphorus fractions and adsorption characteristics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. V. 75, p.79-90, 2006.
- HONGYU, K., SANDANIELO, V. L. M., OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, Cuiabá, v. 15, n. 1, p. 83-90, 2016.
- HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **The Journal Educational Psychology**, v.24, p.498-520, 1933.
- HOTELLING, H. Simplified calculation of principal components. **Psychometrika**, Williamsburg, v.1, p.27-35, 1936.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de biomas brasileiros. Escala 1:5.000.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa da vegetação do Brasil. Escala 1:5.000.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004b.
- KLINGEBIEL, A.A., HORVATH, E.H., MOORE, D.G., REYBOLD, W.U., 1987. Use of slope, aspect, and elevation maps derived from digital elevation model data in making soil surveys. Soil Survey Techniques, **Soil Science Soc. Amer. Spec.** V. 20, pp. 77–89, 1987.
- LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. et al. **Soil erosion research methods**. Washington: Soil and Water Conservation Society, p. 141-160, 1988.
- LEMOES, R.C. de, SANTOS, R.D., dos, SANTOS, H.G. dos, KER, J.C., dos ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 100p, 2013.
- MAGDOFF, Fred, WEIL, Ray R. **Soil organic matter in sustainable agriculture**. CRC press, LLC, Washington, p 59, 2004.
- MESSIAS-MARTINS, R., AMORIM, M. A. F., AUGUSTIN, C. H. R. R., & AZEVEDO, P. A. A. Relação entre forma da vertente, cobertura superficial e sítios geomorfológicos na bacia do ribeirão do Chiqueiro, depressão de Gouveia, Serra do Espinhaço Meridional–MG. **Revista Geonomos**, v. 21, n. 2, 2013.
- MOLIN J.P., RABELLO L.M. Estudos Sobre a Mensuração da Condutividade Elétrica do Solo. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.31, n.1, p.90-101. 2011.
- OLIVEIRA, J. V. D. (2017). **Estudo da decomposição em valores singulares e análise dos componentes principais.** Volta Redonda, 52p, Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de matemática, ICEX, da Universidade Federal Fluminense, 2017.
- PEARSON, K. L. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 2, n. 11, p. 559-572, 1901.

- PEDROTTI, A., FERREIRA, M. M., CURI, N., SILVA, M. L. N., LIMA, J. M., CARVALHO, R. Relações entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 1-9, 2003.
- PORTAL ACTION, Disponível em: < <http://www.portalaction.com.br>>. Acessado 02 de janeiro de 2019.
- THIOULOUSE, J., CHESSEL, D., DOLÉDEC, S. & OLIVIER, J.-M. ADE-4: A multivariate analysis and graphical display software. **Statistics Comp.**, V.7, p. 75-83, 1997.
- VAN BEMMELEN, J. M. Über die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloïdalen Silikaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans u. s. w. im Ackerboden. **Die Landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen**, v. 37, p. 279–290, 1890.
- WALKLEY, A. & BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.
- WRIGHT, R.L. An examination of the value of site analysis in field studies in tropical Australia. Stuttgart, **Zeitschrift der Geomorphologie**, v. 17, n. 2, p. 156-184. 1973.
- YOUNG A. **Slopes**. Londres: Logman (Ed). 160p. 1972.

3. RESUMO EXPANDIDO ACEITO NO “XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA”

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE VOÇOROCAS E SUA RELAÇÃO COM O RELEVO EM ESCALA DE BACIA PARA FINS DE AMOSTRAGEM: RIO PANDEIROS-MG

Arnon Costa Pereira de Lima¹, Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin², Diego Alves de Oliveira³

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geologia Aplicada do IGC - Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte (MG), Brasil. E-mail: arnon.geo@hotmail.com.

² Professora do Departamento de Geografia – IGC - Universidade Federal de Minas Gerais Belo Horizonte (MG), Brasil e-mail: chaugustin@hotmail.com

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação de Geografia – IGC - Universidade Federal de Minas Gerais, Professor do IFMG, Campos Ouro Preto (MG), Brasil. E-mail: diego.oliveira@ifmg.edu.br.

Eixo:

Solos, paisagens e degradação

Resumo

A bacia do rio Pandeiros, localizada a noroeste do estado de Minas Gerais, possui significativa importância regional devido à ocorrência de um pântano em seu baixo curso, viveiro para várias espécies de peixes, sendo de fundamental importância para manutenção do ecossistema do médio curso do rio São Francisco. Esta bacia possui um significativo número de voçorocas, tornando-se necessário estudo buscando entender os condicionantes do seu surgimento e evolução, uma vez que os sedimentos oriundos deste processo erosivo podem estar contribuindo para o assoreamento da zona úmida (*wetland*). O trabalho tem por objetivo propor uma abordagem metodológica para otimizar a amostragem realizadas em vertentes nas quais estas voçorocas ocorrem, através do seu agrupamento por meio de procedimentos de análises de mapas de sensoriamento remoto. Foram utilizadas técnicas de modelagem e interpretação de imagens. Os resultados indicam a existência de cinco grupos de concentração de voçorocas na bacia, permitindo identificar que as cinco voçorocas selecionadas para estudo aprofundado são representativas do universo das voçorocas mapeadas.

Palavras chave: Voçoroca, contexto geológico-geomorfológico, amostragem, sensoriamento remoto, bacia do rio Pandeiros.

3.1 Introdução

Este trabalho foi realizado na bacia do rio Pandeiros, que possui em seu baixo curso uma região conhecida como Pantanal Mineiro, importante área que funciona como berçário

de várias espécies de peixes, sendo responsável por cerca de 70% da sua reprodução no médio São Francisco (BETHONICO, 2009). Trata-se de um ecossistema único no meio ambiente do cerrado devido à sua vasta área alagada, riqueza ecológica, além da sua fundamental importância socioambiental. Esse ecossistema encontra-se ameaçado por assoreamento, em parte decorrentes dos processos de voçorocamentos. Eles geram grande perda de sedimentos das vertentes os quais, eventualmente, alcançam os canais fluviais. Uma melhor compreensão da dinâmica geomorfológica da área de estudo em âmbito regional contribui para a investigação da gênese e evolução das voçorocas, feições geradas por esses processos, permitindo a análise mais precisa dos fatores que favorecem sua ocorrência, conhecimento fundamental para subsidiar a proposição de medidas de contenção.

Para vários estudiosos do processo de voçorocamento, ele teria relação direta com características do escoamento superficial e do solo, como é o caso de Lopes e Guerra (2001) que afirmam que as voçorocas podem ser compreendidas como uma escavação do solo provocada pela erosão pelo escoamento superficial. O papel do escoamento superficial também é enfatizado por Kirkby e Bracken (2009, p. 1842), quando apontam o papel do escoamento na iniciação e desenvolvimento do processo “voçoroca é normalmente definida como um canal profundo em uma encosta, geralmente cortado por água de escoamento e muitas vezes contendo um fluxo perene”. Da mesma maneira, Knapen e Poesen (2010, p. 217), defendem que “a erosão do solo por fluxo concentrado (ex: canal migratório e voçoroca) contribuem significativamente para o total da perda da geocobertura e é determinado fortemente pela resistência da camada superficial, topsoil (POESEN *et al.*, 2003)”.

Voçorocas podem ser entendidas ainda como o resultado da atuação de um conjunto de processos e agentes que modelam a superfície, gerando dinâmica erosiva. Augustin e Aranha (2006) definem voçorocas como formas resultantes da ação de processos erosivos complexos (voçorocamento) envolvendo a atuação individual, ou conjunta, do escoamento concentrado, piping/tunneling e dos movimentos de transferência gravitacional na superfície da vertente, condicionados pela perda do equilíbrio da vertente. Para Sidorchuk (2006), isto ocorreria quando os condicionantes erosivos se sobrepõem aos da pedogênese. Já Gutiérrez, Schnabel e Contador (2011) reforçam a necessidade da compreensão da gênese e dinâmica do voçorocamento como processo. Esses aspectos estão associados em especial às características climáticas, tais como precipitação e temperatura, e das vertentes,

tais como forma, geocoberturas e cobertura vegetal, bem como à ação antrópica, que afetam a distribuição dos fluxos de energia na sua superfície e subsuperfície.

Segundo o 2º PLANO de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro (CETEC, 1981), o processo de voçorocamento é um fenômeno recorrente nas coberturas superficiais que integram a bacia de drenagem do rio Pandeiros, sobretudo em sua cabeceira. Apesar disso, existem poucos trabalhos sobre o tema na área, indicando a necessidade do presente estudo que tem como base as seguintes questões norteadoras: quais as características geomorfológicas das vertentes nas quais as voçorocas da bacia do rio Pandeiros se desenvolvem e quais os fatores podem estar contribuindo para isto? Para responder a esta última pergunta é preciso aprofundar a análise das vertentes nas quais elas ocorrem. Como o número dessas formas erosivas é formado por um universo de 215 voçorocas, foi necessário selecionar algumas que fossem representativas das demais, para análise de detalhe em campo e laboratório.

Os principais objetivos da pesquisa são os de verificar: como se dá a distribuição espacial das voçorocas na bacia do rio Pandeiros-MG, explicar como foi feito o grupamento das voçorocas na área estudada, se há influência, e qual, dos fatores morfológicos, e se as cinco voçorocas previamente selecionadas com base na morfologia do relevo da bacia são representativas para fins de amostragem de detalhe em campo e laboratório do universo total da bacia. Para isto, foram utilizados dados indiretos, em especial mapas e instrumentos de GIS, permitindo sua espacialização e estabelecimento de relação com os vários elementos morfológicos da bacia.

3.2 Materiais e Métodos

A bacia hidrográfica do rio Pandeiros se localiza a Norte de Minas Gerais, nos Municípios de Bonito de Minas, Januária e Cônego Marinho, entre as coordenadas 15° 0' 00" S/ 15° 43' 00" S e 44° 30' 00" O/ 45° 28' 00" O, totalizando 3.960,37 km² (Fig. 5). Segundo Moura e Jardim (2017), a bacia possui uma precipitação média anual de 826,5mm e uma temperatura média de 24,2°C. Sua rede de drenagem está associada regionalmente à retração da escarpa do Chapadão Central, constituído de rochas dos Grupos Urucuia e Bambuí. (AGUSTIN *et al.*, 2019).

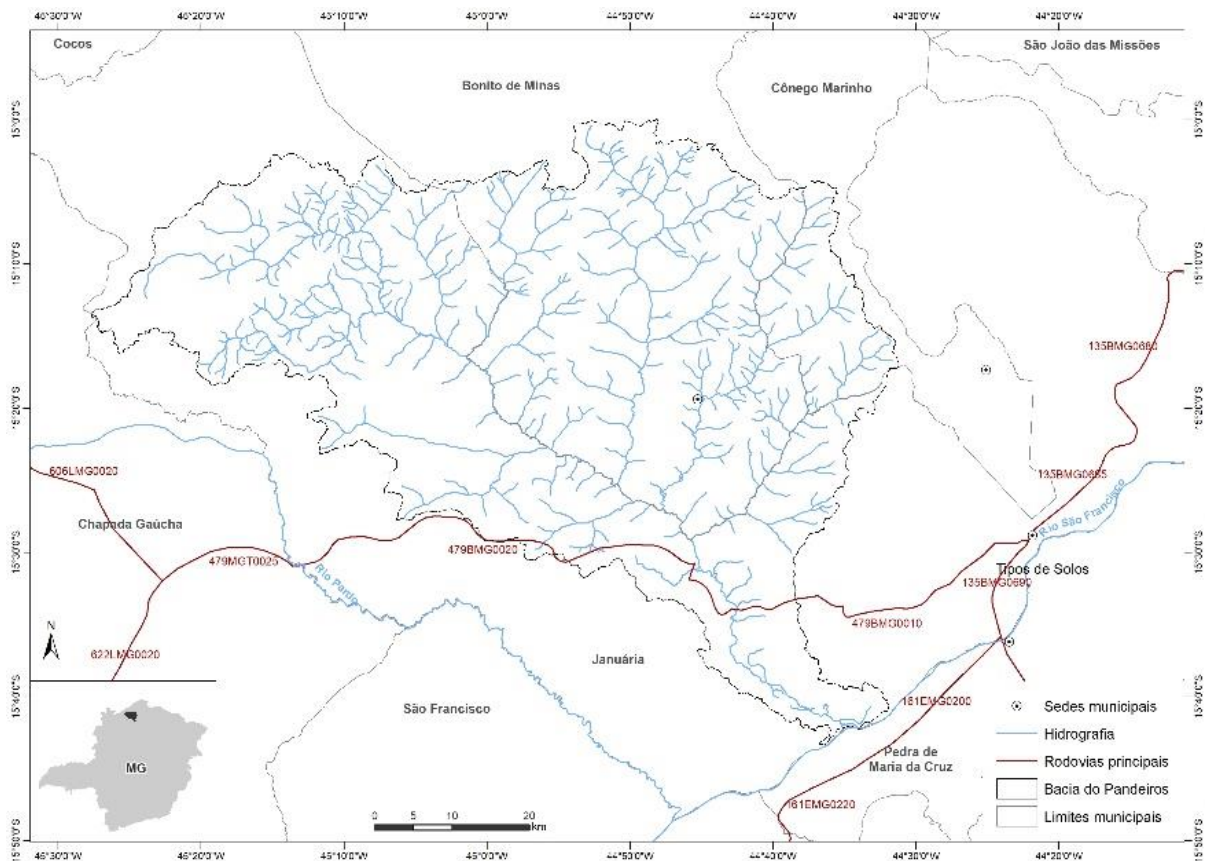


Figura 5 - Mapa de drenagem e localização da bacia do rio Pandeiros. Elaborado pelos autores.

A área é formada predominantemente por depósitos terciário-quartenários e rochas cretáceas do Grupo Urucua, da bacia sedimentar Sanfranciscana, bem como por rochas do Grupo Bambuí Neoproterozóico, e do embasamento cristalino (complexo Januária) (Fig. 6). O embasamento do cratón do São Francisco na bacia do rio Pandeiros é representado pelo Complexo Januária (granitos e gnaisses). Essas rochas afloram nos fundos dos vales de afluentes na margem esquerda do médio rio Pandeiros (CHIMPLIGANOND, 2013). Segundo este autor, recobrimo o embasamento, ocorre o Grupo Bambuí, do Supergrupo São Francisco, formadas por rochas sedimentares marinhas e continentais. Em menor proporção, estão ainda presentes as Formações Fácies Lagoa do Jacaré e Serra de Santa Helena (calcário e siltito), desse mesmo Grupo. Segundo este autor, recobrimo o embasamento, ocorre o Grupo Bambuí, do Supergrupo São Francisco, formadas por rochas sedimentares marinhas e continentais. Em menor proporção, estão ainda presentes as Formações Fácies Lagoa do Jacaré e Serra de Santa Helena (calcário e siltito), desse mesmo Grupo (Fig. 6).

O Grupo Urucua formado no Cretáceo é constituído por arenitos quartzosos avermelhados e brancos, granulação fina a média, grãos arredondados bem selecionados e

matriz argilosa (CHIMPLIGANOND, 2013). Tem contato discordante com todas as camadas subjacentes, provavelmente depositadas em um sistema eólico-fluvial. Já os depósitos aluvionares são sedimentos inconsolidados do Cenozoico, compostos de cascalhos, argilas e siltes associados a planícies de inundação (Fig. 6), enquanto as coberturas detrito-lateríticas são formadas por solos (Latosolos, Neossolos e Argissolos). O Grupo Urucuia é dominante nas zonas de cabeceira da bacia do rio Pandeiros e coincidente com a porção meridional do Chapadão das Gerais, em geral recoberto por coberturas detrito-lateríticas. Apresenta regolitos arenosos ao longo da porção central dessa bacia, e no front do Chapadão das Gerais. Próximo da foz do rio Pandeiros, por sua vez, predominam as rochas sedimentares da Formação Sete Lagoas, do Grupo Bambuí. Por fim, no meio-curso de alguns afluentes da margem esquerda do rio Pandeiros, ocorre exumação do complexo cristalino (Fig. 6).

Para a identificação e verificação da distribuição das voçorocas presentes na bacia do rio Pandeiros foram utilizadas: ortofotos CEMIG (1969), mapa geológico elaborado utilizando dados do projeto Fronteiras de Minas da CODEMIG (2015): folhas Catolé, Januária, São Francisco e São Joaquim, na escala de 1:100.000, as de melhor escala disponíveis.

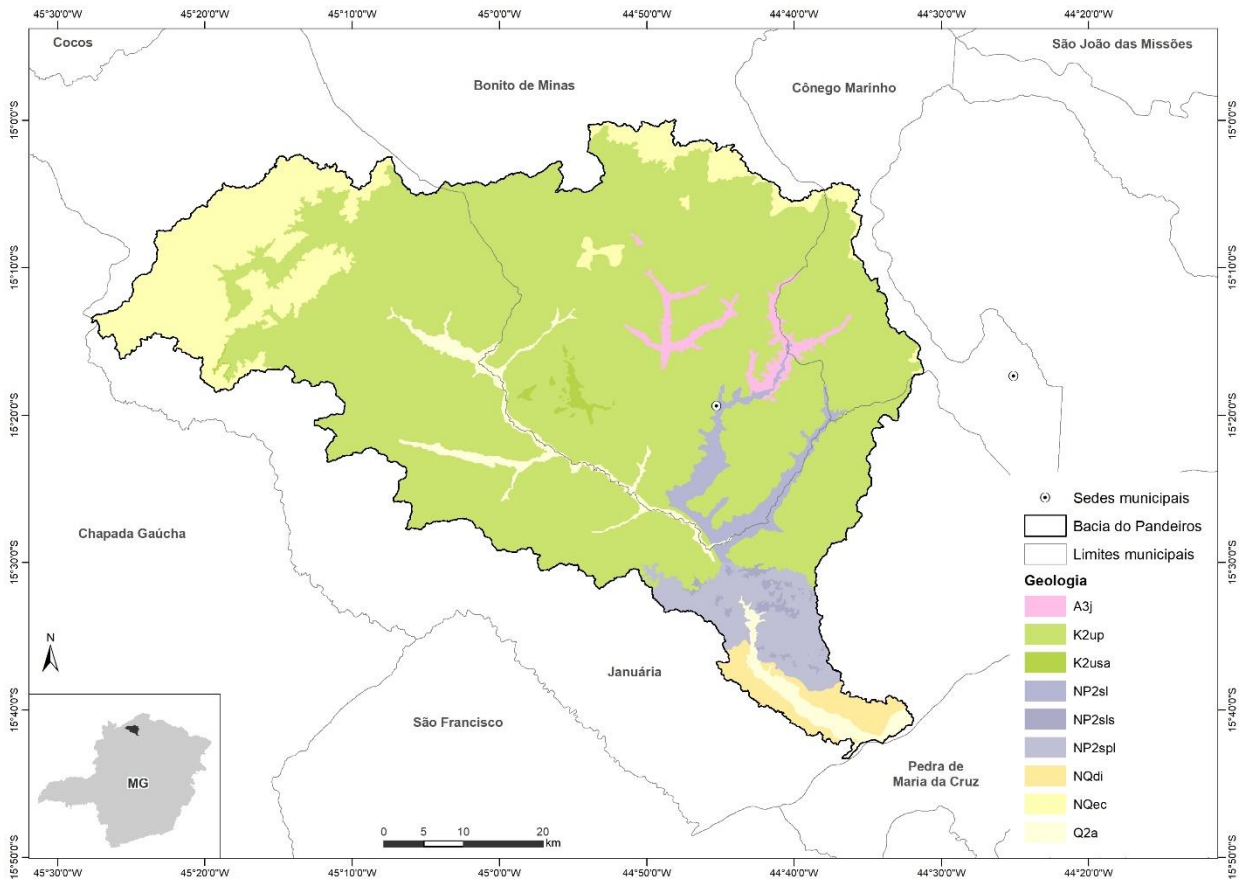


Figura 6 - Mapa geológico da bacia do rio Pandeiros, construído a partir dos mapas geológicos 1:100.000 da CODEMIG, (NQdi)- Depósitos aluvionários, (Q2a)- Depósitos aluvionários, (NQec)- Cobertura Eluvio Coluvionar, (K2usa)- Formação Serra das Araras, (K2up)- Formação Posse, (NP2sl)- Formação Sete Lagoas, (NP2sls)- Formação Sete Lagoas membro Lagoa Santa, (NP2spl)- Formação Sete Lagoas membro Pedro Leopoldo, (A3j)- Complexo Januária.

Os mapas dos índices de Hack e índice de concentração de rugosidade (ICR) e Domínios geomorfológicos foram aproveitados do trabalho de Fonseca e Augustin (2011) e de Oliveira *et al.* (2017) com base em metodologia de Sampaio e Augustin (2014), conduzida em ambiente SIG a partir de imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Topodata do INPE (imagens 15s45, 15s465, 14s45 e 14s465).

O ICR teve os valores de declividade interpolados usando a densidade por Kernel, com raio de busca de 1.128m. Os valores foram normalizados utilizando a divisão da área de abrangência pela área do pixel, divididos em 5 classes. (Fig. 7A).

Para o Índice de Hack, o autor utilizou a rede hidrográfica fornecida pelo IGAM, interpolando o inverso do quadrado da distância, com seus valores finais normalizados e divididos em 5 classes. (Fig. 7B).

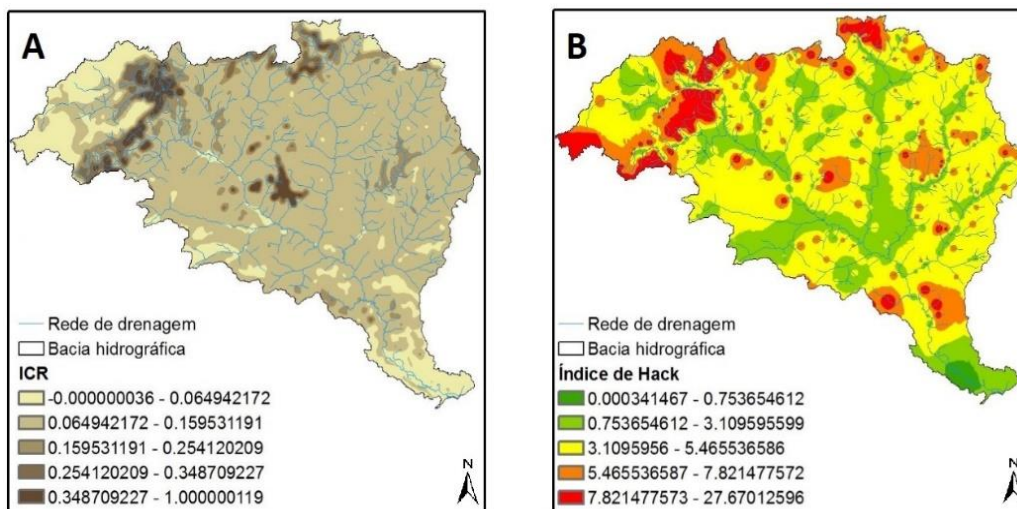


Figura 7 - Mapas utilizados para uma melhor compreensão da bacia: A– Índice de Concentração de Rugosidade e B – Índice de Hack. Fonte: Oliveira et al. (2017).

3.3 Resultados e discussões

O mapeamento mostrou, inicialmente, que as 215 voçorocas mapeadas na bacia do rio Pandeiros não apresentavam distribuição aleatória, mas se encontram espacialmente agrupadas em cinco regiões (Fig. 8). A partir do mapa geológico (Fig. 6) mesmo levando em consideração a escala de pouco detalhe, é possível verificar que as voçorocas tendem a aparecer em regiões de contato entre litologias diferentes, o que corrobora os resultados de Maia-Rodrigues e Augustin (2012), quando abordam a influência das rochas arenosas do Grupo Areado e Urucuia, e as carbonáticas do Grupo Bambuí.

Da mesma maneira, a partir da análise dos mapas de ICR e Hack (OLIVEIRA, *et al.*, 2017), (Figuras 7, A e B) e do mapa hipsométrico (Fig. 9) é possível observar que todas as voçorocas, e suas regiões de ocorrência, encontram-se contidas em três grandes rupturas de declive da bacia. Isto pode ser identificado também no perfil longitudinal da bacia do rio Pandeiros (Fig. 10), evidenciando essas três grandes áreas de ruptura de declividade que marcam a bacia do topo às áreas rebaixadas da jusante do rio.

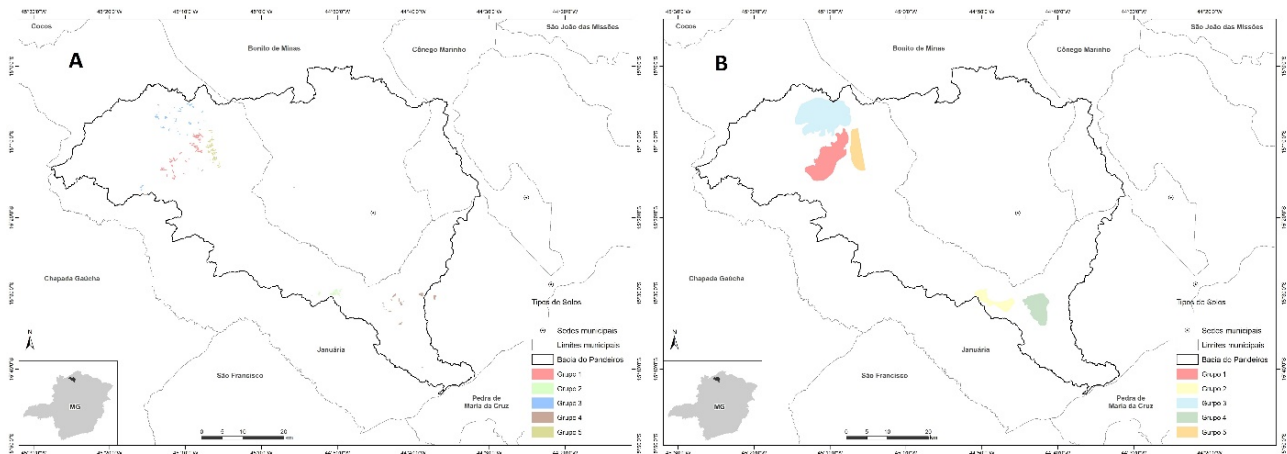


Figura 8 - A) Voçorocas mapeadas e agrupadas em cinco grupos, B) Regiões onde os agrupamentos ocorrem, indicando a representatividade das voçorocas escolhidas para amostragem de campo. Elaborado pelo Autores.

As rupturas de relevo são coincidentes, como as regiões de ocorrência de voçorocamento e com as transições entre as compartimentações geomorfológica de Oliveira *et al.* (2017). A identificação das áreas de ocorrência de voçorocas pode ser ainda verificada a partir das figuras 8, 9 e 10, mostrando que o primeiro agrupamento (Grupo 1) ocorre na transição entre os domínios geomorfológicos 1 e 2 (Fig. 11), e é marcada por uma grande ruptura de declive, situada no front da Escarpa formada no contato entre o topo da Chapada das Geraís, área que abriga as cabeceiras do rio Pandeiros, e a porção já erodida da bacia. Nesta porção, as rochas do grupo Urucuia possuem uma cobertura detrito-laterítica (Fig. 11) que, aparentemente, ao ser rompida, induz à erosão acelerada, podendo ser um condicionante das voçorocas do grupo Igrejinha, assim denominado em função do distrito no qual ocorrem.

O maior número de voçorocas ocorre na segunda grande ruptura de relevo, entre 700 e 600m de elevação (Fig. 9), caracterizada como o domínio das vertentes diretamente ligadas ao rio Pandeiros (Fig. 7B). Esta região apresenta duas áreas de morfologia distintas: uma, com vertentes mais longas e com maior inclinação, na margem esquerda do rio Pandeiros, e outra, na margem direita, com vertentes menos inclinadas e mais curtas. Devido a essa assimetria, optou-se por sua separação em dois grupos de voçorocas, embora estas ocorram na região do mesmo patamar de ruptura de declive (Fig.6) e substrato geológico semelhante (Urucuia).

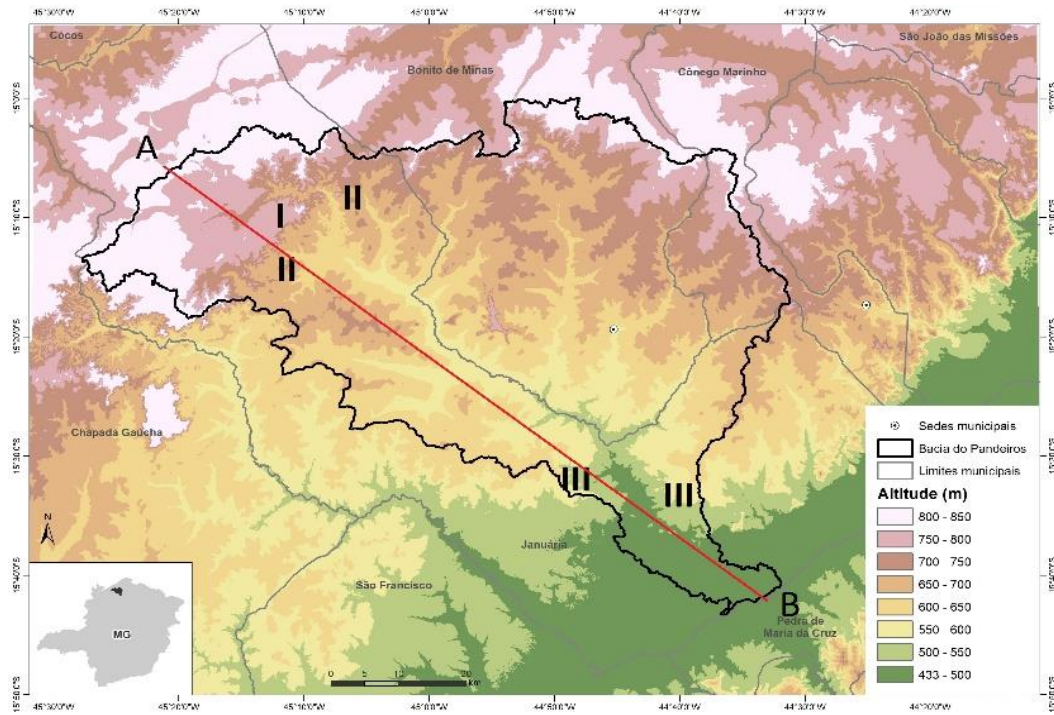


Figura 9 - Mapa hipsométrico da região da bacia do Rio Pandeiros.



Figura 10 - Perfil longitudinal da bacia do rio Pandeiros.

Às da margem esquerda do rio, fazem parte do Grupo Cabeceirinhas (Grupo 2) e as da margem direita Grupo Várzea Bonita (Grupo 3), ambos os nomes devido a distritos próximos. Na terceira, e última grande ruptura de relevo da bacia (Fig's. 9 e 10), as voçorocas voltam a aparecer. Assim como na segunda ruptura, aqui também ocorre assimetria da bacia, na qual a margem direita do rio possui vertentes com maior inclinação e maior rugosidade.

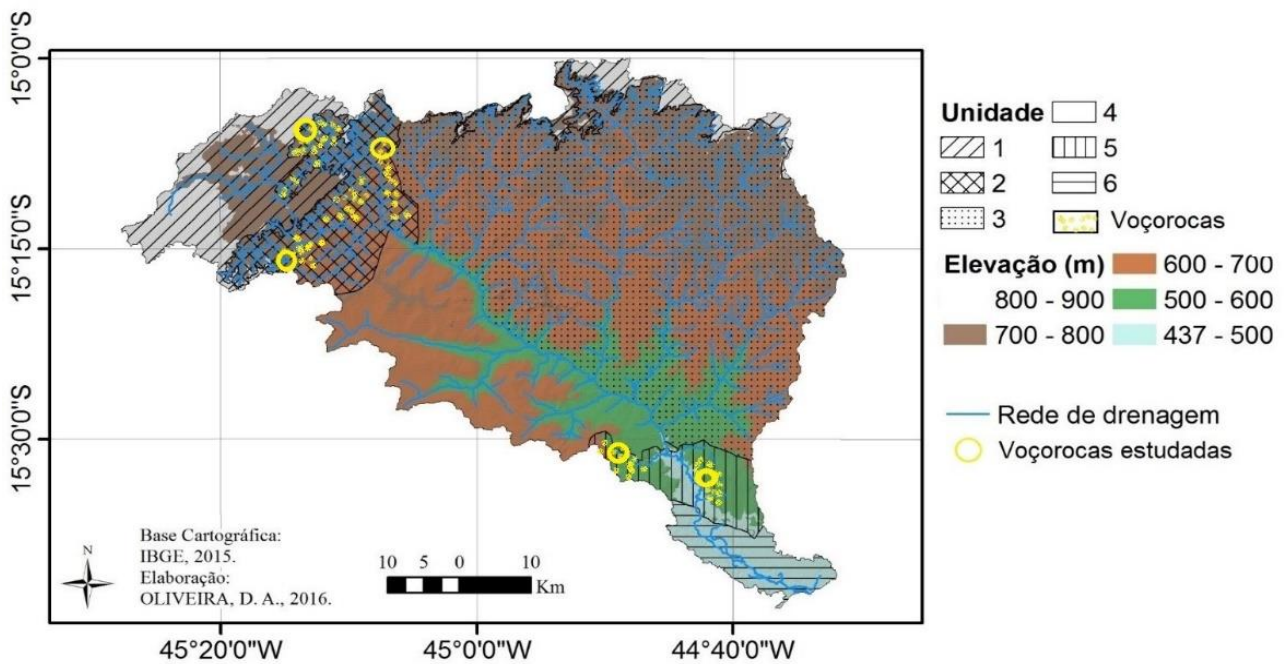


Figura 11 - Mapa de compartimentação geomorfológica da bacia do rio Pandeiros, adaptado de Oliveira et al., (2017).

Também devido a esta assimetria, optou-se pelo agrupamento das voçorocas em dois grupos: Grupo 4, englobando as voçorocas da cabeceira do rio Mandim, afluente da margem direita do rio Pandeiros, e as do Grupo 5, para as próximas ao povoado de Campos.

3.3.1 Considerações Finais

Ao analisar a localização dessas cinco Grupos nos mapas: geológico (Fig. 6), de ICR, do Índice de Hack, (Fig. 7A e 7B) e hipsométrico (Fig. 9), foi possível observar que cada uma delas representa um padrão morfológico individualizado do relevo da bacia do Pandeiros, localizados em contextos geológico e geomorfológico diferenciados.

A abordagem proposta permitiu assumir que as cinco dessas voçorocas selecionadas para fins de detalhamento de campo e laboratório, são representativas das 215 voçorocas presentes na área de estudo. Cada uma ocorre em um dos cinco (5) agrupamentos geológico-geomorfológicos distintos presentes na bacia. Sua identificação tornou-se possível pelo uso de dados indiretos, de mapas mesmo em escala de pouco detalhe (1:100.000), com o uso de ferramentas do GIS, gerando mapas auxiliares (Índice de Hack, ÍCR e hipsométrico), que deram agilidade e rapidez aos procedimentos proporcionando inclusive base de verificação de campo e imagens Google Earth,

Agradecimentos e entidades financiadoras: à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio financeiro ao projeto de Pesquisa Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros-MG

3.4 Referências Bibliográficas

(CRA-APQ-03773-14), ao IGC/UFGM, pela disponibilização da infraestrutura de campo e laboratorial para a realização desta pesquisa e a CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Referências Bibliográficas

ARANHA, P.R.A. **Estudo das coberturas superficiais e sua dinâmica na região de Gouveia, Serra do Espinhaço, MG: utilizando o radar de penetração do solo (GPR).** 2002. 258f. Tese de doutorado - Universidade federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002.

AUGUSTIN, C.H.R.R., ARANHA P.R.A. A ocorrência de voçorocas em Gouveia, MG: Características e processos associados. **Geonomos**, v. 14, p. 75-86, 2006.

AUGUSTIN, C.H.R.R., FONSECA, B.M., OLIVEIRA D.A., LIMA A.C.P., ARANHA, P.R.A, BANDEIRA, J.V. **O relevo e a drenagem da bacia do rio Pandeiros-MG.** Artigo sendo finalizado para a revista MG-Biota. Número Especial, 2019.

BETHONICO, M.B.M. **Área de proteção ambiental estadual do rio Pandeiros-MG: espaço, território e atores. Tese de Doutorado.** 2009. 288p. Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro. 2009.

CHIMPLIGANOND, C.N. **Estudos sobre a sismicidade de Caraíbas-Itacarambi, Minas Gerais: causas e características.** 2013. 100 f. Tese de Doutorado - Curso de Geologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

COELHO NETO, A.L., FERNANDES, N.F., DEUS, C.E. Gullyng in southeastern Brazilian Plateau, Bananal, SP. **Anais Proceedings of the Porto Alegre Symposium of Sediments Budgets**, 174, p. 35-42, 1988.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS (CODEMIG), **PROJETO FRONTEIRAS DE MINAS, MAPAS GEOLÓGICO Januária, Catolé, São Joaquim e São Francisco**, Escala 1:100.000, 2014.

DE MOURA, F., JARDIM, C.H. Variação temporal das chuvas em Januária, Carinhanha e Montes Claros, norte do estado de Minas Gerais. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, n^o 2017, p. 2705-2709, 2017.

FONSECA, B.M, AUGUSTIN, C.H.R.R. Use of GIS to calculate Hack Index as a basis for comparative geomorphologic analysis between two drainage basins: a case study from SE-Brazil. In: International Geographic Union Regional Geographic Conference - UGI 2011, 2011, Santiago. **Abstracts International Geographic Union Regional Geographic Conference - UGI 2011**. Santiago: Military Geographic Institute of Chile (IGM), vol. 1, p. 1-12, 2011.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **2º Plano de desenvolvimento integrado do Noroeste Mineiro: recursos naturais**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, CETEC, segunda edição, 359p. Belo Horizonte, FINEP, 1981.

GUTIÉRREZ, A.G., SCHNABEL, S., CONTADOR, F.L. Processes, factors and consequences of gully erosion, investigations on the Iberian Península. **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**. nº55, p 385-387, 2011.

KIRKBY, M.J., BRACKEN, L.J. Gully processes and gully dynamics. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 34, p. 1841–1851, 2009.

KNAPEN, A., POESEN, J. Soil erosion resistance effects on rill and gully initiation points and dimensions. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 35, p. 217–228, 2010.

LOPES, S.L., GUERRA, A.J.T. Monitoramento de voçorocas por satélites GPS em áreas de areia quartzosa podzolizada: Praia Mole, Florianópolis-SC. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia-GO**, v. 1, N. 1, p. 106, 2001.

MAIA-RODRIGUES, B.H.: **Análise da dinâmica de evolução do relevo e das condições geomorfológicas de bacias hidrográficas da margem esquerda do rio São Francisco - norte de Minas Gerais**. 2012. 114f. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2012.

NUNES, Y.R.F., DE AZEVEDO, I.F.P., NEVES, W.V., VELOSO, M.D.M, DE ALMEIDA, R., FERNANDES, G.W. *IN*: MG-BIOTA. **Pandeiros: o Pantanal Mineiro**, v. 2, n.2 jun./jul, p. 4-16, 2009.

OLIVEIRA, D.A., AUGUSTIN, C.H.R.R., FONSECA, B.M. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG. **Os**

Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, n. 2017, p. 6253-6262, 2017.

POESEN, J, NACHTERGAELE, J, VERSTRAETEN, G., VALENTIN, C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**, v. 50, nº 2-4, p. 91-133, 2003.

SAMPAIO, T.V.M., 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, nº 1, p. 47-60, jan. 2014.

SIDORCHUK, A. Stages in gully evolution and self-organized criticality. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 31, p. 1329–1344, 2006.

4. ARTIGO SUBMETIDO A REVISTA “PESQUISAS EM GEOCIÊNCIAS”

Estatística aplicada às análises das geocoberturas de vertentes com voçorocamento: bacia do rio Pandeiros-MG.

Arnon Costa Pereira de LIMA¹, Cristina Helena Ribeiro Rocha AUGUSTIN², Diego Alves de OLIVEIRA³ & Tiago Amâncio NOVO^{4*}

¹ Mestrando no programa de Pós-Graduação em Geologia aplicada da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Av. Antônio Carlos, 6.627, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte (MG), Brasil. (E-mail: arnonbhmg@gmail.com).

² Professora do Departamento de Geografia – CPMTC - IGC - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Av. Antônio Carlos, 6.627, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte (MG), Brasil, (E-mail: chaugustin@hotmail.com).

³ Doutorando do Programa de Pós-Graduação de Geografia – IGC – Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6.627, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte (MG), Professor do Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, Campos Ouro Preto (MG), Rua Pandiá Calógeras, 898, Bauxita, CEP 35400-000, Ouro Preto (MG) – Brasil (E-mail: diego.oliveira@ifmg.edu.br).

⁴ Professor do Departamento de Geologia – CPMTC - IGC – Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, Av. Antônio Carlos, 6.627, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte (MG), Brasil, (E-mail: tiagonovo@gmail.com).

*Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

RESUMO

Os impactos do processo de voçorocamento contribuem para crescente vulnerabilidade ambiental não somente pela perda de solo agricultável, como também pelo comprometimento dos próprios cursos de água de uma bacia, pelo intenso assoreamento que provocam. É o que ocorre na bacia do rio Pandeiros, localizada no noroeste do estado de Minas Gerais, de grande importância regional devido à ocorrência de um pântano em seu baixo curso, viveiro de várias espécies de peixes, fundamental para a manutenção do ecossistema do médio curso do rio São Francisco. A adoção de medidas de contenção desse tipo de erosão indica a necessidade do conhecimento mais aprofundado das vertentes nas quais as voçorocas ocorrem, a partir do estudo das suas geocoberturas. Este trabalho investiga os fatores associados à distribuição espacial das voçorocas na bacia, baseados em dados geomorfológicos, geológicos e ferramentas SIG, e a análise das principais características físicas e químicas, granulometria, pH (em água, em KCl e Δ pH), condutividade elétrica (C.E), matéria orgânica (M.O) e carbono orgânico (C.O), macronutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), e os óxidos (Fe_2O_3 , TiO_2 e Al_2O_3) de cada vertente/voçoroca, de maneira a compreender sua influência no comportamento das voçorocas selecionadas para estudo de detalhe. Os resultados indicaram a existência de controles morfológicos do relevo, com o agrupamento das 215 voçorocas mapeadas em cinco grandes áreas, limitadas

por rupturas de declive de caráter local, ou seja, específicas na bacia. Tais parâmetros investigados subsidiaram as análises estatísticas de correlação de Pearson, a qual evidenciou relações de associação entre os parâmetros físico-químicos dos geomateriais com destaque para a grande influência da granulometria sobre os outros parâmetros. A Análise de Componentes Principais permitiu a comparação entre as cinco vertentes/voçorocas estudadas, indicando a existência de heterogeneidade entre elas, com base nas características das suas geocoberturas. Possibilitou ainda comprovar a representatividade de cada uma delas, com relação a cada agrupamento no qual se encontram inseridas.

Palavras chave: bacia fluvial, voçoroca, propriedades físico-químicas das geocoberturas, análise estatística, bacia rio Pandeiros.

ABSTRACT

The impacts of the gullies process contribute to increasing environmental vulnerability not only by the loss of arable land, but also by the impairment of the own watercourses of a basin, due to the intense sedimentation that they cause. This is the case of the Pandeiros river basin, located in the northwestern part of the state of Minas Gerais, of great regional importance due to the occurrence of a wetland in the mouth, nursery of several species of fish, fundamental for the maintenance of the middle course ecosystem of the São Francisco River. The adoption of measures to contain this type of erosion indicates the need for a more in-depth knowledge of the slopes in which the gullies occur, based on the study of their geo coverings. This work investigates the factors associated to the spatial distribution of gullies in the basin, based on geomorphological, geological and GIS data, and the analysis of the main physical and chemical characteristics, grain size, pH (in water, KCl and Δ pH), electrical conductivity (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} and Na^{+}), and the oxides (Fe_2O_3 , TiO_2 and Al_2O_3) of each strand / voçoroca, in order to understand its influence on the organic matter (O.M) and organic carbon (O.C), macronutrients. The results indicated the existence of morphological relief controls, with the grouping of 215 gullies mapped in five large areas, limited by local slope ruptures, that is, specific in the basin. Such parameters investigated subsidized correlation analysis Pearson statistics, which showed association relationship between the physical and chemical parameters of geomaterials highlighting the great influence of particle size on the other parameters. The analysis of Principal Components allowed the comparison between the five studied slopes gullies, indicating the existence of heterogeneity between them, based on the characteristics of

their geo coverings. It also proved the representativeness of each of them, in relation to each grouping in which they are inserted.

Keywords: River basin, Gully, physico-chemical properties, statistical analysis, Pandeiros river basin.

4.1 INTRODUÇÃO

Voçorocas são feições superficiais resultantes de processos erosivos complexos, incluindo os de transferência gravitacional, que levam a uma grande movimentação de sedimentos nas vertentes, sedimentos estes que podem atingir os canais fluviais (Augustin, 2006). Em grande quantidade, a erosão acelerada, a depender de sua localização, por exemplo, próxima, ou em áreas ocupadas, pode provocar perda de terrenos agricultáveis e à destruição de edificações (Montgomery, 1994, Nyssen *et al.*, 2002, Nagasaka, *et al.*, 2005, Hancock & Evans, 2006, Svoray & Markovitch, 2009). Outro efeito é a deposição em grandes quantidades de sedimentos nos canais fluviais, o que pode levar ao seu assoreamento (Goméz, *et al.*, 2003) e perda de condições de manutenção de ecossistemas e das populações ribeirinhas, que deles dependem diretamente para sobreviver.

O voçorocamento, de acordo com Augustin (1995), Bacellar (2000), Aranha (2002), Augustin & Aranha (2006a, 2006b) e Sidorchuk (2006), é condicionado pela perda do equilíbrio da vertente, isto é, ocorre quando os condicionantes erosivos se sobrepõem aos da formação do regolito/pedogênese. Esses condicionantes estão associados às características da geologia, do clima, do relevo/vertente, incluindo a cobertura vegetal e a ação antrópica, que afetam a distribuição dos fluxos de energia na superfície e subsuperfície, (Young, 1972, Vitte & Pereira de Mello, 2007). Para Moreira (1992), o processo de voçorocamento, por constituir um sistema complexo, exige o estudo e a interpretação dos vários fatores envolvidos em sua evolução tais como: (i) erosão hídrica superficial, (ii) subsuperficial e (iii) movimentos de massa, não se restringindo aos aspectos e características dos impactos antrópicos.

Crouch & Blong (1989) afirmam que as maneiras como a erosão ocorrem são modificadas em especial pela ação da água e pela gravidade, produzindo respostas diferentes, dependendo das características físicas e químicas de todos os materiais da vertente, o que lhes confere grande dinamismo. Young (1972) também ressalta a

importância da caracterização das geocoberturas, ao se analisar os perfis ao longo de topossequências uma vez que, a partir delas, é possível inferir sobre os principais processos de modelagem da vertente, o que auxilia na compreensão da relação entre as geocoberturas e a dinâmica geomorfológica. As vertentes nas quais ocorrem voçorocas podem apresentar evidências da sua dinâmica evolutiva, ou seja, dos processos ocorridos no passado e no presente (Messias-Martins *et al.*, 2013), oferecendo base analítica sobre que elementos podem estar associados aos processos associados ao seu modelado, incluindo o voçorocamento (Young, 1972, Augustin 1979, 1995).

Para aprofundamento da investigação das voçorocas, é importante analisar as vertentes e suas geocoberturas, em especial suas propriedades físicas e químicas, obtidas em laboratório (Daniels & Hammer, 1992). A vertente deve ser analisada como a moldura natural na qual a dinâmica geomorfológica se processa, de maneira a a que se possa compreender o contexto no qual os processos geradores das voçorocas ocorrem. Utiliza-se o termo geocoberturas para identificar o material que recobre as vertentes, incluindo os de origem eluvial, coluvial e aluvial. Distingue-se do termo solo, por não levar em consideração seus aspectos genéticos e/ou edáficos, embora se tenha observado característica do material superficial geradas por pedogênese, como por exemplo, a distinção entre horizontes (Augustin, 1979).

Este é o caso da bacia do rio Pandeiros, onde o número de voçorocas é muito alto, conforme aponta CETEC, (1981) e Lima *et al.*, (2019). Levando em consideração a dimensão dessas formas, que podem atingir até 860 m de comprimento, 40m de largura e 40 m de profundidade, pode-se afirmar que os processos de voçorocamento a elas associados contribuem para o assoreamento dos canais fluviais e do Pantanal Mineiro (Lima *et al.*, 2019). Isto ocorre através da retirada, transporte e deposição dos sedimentos, em quantidades acima da capacidade do sistema fluvial de transporta-los na quantidade em que são gerados, causando o assoreamento (Young, 1972, Hancock & Evans, 2006.). Este, por sua vez, impacta todo o sistema fluvial, especialmente a zona úmida conhecida como Pantanal Mineiro, responsável por cerca de 70% da sua reprodução de peixes no médio São Francisco (CETEC, 1981, Bethonico, 2009a, 2009b, Frota, 2013).

O principal objetivo deste artigo é verificar como as características das vertentes/voçorocas estudadas e das suas geocoberturas podem contribuir para um melhor entendimento da gênese e/ou desenvolvimento de voçorocas na bacia do rio Pandeiros.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Localização e características da área

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Pandeiros, localizada no Norte de Minas Gerais, cujo baixo curso faz parte da Área de Preservação Ambiental – APA criada através da Lei estadual 11.901 de 01/09/1995, abrangendo os Municípios de Bonito de Minas, Januária e Cônego Marinho. A bacia estende-se entre as coordenadas 15° 0' 00" S e 15° 43' 00" S e 44° 30' 00" O e 45° 28' 00" O, totalizando 3.960,37 km² (Fig.12).

A vegetação da região é formada por espécies de transição entre cerrado e caatinga e suas variações, biomas marcados pelo déficit hídrico significativo em parte do ano hidrológico da estação seca, correspondente ao inverno (IBGE, 2004a, 2004b). O clima é classificado como Aw, segundo a classificação de Köppen, ou seja, tropical quente, com uma precipitação média anual de 826,5mm e déficit hídrico concentrado entre abril e setembro, com temperatura média de 24,2°C (De Moura & Jardim, 2017).

A área é formada predominantemente por depósitos terciário-quaternários e rochas cretáceas do Grupo Urucua, da bacia sedimentar Sanfranciscana, bem como por rochas do Grupo Bambuí Neoproterozóico, e do embasamento cristalino (complexo Januária). A paisagem é formada de planaltos esculpidos em arenitos do grupo Urucua, especialmente reduzidos, superpostos a rochas carbonáticas e metapelíticas do Grupo Bambuí, com afloramentos localizados de rochas granito ganáissicas (Augustin *et al.*, 2019), que afloram nos fundos dos vales de afluentes na margem esquerda do médio rio Pandeiros (Chimpliganond, 2013).

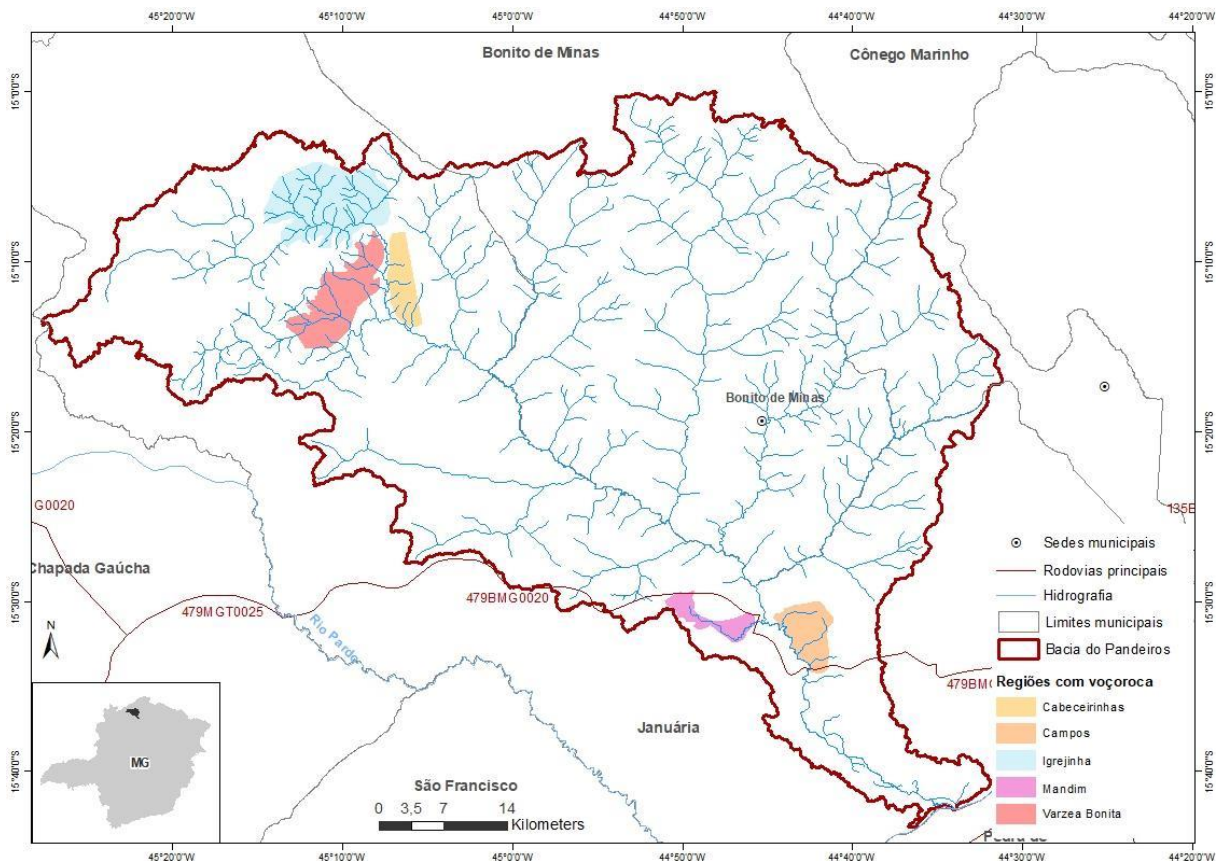


Figura 12 - Localização da bacia do rio Pandeiros, e áreas amostrais.

4.2.2 Métodos e Técnicas

4.2.2.1 Procedimentos Preliminares

Para a verificação da distribuição espacial das voçorocas na bacia do rio Pandeiros foram utilizadas ortofotos 1:60.000 da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG de 1969 e imagens do Google Earth. A análise dos resultados da espacialização das 215 voçorocas possibilitou a identificação de 5 grandes agrupamentos. Para entender os fatores associados a esses agrupamentos, foram utilizados os seguintes dados indiretos: i) Mapa geológico elaborado à partir do projeto Fronteiras de Minas da CODEMIG: folhas Catolé, Januária, São Francisco e São Joaquim, na escala de 1:100.000 (2015), ii) Mapas do Índice de Hack, Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) e Domínios Geomorfológicos do trabalho de Oliveira *et al.*, (2017) com base em metodologia de Sampaio & Augustin (2014), conduzidos em ambiente SIG a partir de imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Topodata do INPE (imagens 15s45, 15s465, 14s45 e 14s465), iii) Mapa

hipsométrico da região da bacia do rio Pandeiros, elaborado pelos autores, iv) Mapa de Compartimentação Geomorfológica da bacia do rio Pandeiros, de Oliveira *et al.*, (2017). Eles indicaram que os agrupamentos são limitados por grandes rupturas de declive na bacia do rio Pandeiros (Lima *et al.*, 2019), corroborando a presença de grande Unidades Geomorfológicas encontradas por Oliveira *et al.* (2017).

Buscando compreender melhor as características das vertentes de cada um desses cinco grandes agrupamentos de voçorocas, foram identificadas cinco vertentes com a presença voçorocas, uma em cada agrupamento. Para isto, foi levada em consideração, a relevância da distribuição espacial das voçorocas dentro de cada agrupamento e o seu comprimento médio próximo de 400m, por este representar o tamanho mais frequente desta forma erosiva, além de possibilitar uma melhor amostragem de detalhe. A seleção das vertentes/voçorocas, considerando esses aspectos e a acessibilidade, para estudo, foram escolhidas de maneira aleatória e denominadas de: Cabeceirinhas (vertente 1), Campos (vertente 2), Igrejinha (vertente 3), Mandim (vertente 4) e Várzea (vertente 5), em função da proximidade de cada uma com as denominações dos locais próximos aos quais ocorrem (Fig. 2).

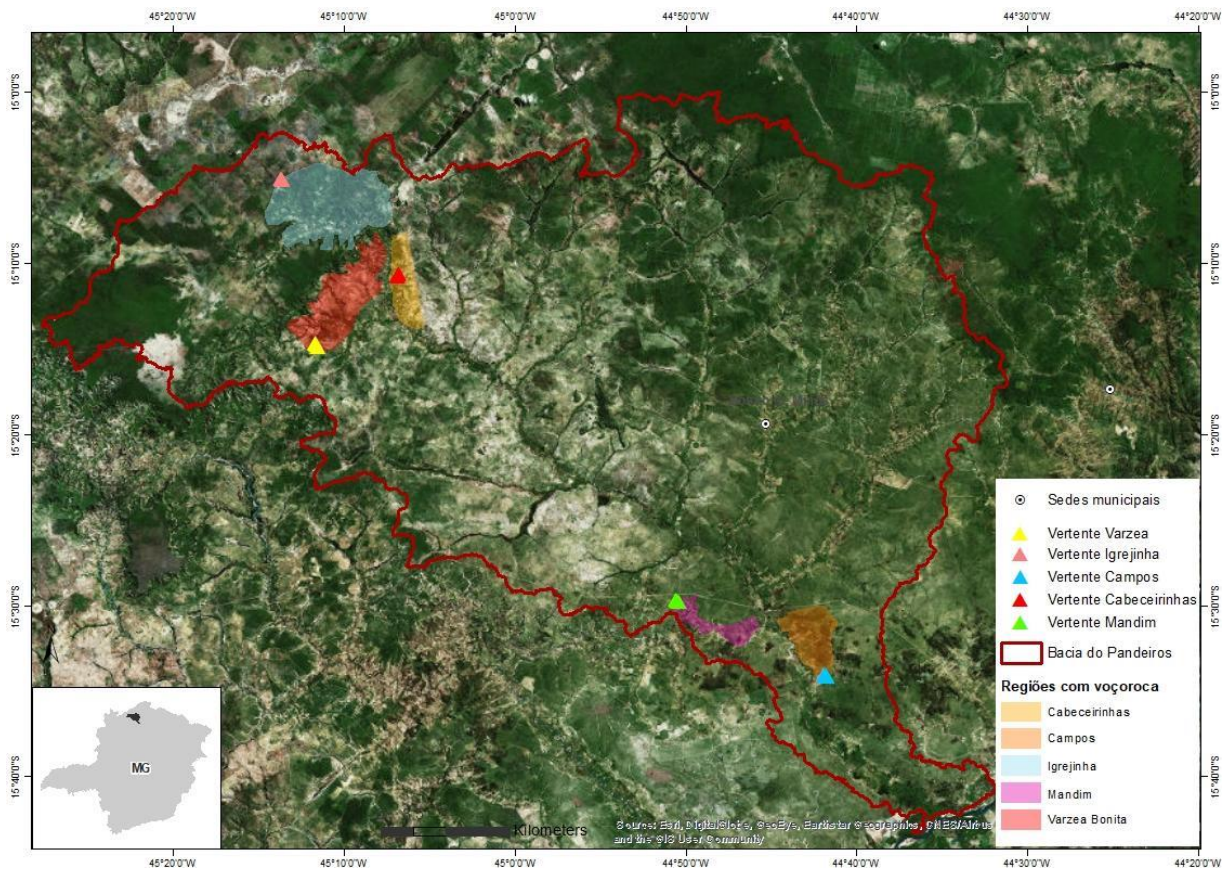


Figura 13 – Localização das vertentes/voçorocas de estudo

4.2.2.2 Amostragem

Em cada uma dessas vertentes com voçorocamento, uma em cada agrupamento reconhecidos por Oliveira *et al.*, (2017) e Lima *et al.*, (2019), seguindo procedimentos propostos por Christian & Stewart, (1968) e Wright (1973), adaptados por Augustin (1979), foi realizado um transecto do topo até a base, ao longo do qual foram medidos o azimute e a declividade, com o auxílio de três balizas de 2 m alinhadas à distâncias regulares de 20 m, um GPS e um clinômetro de leitura direta Suunto.

As medidas de declividade possibilitaram a identificação dos Sítios Geomorfológicos (SG), definidos por Augustin (1995) como “unidades da vertente que morfologicamente apresentam uniformidade interna, e são externamente delimitadas por descontinuidades de gradientes”, possibilitando, com isto, a compartimentação das vertentes.

Na porção central, de cada sítio foi aberta uma trincheira com até 2 metros de profundidade para descrições morfológicas e coleta de amostras do material. A descrição

dos perfis e a coleta das amostras para análises laboratoriais seguiu metodologia proposta por Lemos *et al.*, (2013). Os perfis realizados e amostras coletadas foram os seguintes:

1) Cabeceirinha, onde foram abertos 4 perfis e coletadas 16 amostras (Fig.14).



Figura 14 - vertente/voçoroca denominada de Cabeceirinhas, amostrada em perfil do topo para a base de uma das voçorocas presentes na meia/baixa vertente.).

Coordenadas dos perfis abertos.

Perfil 1	15°10'43.94"S	45° 6'50.11"O
Perfil 2	15°10'41.38"S	45° 6'49.39"O
Perfil 3	15°10'38.42"S	45° 6'48.06"O
Perfil 4	15°10'34.43"S	45° 6'46.22"O

2) Campos, onde foram abertos 6 perfis e coletadas 22 amostras (Fig. 15).

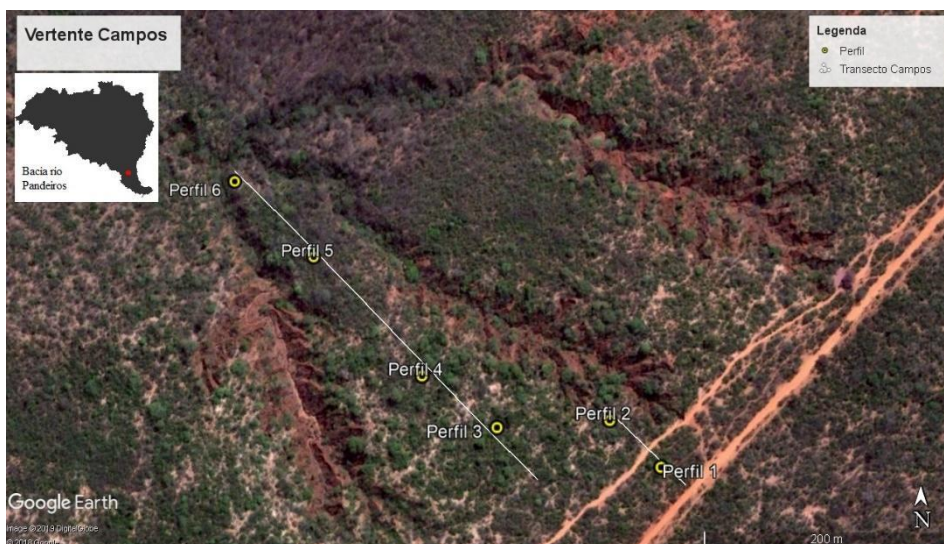


Figura 15 - Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Campo ao longo de uma das três voçorocas que ocorrem na meia/baixa vertente, unidas por um tronco comum.).

Coordenadas dos perfis abertos.

Perfil 1	15°34'7.36"S	44°41'40.45"O
Perfil 2	15°34'6.23"S	44°41'41.76"O

Perfil 3	15°34'6.40"S	44°41'44.70"O
Perfil 4	15°34'5.17"S	44°41'46.69"O
Perfil 5	15°34'2.14"S	44°41'49.77"O
Perfil 6	15°34'0.12"S	44°41'52.02"O

3) Igrejinha, onde foram amostrados 4 perfis com 16 amostras coletadas (Fig. 16).



Figura 16 - Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Igrejinha, voçoroca profunda e muito ativa.

Coordenadas dos perfis abertos.

Perfil 1	15° 5'1.17"S	45°13'41.08"O
Perfil 2	15° 5'1.54"S	45°13'40.49"O
Perfil 3	15° 5'3.10"S	45°13'38.92"O
Perfil 4	15° 5'4.05"S	45°13'38.29"O

4) Mandim, onde foram abertos 4 perfis com 12 amostras coletadas (Fig. 17).



Figura 17 - Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Mandim, na baixa vertente com voçorocas em estágios diferenciados de incisão ao rio Mandim.

Coordenadas dos perfis abertos.

Perfil 1	15°29'38.54"S	44°50'30.64"O
Perfil 2	15°29'41.48"S	44°50'27.87"O
Perfil 3	15°29'45.89"S	44°50'24.37"O
Perfil 4	15°29'47.68"S	44°50'22.56"O

5) Várzea, onde foram abertos 4 perfis com 15 amostras coletadas (Fig.18).

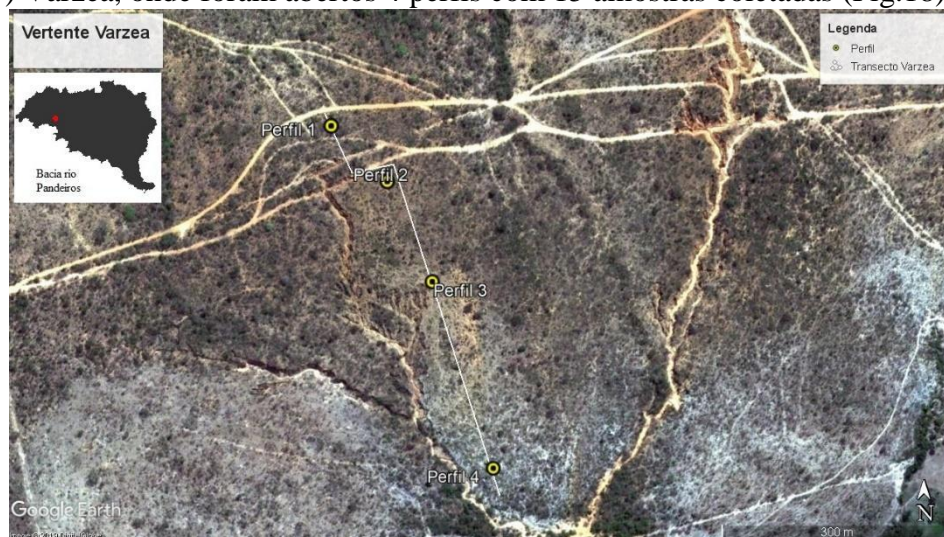


Figura 18 - Sequência dos perfis ao longo do transecto na vertente/voçoroca Várzea, localizada na baixa vertente, conecta-se diretamente com um canal fluvial. O perfil foi como no caso das demais, realizado do topo até a base da forma erosiva.

Coordenadas dos perfis abertos.

Perfil 1	15°14'37.21"S	45°11'39.62"O
Perfil 2	15°14'39.29"S	45°11'37.43"O
Perfil 3	15°14'43.21"S	45°11'35.64"O
Perfil 4	15°14'50.83"S	45°11'33.10"O

Foram coletadas, no total, 81 amostras das geocobertura de 5 vertentes com a presença de voçorocas, que foram encaminhadas para análise dos parâmetros granulométricos e químicos no Laboratório de Geomorfologia, Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais.

4.2.2.3 Análises laboratoriais

Os parâmetros granulométricos e químicos seguiram métodos descritos por Donagema *et al.* (2017). Os físicos: textura (areia grossa, areia fina, silte e argila) foram medidos pelo método da pipeta por com dispersante NaOH 0,1 mol.L⁻¹, pH (em água, em KCl e Δ pH) determinados por potenciometria na suspensão geocobertura-água 1:2,5 em água, KCl 1mol.L⁻¹, condutividade elétrica (C.E) com condutivímetro, matéria orgânica (M.O) e carbono orgânico (C.O) pela metodologia de oxidação com dicromato de potássio, macronutrientes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺), onde cálcio e magnésio são extraído por meio da

solução 1M de KCl titulados com EDTA e sódio e potássio por fotômetro de chama, e os óxidos (Fe_2O_3 , TiO_2 e Al_2O_3) pela extração sulfúrica. Os resultados das análises estão contidos no apêndice A.

4.2.2.4 Tratamento Estatístico

Com base nos resultados dos dados laboratoriais, foram utilizados testes estatísticos buscando identificar homogeneidades/heterogeneidade entre as características físico-químicas das geocoberturas, através de técnicas que permitem verificar as relações entre os principais atributos de cada vertente estudada, e compara-las entre si.

Foram empregados os seguintes tratamentos estatísticos multivariados: Correlação de Pearson e Análise de Componentes Principais (ACP) que, segundo Moore, (1993), são instrumentos importantes para auxiliar a entender a relação entre os diversos atributos. O teste de correlação de Pearson foi utilizado para verificar a correlação entre os diversos atributos físico-químicos das geocoberturas de cada vertente/voçoroca selecionada. E a ACP, para identificar a existência de possíveis semelhanças/dessemelhanças entre elas de maneira a subsidiar a interpretação de que se trata de vertentes/voçorocas semelhantes, ou diferenciadas umas das outras. Trata-se de dados quantitativos, com menos de 1% de outliers e de distribuição Gaussiana.

Os 17 parâmetros analisados, textura (areia grossa, areia fina, silte e argila), pH (em água, em KCl e Δ pH), condutividade elétrica (C.E), matéria orgânica (M.O) e carbono orgânico (C.O), macronutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), e os óxidos (Fe_2O_3 , TiO_2 e Al_2O_3) tiveram seus valores convertidos para a mesma escala através da função matemática logaritmo na base 10, possibilitando a comparação entre estas diferentes escala de valores.

O programa estatístico Prism 8 foi utilizado para os testes de correlação de Pearson e o P-teste das amostras de cada uma das 5 vertentes analisadas. Para fins de análise da correlação de Pearson, foram considerados apenas os valores maiores ou iguais a 40% e nível de significância menor ou igual a 5% do P-Valor. As tabelas com todos os valores dos testes de Correlação de Pearson e P-Valor estão dispostas no Apêndice B.

A ACP foi conduzida no programa RStudio o qual, através das bibliotecas, “pca3d” e “factoextra”, geraram os gráficos Biplot e Triplot. Ela foi utilizada para averiguar

possíveis semelhanças das geocoberturas tanto ao longo das vertentes amostradas, quanto entre as vertentes/voçorocas, utilizando como base os resultados das suas análises físicas e químicas.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Teste de Correlação de Pearson (r) / P-Valor.

Em Cabeceirinhas (Tab. 2, Fig. 14), as maiores correlações positivas são entre os óxidos e o a fração silte sendo que estes podem estar adsorvidos preferencialmente nas partículas deste tamanho, ou estarem aglutinados comportando-se como silte. Enquanto possuem relações inversas elevadas com relação a frações mais grossas, como areia fina, isso pode estar ligado a incapacidade de ficar adsorvido na superfície, ou a incapacidade dos óxidos em se aglutinarem em estruturas maiores.

As correlações negativas mais significativas são entre as diferentes granulometrias, correlações estas esperadas, uma vez que são provenientes da mesma amostra: areia grossa/silte: (-0,830), argila/silte (-0,704). Chama a atenção, no entanto, os altos valores para areia fina/titânio (0,715), silte/titânio (0,719) e para ferro/silte (0,608), por envolverem uma relação com granulometrias quimicamente inertes.

Tabela 2 - Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Cabeceirinhas.

CABECEIRINHAS	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila						
	2-0,2(mm)	0,20-0,05(mm)	0,05-0,002(mm)	<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	C.E	C.O	Fe2O3	TiO2
Silte 0,05-0,002(mm)		-0.830								
Argila<0,002(mm)			-0.704							
pH (KCL)	-0.719									
Δ pH					-0.959					
C.E		0.505	-0.644							
M.O								1.000		
Ca2+						0.548				
Fe2O3	-0.762	-0.534	0.608		0.529	0.572				
TiO2		-0.715	0.719	-0.558						
Al2O3		-0.959	0.826					-0.517	0.686	0.572

Em Campos (Tab. 3, Fig. 15), os maiores valores de correlação (r) são entre a argila e o silte (0.812), indicando uma relação forte entre esses dois parâmetros da geocobertura. Essa relação, diferentemente do que se espera, é positiva e parece vinculada à aglutinação de partículas de argila em partículas maiores (areia fina e silte) pelo ferro, como verificado

por Figueiredo *et al.* (1999) em outra região de Minas Gerais. Outro valor elevado é entre a M.O e o pH em KCl (-0.688), apontando que na medida em que a matéria orgânica do material aumenta, o pH decresce.

Tabela 3 - Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Campos

CAMPOS	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	pH (H2O)	pH (KCL)	Δ pH	Ca ²⁺
	2-0,2(mm)	0,20-0,05(mm)	0,05-0,002(mm)				
Silte 0,05-0,002(mm)	-0.721						
Argila<0,002(mm)	-0.440	-0.432	0.812				
Δ pH				-0.745	0.404		
M.O					-0.688	-0.315	
Ca ²⁺	0.502						
Mg ²⁺							-0.580

Também há relação entre o Ca²⁺ e a areia grossa, levando-se em consideração que a areia grossa é inerte e a sílica é de difícil dissolução, em especial em áreas com baixa precipitação e rápida infiltração da água de chuva, como é o caso da região estudada. Como as areias são apenas peneiradas, não sendo submetidas a reagentes, ou mesmo água, os valores de cálcio estão aparentemente associados à resíduos de crostas carbonáticas dos materiais de origem. Os valores das diferentes granulometrias da amostra: areia grossa/silte (-0,721), argila/areia grossa (-0,440) evidenciam uma relação normal entre esses parâmetros, uma vez que estas granulometrias perfazem o total 100% da amostra. O mesmo ocorre com relação à correlação negativa entre Mg²⁺ e Ca²⁺, ambos também originários dos materiais das rochas sedimentares do Grupo Urucuia.

Em Igrejinha, as correlações mais importantes (Tab. 4, Fig. 16) são aquelas entre Fe₂O₃ e pH em água (0,781) e entre M.O e C.E (0,692), o que pode indicar que algumas propriedades das geocoberturas apresentam características de controles locais.

O ferro encontra-se presente como elemento químico herdado, tendo ao longo da evolução geológica do Grupo Urucuaia, em especial em suas Formações superiores, originado crostas lateríticas, ainda encontradas na bacia. Sua relação positiva com o pH, indica possivelmente sua remobilização.

A presença de ferro (Fe_2O_3) com relação negativa com a areia fina (-0,754) parece apontar para o fato de que este elemento na bacia está associado à presença da areia grossa, como identificado nos mapeamentos geológicos das Folhas Catolé, Januária, São Francisco e São Joaquim, da CODEMIG (2015).

Tabela 4 – Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Igrejinha.

IGREJINHA	Areia Grossa	Areia Fina	Argila	pH (H2O)	pH (KCL)	Δ pH	C.E	C.O
	2-0,2(mm)	0,20-0,05(mm)	<0,002(mm)					
Argila<0,002(mm)		-0.593						
pH (KCL)				0.583				
Δ pH				-0.611	-			
C.E	0.522			-0.616	-0.781			
C.O	0.638				-0.519		0.692	
M.O	0.638				-0.521		0.693	1.000
Fe2O3		-0.754	0.521	0.729		-0.526	-0.562	
TiO2				-0.586		0.622		
Al2O3			0.501		0.617			

Todas as outras correções mais significativas: alumínio/pH em KCl (0,617), Titânio/ Δ pH (0,622), M.O/areia grossa (0,638), C.O/Areia Grossa (0,638) são positivas e estão dentro das relações esperadas, mesmo aquelas relativas ao M.O e C.O, que indicam a maior permeabilidade do material para infiltrarem.

Em Mandim, as maiores correlações são entre o Δ pH e a argila (0,852), e pH em KCl com a argila (0,811). A maior é, contudo, entre TiO_2 e silte (0,854), evidenciando alguma maneira de associação com esta granulometria e os sedimentos originários da rocha matriz.

Tabela 5 - Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Mandim

MANDIM	Areia Grossa	Silte	Argila	pH (H ₂ O)	pH (KCL)	Δ pH	C.E	C.O
	2-0,2(mm)	0,05-0,002(mm)	<0,002(mm)					
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	-0.793							
pH (H ₂ O)			-0.649					
pH (KCL)		-0.755	0.811					
Δ pH		-0.758	0.852	-0.634	0.982			
C.O		-0.722						
M.O		-0.655						0.906
Ca ²⁺							-0.691	
TiO ₂		0.854			-0.710	-0.692		-0.605

Isto é evidenciado também pelos valores de correlação entre os diversos tipos de medidas do pH (H₂O, KCl), daquela do carbono orgânico (C.O) e da matéria orgânica (M.O) com o silte, tendo em vista a atividade química praticamente inexistente dessa granulometria. Isto também pode estar associado ao efeito aglutinador do ferro nas partículas mais finas da argila, fazendo que se comportem como silte, como já ressaltado anteriormente.

Os maiores valores de correlação encontrados na vertente de Várzea são a correlação negativa entre argila e areia fina (-0,790), e entre areia grossa e silte (-0,685) e positiva, entre TiO₂ e Fe₂O₃, de 0,720. As negativas envolvendo as granulometrias são normais e relativas à composição relativa de cada granulometria na textura. As positivas estão interligadas à processos magmáticos ou à produtos dele derivados, que fazem parte da evolução geológica da área.

Tabela 6 - - Valores do teste de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor da vertente de Várzea.

VÁRZEA	Areia Grossa	Areia Fina	Silte						
	2-0,2(mm)	0,20-0,05(mm)	0,05-0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	Δ pH	C.O	Ca ²⁺	Fe ₂ O ₃
Areia Grossa 2-0,2(mm)									
Silte 0,05-0,002(mm)	-0.685								
Argila<0,002(mm)	-0.518	-0.790	0.616						
pH (KCL)			-0.531						
Δ pH				-0.644	0.629				
C.E									
C.O					-0.576	-0.526			
M.O					-0.576	-0.526	1.000		
Ca ²⁺	-0.524	0.589							
Mg ²⁺				0.539				-0.612	
K ⁺				-					
Fe ₂ O ₃				0.574					
TiO ₂									0.720

As correlações entre os valores de pH indicam um grande intemperismo do local, também há relação entre de Ca²⁺ e Mg²⁺ atribuídas a lentes pelíticas do Grupo Urucuaia, e as relações de argila com as demais granulometrias podem indicar como já mencionado anteriormente um indicio de aglutinação desta.

4.3.2. Análise dos Componentes Principais (ACP)

Os resultados da Análise dos Componentes Principais indicam que os dois primeiros Componentes Principais (*Principal Components* PC), são responsáveis por 48% da variância total no conjunto de dados, com PC1 responsável por 24,9% e o segundo, PC2, por 23,1% desta variação. Os dois PCs foram retidos, com o auxílio do screeplot (Fig. 19), tendo em vista que respondem por 48% da variância total do conjunto de dados, com autovalores >1 ($\lambda_i > 1$) (Kaiser, 1958, FRAGA, *et al.*, 2015). A variabilidade desses fatores encontra-se identificada na tabela 7 e os valores de cada PC utilizado são apresentados nas equações I, II e III.

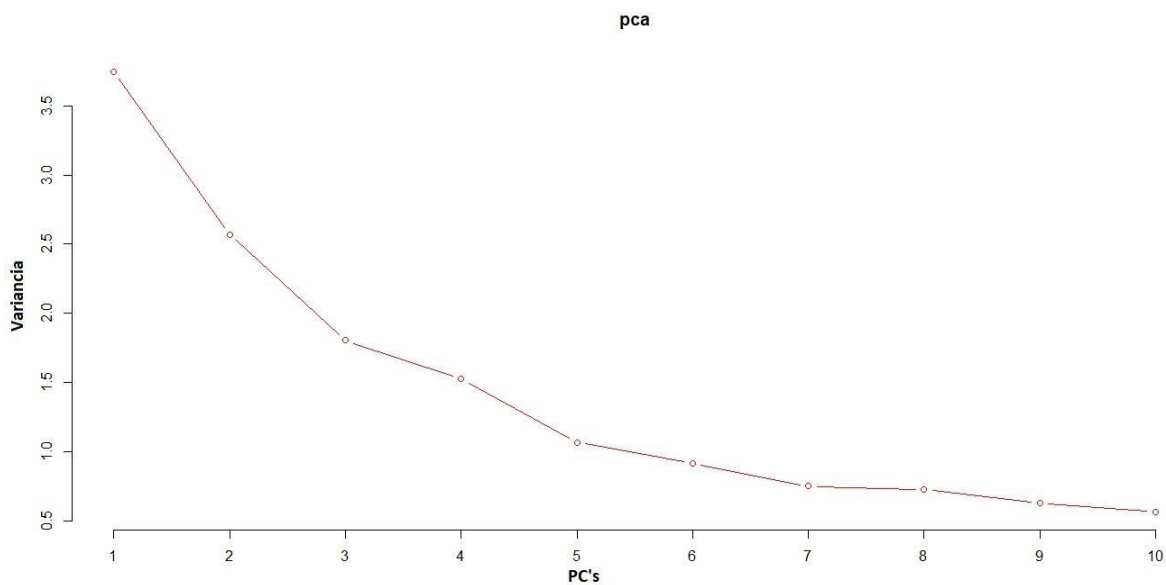


Figura 19 - O screeplot dos autovalores dos componentes principais

Tabela 7 - Coeficientes de correlações dos parâmetros de geocobertura, com os 3 primeiros autovalores da análise de componentes principais.

PCA	PC 1	PC 2	PC 3
Areia Grossa 2-0,2(mm)	0.008	-0.528	-0.344
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	-0.359	0.441	0.120
Silte 0,05-0,002(mm)	0.324	0.127	0.071
Argila<0,002(mm)	0.297	0.261	0.135
pH (H2O)	0.259	0.224	-0.213
pH (KCL)	0.224	0.221	-0.260
Δ pH	-0.425	-0.182	-0.252
C.E	0.105	-0.319	0.348
C.O	0.369	-0.121	0.260
M.O	0.357	-0.110	0.261
Ca ²⁺	0.027	0.258	0.161
Mg ²⁺	0.254	-0.083	0.230
K ⁺	0.006	-0.009	0.007
Na ⁺	0.002	0.004	0.007
Fe ₂ O ₃	-0.075	-0.090	-0.438
TiO ₂	-0.074	0.085	-0.356
Al ₂ O ₃	-0.012	0.058	-0.011

Cada CP pode ser escrita pelas equações:

$$\begin{aligned} \text{CP1} = & (0,008Agr - 0,359Af + 0,324Silt + 0,297Ag + 0,259pH(H2O) + 0,224pH(KCl) - \\ & 0,425\Delta pH + 0,105C.E + 0,369C.O + 0,357M.O + 0,027(Ca^{2+}) + 0,254(Mg^{2+}) + \\ & 0,006(K^+) + 0,002(Na^+) - 0,075Fe_2O_3 - 0,074TiO_2 - 0,012Al_2O_3) \quad \text{(I)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CP2} = & (-0,528Agr + 0,441Af + 0,127Silt + 0,261Ag + 0,224pH(H2O) + 0,221pH(KCl) - \\ & 0,182\Delta pH - 0,319C.E - 0,121C.O + 0,110M.O + 0,258(Ca^{2+}) - 0,083(Mg^{2+}) - \\ & 0,009(K^+) + 0,004(Na^+) - 0,090Fe_2O_3 + 0,085TiO_2 + 0,058Al_2O_3) \quad \text{(II)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CP3} & = \\ & (-0,344Agr + 0,120Af + 0,071Silt + 0,135Ag - 0,213pH(H2O) - \\ & 0,260pH(KCl) - 0,252\Delta pH + 0,348C.E + 0,260C.O + 0,261M.O + 0,161(Ca^{2+}) + \\ & 0,230(Mg^{2+}) + 0,007(K^+) + 0,007(Na^+) - 0,438Fe_2O_3 - 0,356TiO_2 - 0,011Al_2O_3) \quad \text{(III)} \end{aligned}$$

Os dois gráficos construídos, Biplot e Triplot, foram construídos com os valores das PCs, obtidos pela ACP, sendo o gráfico Biplot (Fig. 20) elaborado com as duas principais componentes, e o gráfico Triplot (Fig. 21), feito a partir das três PCs, sendo que o PC 3 responde por 19,8% da variação dos dados, estão dispostos a seguir:

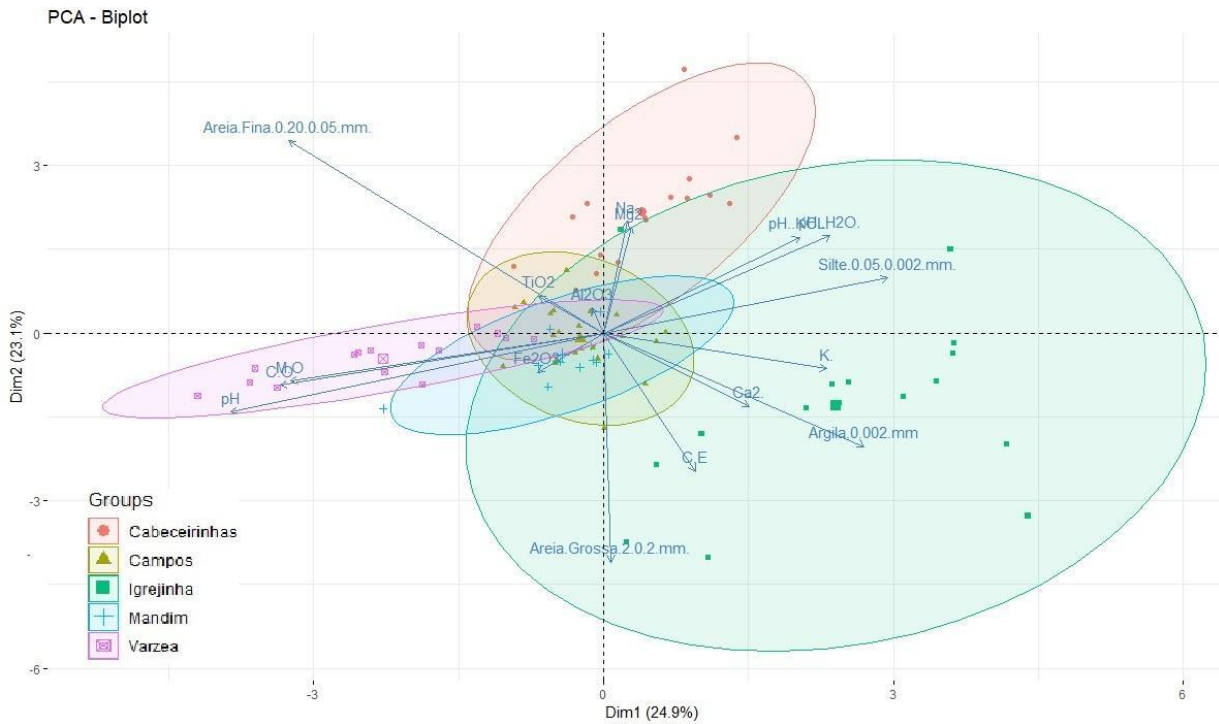


Figura 20 - Biplot CP1 × CP2 sobre as variáveis físicas e químicas das geocoberturas estudadas.

Nas figuras 20 e 21 estão plotadas todas as 81 amostras de geocobertura estudadas, diferenciadas por cor, que reflete a região na qual cada amostra foi retirada, indicando a homogeneidade ou heterogeneidade dos dados resultantes das análises físicas e químicas das geocoberturas das vertentes com a presença de voçorocas na bacia do rio Pandeiros. É possível visualizar que existe uma diferenciação entre as áreas estudadas com relação aos valores das análises laboratoriais realizadas nas geocoberturas, textura (areia grossa, areia fina, silte e argila), pH (em água, em KCl e Δ pH), condutividade elétrica (C.E), matéria orgânica (M.O) e carbono orgânico (C.O), macronutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), e óxidos (Fe_2O_3 , TiO_2 e Al_2O_3).

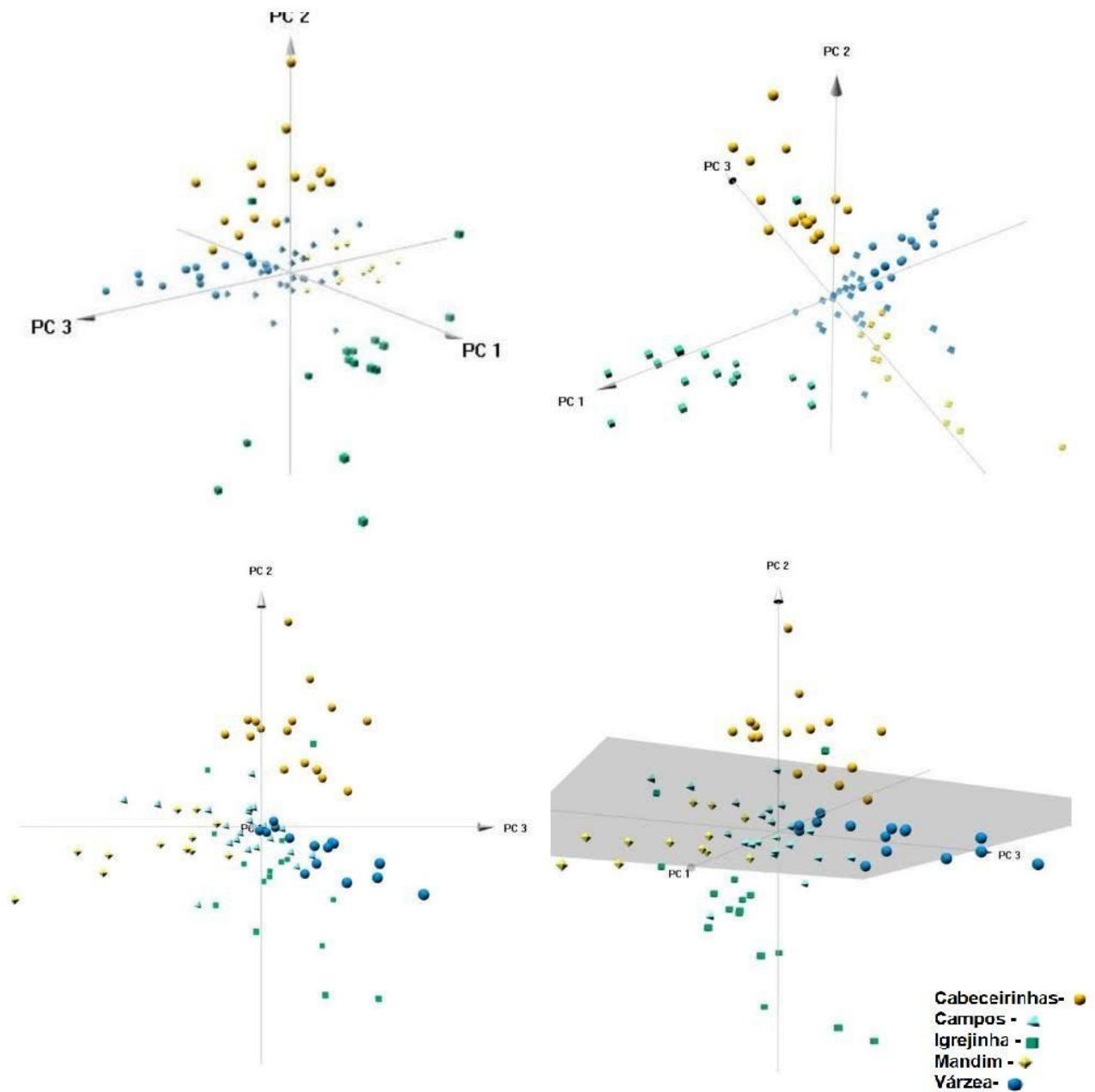


Figura 21 - Triplot CP1 × CP2 x CP3 sobre as variáveis físicas e químicas das geocoberturas estudadas. As cores são: Cabeceirinhas- amarelo escuro, Campos - azul claro, Igrejinha - Verde escuro, Mandim - Amarelo claro, Várzea- Azul escuro.

4.4 Discussão dos resultados

4.4.1. Análise dos dados de correlação de Pearson

Ao se observar a correlação (Tab. 2) de Cabeceirinhas (laranja na figura 12), é possível notar uma maior correlação entre os valores de óxidos, e a granulometria do

material. Há uma tendência de aumento dos óxidos com o incremento das frações mais finas, assim como a variação do pH influencia na disponibilidade de óxido de ferro. Ambas as situações são esperadas, uma vez que os óxidos tendem a concentrar-se nas frações mais finas do material, e o pH influencia na disponibilidade destes no sistema.

Os dados de correlação (Tab. 3) da vertente da região de Campos (verde na figura 12) mostram que há uma relação inversa entre a quantidade de areia grossa e fina, porém há uma grande correlação entre os valores de silte e argila. Isso pode estar associado tanto a uma relação natural entre quantidades de granulometrias afins de uma mesma amostra, como a uma possível aglutinação de argila como identificado inicialmente por Figueiredo *et al.* (1999) e descrito em uma área próxima por Neves *et al.* (2015). Os valores de Ca⁺ são provavelmente provenientes de rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas, do arcabouço geológico da região.

Assim como mencionado na vertente da região Campos, as análises de correlação (Tab. 4) da vertente da região de Igrejinha (azul na figura 12) mostram correlação negativa entre a areia fina e a argila que tanto pode ser decorrente da relação natural entre diferentes granulometrias da textura, como decorrente de uma possível aglutinação de argila, que pode, como demonstrado por Figueiredo *et al.* (1999), se comportar mecanicamente como areia. Os valores de C.O e M.O possuem correlação direta com a areia grossa por esta funcionar como uma barreira para a movimentação destes elementos que, por sua vez, podem reter maior quantidade de cargas, evidenciadas pela relação direta da areia grossa e C.E. Os valores de pH, M.O, C.O, C.E, estão interligados, e influenciam nos valores dos óxidos como descrito na literatura (Bryan, 2000, Park & Vlek, 2002, Al-Omran *et al.*, 2013)

A vertente da região Mandim, (cor rosa na figura 12), segundo a análise de correlação (Tab. 5), ocorre interação muito forte da granulometria areia fina e areia grossa, aumentando inversamente com relação à fração areia grossa, sendo o silte, o fator de maior influência, apresenta relação inversa com as concentrações de pH, C.O e M.O, e uma relação positiva muito elevada com TiO₂.

A vertente estudada da região Várzea (vermelha na figura 12), possui significativa correlação (Tab. 6) entre os valores de areia fina, silte e argila, o que pode significar uma possível aglutinação das partículas mais finas, fazendo com que estas se comportem

fisicamente como partículas mais grossas, como observado nas outras vertentes/voçorocas. Os valores das propriedades químicas mostraram interações como indicadas pela literatura, com exceção das quantidades de Mg^{2+} e Ca^{2+} que podem estar ligadas a lentes mais carbonáticas das rochas da Formação Posse e das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

4.4.2. Análise dos Componentes Principais

A análise dos Componentes Principais (ACP) tem o objetivo de demonstrar a variabilidade dos dados, indicando se há ou não agrupamento das 81 amostras com relação as 17 variáveis físicas e químicas das geocoberturas. Ao analisar a tabela 6 e a figura 8, pode-se afirmar que o primeiro componente principal destaca as variáveis ΔpH , C.O, areia fina, M.O, silte e argila, demonstrando o grande contraste entre areia fina e ΔpH , com relação as quantidades de M.O, C.O, silte e argila. O segundo componente mostra que o da quantidade de areia grossa ocorre em detrimento da quantidade de areia fina, sendo estes principais componentes do CP2. O terceiro, utilizado para a construção da figura 4, apresenta o óxido de ferro, óxido de titânio e areia grossa variando negativamente, enquanto a condutividade elétrica varia positivamente, sendo estes os principais componentes na variação.

O gráfico biplot (Fig. 20) auxilia na visualização da distribuição das amostras com relação aos 17 parâmetros medidos das geocoberturas. Os eixos são formados pelos dois principais componentes, sendo que o tamanho dos vetores e o ângulo entre estes demonstram em relação à relevância de cada parâmetro com as CP's. Ao observar os vetores das variáveis na figura 20, é notado que alguns apresentam ângulos variando de $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, isto quer dizer que estes possuem algum tipo de correlação, uma vez que quanto mais próximo de 0° for, maior é sua correlação.

O esperado pela literatura é que haja relação entre os parâmetros físicos e químicos analisados em laboratório, uma vez que as propriedades químicas influenciam na fertilidade e na estabilidade das geocoberturas, afetando sua estruturação. Isto pode se notado pelos vetores de ΔpH que variam em função do intemperismo e C.O, M.O que promovem a estabilidade dos agregados nas geocoberturas, influenciando na infiltração da água de chuva e diminuindo a susceptibilidade do material à erosão.

Ao se observar a tabela 7 e as equações dos três primeiros componentes principais, é possível verificar que os principais atributos controlando a variabilidade de PC1, é a alta correlação negativa entre Δ pH e areia fina, e outra, positiva, de M.O, C.O, silte, argila e Mg^{2+} , que podem ser interpretadas como decorrentes do fato de que o aumento da matéria orgânica se encontra relacionada ao aumento das frações menores da geocobertura, aumentando a capacidade de nutrientes.

O PC 2 apresenta grande variabilidade negativa com relação a areia grossa, K^+ , Δ pH, C.O e M.O, e grande relação positiva com areia fina, silte, Ca^{2+} , Na^+ e pH (em água e KCl), estes últimos 3 parâmetros ligados ao substrato rochoso e à cobertura vegetal.

O PC 3 possui alta variabilidade, principalmente positiva, com as variáveis Mg^{2+} , C.E, C.O, M.O e variabilidade negativa com relação aos parâmetros Fe_2O_3 , TiO_2 , pH (em água, em KCl e Δ pH) e areia grossa, sendo controlado principalmente pelos atributos ligados à evolução da vertente, demonstrando o intemperismo e alóctonia do material.

4.5 Conclusão

As análises estatísticas obtidas pela correlação de Pearson (r) e Análise dos Componentes Principais (PCA) indicaram que há relação entre os dados estatísticos (números e vetores), como o esperado em uma análise de geocoberturas, demonstrando que as análises estatísticas são de grande valia para um grande conjunto de amostras de geocoberturas, facilitando a correlação das amostras.

Os testes de correlação de Pearson (r), validados pelo P-Valor, realizados em 81 geocoberturas retiradas de 22 trincheiras abertas nas 5 vertentes com voçorocamento: Cabeceirinhas, Campos, Igrejinha, Mandim e Várzea, todas na bacia do rio Pandeiros-MG, demonstraram que há correlações significativas entre os atributos físicos e químicos das geocoberturas em cada uma das vertente e diferentes correlações entre os estes nas distintas vertentes, indicando que as mesmas não são semelhantes. A análise teve como base correlação estatística dos atributos das análises laboratoriais dos parâmetros físico e químicos das geocoberturas, *i.e.* textura (areia grossa, areia fina, silte e argila), pH (em água, em KCl e Δ pH), condutividade elétrica (C.E), matéria orgânica (M.O) e carbono orgânico (C.O), macronutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), e óxidos (Fe_2O_3 , TiO_2 e Al_2O_3).

O gráfico biplot (Fig. 20), demonstra que há um agrupamento em cada região amostrada, e os vetores referentes a cada uma das variáveis e quais seriam as variáveis características das geocoberturas que têm maior peso em cada região. Na vertente/voçoroca Igrejinha são: a areia grossa, areia fina, silte, argila, C.E, K^+ , Ca^{2+} e pH (água e KCl), em Cabeceirinhas: a areia fina, Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Na^+ , Mg^{2+} e TiO_2 , em Várzea: pH (em água, em KCl e Δ pH), M.O e C.O, Mandim: Fe_2O_3 , TiO_2 e Al_2O_3 , e em menor interação com areia grossa, areia fina, silte, argila, pH (em água, em KCl e Δ pH), C.E, C.O, M.O e Ca^{2+} , evidenciado por sua elipse de agrupamento dos pontos, e Campos: Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 , Na^+ e Mg^{2+} .

A heterogeneidade apresentada entre as vertentes estudadas foi mais claramente demonstrada pela análise de Componentes Principais no gráfico Triplot (Fig. 21), que mostra o agrupamento das 81 amostras analisadas em 5 regiões correspondentes às 5 vertentes com processos de voçorocamento. A análise de Componentes Principais mostrou-se bastante eficaz na diferenciação dos grupos de amostras de geocobertura, tendo sido importante para a verificação de possíveis semelhanças entre diferentes amostras. O gráfico Triplot demonstrou melhor dispersão dos dados, o que facilita a caracterização de homogeneidade ou heterogeneidade entre as diferentes amostras de geocoberturas. A ACP se mostra bastante útil para a análise de um grande volume de amostras de geocoberturas com vários parâmetros de análise, conseguindo realizar um agrupamento dos dados, ressaltando a diferenciação ou agrupamento das amostras com relação aos seus parâmetros analisados.

Considerações finais

Apesar da eficiência da abordagem utilizada na melhor compreensão das características das geocoberturas das vertentes e sua relação com a distribuição espacial das voçorocas estudadas, seria importante ampliar esse estudo para abranger uma amostragem maior nestas 5 regiões (Cabeceirinhas, Campos, Igrejinha, Mandim e Varzea). Sugere-se a análise de um número maior de vertentes e de outros parâmetros das vertentes com voçorocamento vistas a um refinamento e aprofundamento na identificação dos fatores causais do processo de voçorocamento na bacia do rio Pandeiros. Entre esses parâmetros, destacam-se: medição de volume de material erodido pelas voçorocas, cobertura vegetal, compactação da geocobertura, infiltração, entre outros. Seria também interessante repetir

todos os testes em vertentes das mesmas 5 regiões (Cabeceirinhas, Campos, Igrejinha, Mandim e Varzea), que não apresentassem processos de voçorocamento, assim como em outras regiões dentro da bacia do Rio Pandeiros.

O incremento de um número maior de parâmetros nas análises das geocoberturas possivelmente levaria a uma maior variabilidade das primeiras PCs na ACP, o que pode melhorar as representações gráficas de análises de geocoberturas.

Os resultados alcançados, indicam que essas voçorocas apresentam um forte controle de grandes rupturas de declive que marcam a bacia, como demonstrado em outras análises. Isto, contudo, não exclui o impacto antrópico como um dos fatores do voçorocamento, em especial o provocado pela abertura de estradas de terra e o desvio da drenagem ao longo das mesmas, como observado nos trabalhos de campos. Espera-se que este estudo estimule futuras investigações com tais ferramentas aplicadas a geociências.

Agradecimentos e entidades financiadoras: à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo apoio financeiro ao projeto de Pesquisa Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros-MG (CRA-APQ-03773-14), ao IGC/UFMG, pela disponibilização da infraestrutura de campo e laboratorial para a realização desta pesquisa e a CAPES pela concessão da bolsa de estudo de mestrado.

Referências Bibliográficas

- Al-Omran, A. M., Al-Wabel, M. I., El-Maghraby, S. E., Nadeem, M. E., & Al-Sharani, S. 2013. Spatial variability for some properties of the wastewater irrigated soils. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 12, n. 2, p. 167-175.
- Aranha, P.R.A. 2002. *Estudo das Coberturas Superficiais e sua Dinâmica na Região de Gouveia, Serra do Espinhaço, MG: Utilizando o Radar de Penetração no Solo (GPR)*. Ouro Preto, 305p. Tese de doutorado, Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Augustin, C.H.R.R., Aranha, P.R.A. 2006a. A ocorrência de voçorocas em Gouveia, MG: Características e processos associados. *Geonomos*, 14: 75-86.
- Augustin, C.H.R.R., Aranha, P.R.A. 2006b. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7(1): 09-18.
- Augustin, C.H.R.R. 1979. *A preliminary integrated survey of the natural resources near Alcantarilla, Southeast Spain*. Sheffield, 328p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia, University of Sheffield.
- Augustin, C.H.R.R. 1995. *Geoökologische Studien im südlichen Espinhaçogebirge bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien unter besonder Berücksichtigung der Landschaftsentwicklung*. Frankfurt, 294 p. Tese de Doutorado. Johann Wolfgang Goethe Universität.
- Augustin, C.H.R.R. Fonseca, B.M. Oliveira D.A. LIMA A.C.P. Aranha, P.R.A. & Bandeira, J.V. *O relevo e a drenagem da bacia do rio Pandeiros-MG*. Artigo sendo finalizado para a revista MG-Biota. Número Especial, 2019.
- Bacellar L.A.P. 2000. *Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG*. Ouro Preto, 226p. Tese (Doutorado em Geologia) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- Bethonico, M.B.M. 2009a. *Área de proteção ambiental estadual do rio Pandeiros-MG: espaço, território e atores*. Rio de Janeiro, 288p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense.

- Bethonico, M.B.M. 2009b. Rio Pandeiros: território e história de uma área de proteção ambiental no norte de Minas Gerais. *Revista Acta Geográfica*, 5(3): 23-38.
- BRYAN, R. B. 2000. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, v. 32, n. 3-4, p. 385-415.
- Chimpliganond, C.N. 2013. *Estudos sobre a sismicidade de Caraíbas-Itacarambi, Minas Gerais: causas e características*. 2013. 100 f. Tese de Doutorado - Curso de Geologia, Universidade de Brasília, Brasília- D.F.
- Christian, C.S., Stewart, G. A. Methodology of Integrated Surveys: Aerial Surveys and Integrated Surveys. In: *Proc. Toulouase Conference. UNESCO*. 1968.
- CODEMIG, Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais 2015. *Projeto fronteiras de Minas*, Folhas Januária, Catolés, São Francisco, Serra dos Tropeiros, São Joaquim disponíveis em <http://www.portalgeologia.com.br/> Acessado 12 de janeiro de 2017.
- Crouch, R.J. & Blong, R. J. 1989. Gully sidewall classification-methods and applications. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 33(3): 291-305.
- Daniels, R.B. & Hammer, R.D. 1992. *Soil Geomorphology*. Nova York, John Wiley and sons, 216p.
- De Moura, F. & Jardim, C.H. 2017. Variação temporal das chuvas em Januária, Carinhanha e Montes Claros, norte do estado de Minas Gerais. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, 2017(1): 2705-2709.
- Donagema, G.K., Campos, D.V.B., Calderano, S.B., Teixeira, W.G. 2017. *Manual de métodos de análise de solo (3 ed)*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 230p.
- Figueiredo, M. do A., Augustin, C. H. R. R., Fabris, J. D. Mineralogy, size, morphology and porosity of aggregates and their relationship with soil susceptibility to water erosion. *Hyperfine Interactions*, v. 122, n. 1-2, p. 177-184, 1999.
- Fraga, A.B., de Lima Silva, F., Hongyu, K., Santos, D.D.S., Murphy, T.W. & Lopes, F.B. 2016. Multivariate analysis to evaluate genetic groups and production traits of crossbred Holstein× Zebu cows. *Tropical animal health and production*, 48 (3): 533-538.
- Frota, R.C. 2013. *Influência da política pública ambiental como promotora do desenvolvimento: a experiência do projeto de desenvolvimento sustentável do Pandeiros, município de Januária – MG*. Porto Alegre, 238p. Tese

doutorado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. 1981. *2º Plano de desenvolvimento integrado do Noroeste Mineiro: recursos naturais/ Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, CETEC*, segunda edição, Belo Horizonte, FINEP, 359p.

Gomez, B., Banbury, K., Marden, M., Trustrum, N.A., Peacock, D.H., Hoskin & P.J. 2003. Gully erosion and sediment production: Te Weraroa Stream, New Zealand. *Water Resources Research*, 39(7): 1-7.

Hancock, G.R. & Evans, K.G. 2006. Gully position, characteristics and geomorphic thresholds in an undisturbed catchment in Northern Australia. *Hydrological Processes*, 20(14): 2935-2951.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2004a. *Mapa de biomas brasileiros*. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE,

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2004b. *Mapa da vegetação do Brasil*. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE,

Kaiser, H.F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23(3): 187- 200.

Lemos, R.C., Santos, R.D., Santos, H.G., KER, J.C. & Dos Anjos, L.H.C. 2013. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 6 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 100p.

Lima, C. P., Augustin, C.H.R.R, Oliveira, D.A. 2019. *Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: rio Pandeiros-MG*. Resumo aceito pelo XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (11 a 15 de Junho de 2019).

Messias-Martins, R., Amorim, M. A. F., Augustin, C. H. R. R., & Azevedo, P. A. A. 2013. Relação entre forma da vertente, cobertura superficial e sítios geomorfológicos na bacia do ribeirão do Chiqueiro, depressão de Gouveia, Serra do Espinhaço Meridional–MG. *Revista Geonomos*, v. 21, n. 2.

Montgomery, D.R. 1994. Road surface drainage, channel initiation, and slope instability. *Water Resources Research*, 30: 1925-1932.

- Moore, I. D., Gessler, P. E., Nielsen, G. A. E. & Peterson, G. A. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57(2):443-452.
- Moreira, V. R. M. 1992. *Fatores condicionantes das voçorocas na sub-bacia do rio Santo Antônio, Bacia do Rio Grande, MG*. Belo Horizonte, 109p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Nagasaka, A., Yanai, S., Sato, H. & Hasegawa, S. 2005. Soil erosion and gully growth associated with cultivation in southwestern Hokkaido, Japan. *Ecological Engineering*, 24: 503-508.
- Neves, W.V., Menezes, E.P., Oliveira, F.S., Augustin, C.H.R.R., aranha, P.R.A. 2015. Estudo das Coberturas Superficiais na Interface Cerrado-Vereda no Norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.16, n.3, p.351-367,.
- Nyssen, J., Poesen J, Moeyersons, J., Luyten, E., Veyret-picot, M., Deckers, J., Haile, M. & Govers, G. 2002. Impact of road building on gully erosion risk: a case study from the northern Ethiopian highlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 1267-1283.
- Oliveira, D.A., Augustin, C.H.R.R. & Fonseca, B.M. 2017. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, 2017(1): 6253-6262.
- Park, S. J., & Vlek, P. L. G. 2002. Environmental correlation of three-dimensional soil spatial variability: a comparison of three adaptive techniques. *Geoderma*, v. 109, n. 1-2, p. 117-140,
- Sampaio, T.V.M. & Augustin, C.H.R.R. 2014. 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*, 15(1): 47-60.
- Sidorchuk, Al. 2006. Stages in gully evolution and self- organized criticality. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 31(11): 1329-1344.
- Svoray, T. & Markovitch, H. 2009. Catchment scale analysis of the effect of topography, tillage direction and unpaved roads on ephemeral gully incision. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 1970-1984.

Vitte, A. C. & Pereira de Mello, J. 2007. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas conseqüências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. *Climatologia e Estudos da Paisagem*. Rio Claro - V.2, n.2, p. 107.

Wright, R.L. 1973. An examination of the value of site analysis in field studies in tropical Australia. Stuttgart, *Zeitschrift der Geomorphologie*, v. 17, n. 2, p. 156-184.

Young A. 1972. *Slopes*. Londres: Logman (Ed). 160p.

Apêndice A-I Resultado análises físicas e químicas da vertente de Cabeceirinhas.

PERFIL 1- Cabeceirinha								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.
0-6	38.00	888.70	39.30	58.00	5.43	4.26	1.17	42.
6--40	30.80	795.34	49.20	142.30	5.11	4.16	0.95	44.
40-66	19.40	750.20	139.40	89.90	5.30	4.22	1.08	32.
66-85	23.90	750.70	201.90	51.60	5.28	4.24	1.04	44.
85-120	24.60	752.00	223.40	15.60	5.10	4.25	0.85	34.
120+	26.80	762.10	209.20	13.90	5.05	4.23	0.82	28.

PERFIL 2- Cabeceirinha								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.
0--8	35.70	903.10	21.80	51.00	4.89	4.35	0.54	36.
8--46	24.00	836.40	31.20	115.20	4.65	4.17	0.48	77.
46+	24.40	822.10	164.90	14.60	5.25	4.24	1.01	52.

PERFIL 3- Cabeceirinha								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.
0--10	44.50	887.20	27.60	59.90	4.76	4.14	0.62	118.
10--64	49.00	844.30	32.90	82.40	4.94	4.11	0.83	51.
64+	47.90	825.50	129.80	12.10	4.32	4.10	0.22	37.

PERFIL 4- Cabeceirinha								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.
0-19	52.90	853.10	27.20	66.50	4.86	4.14	0.72	85.
19-47	70.40	809.90	38.00	86.80	5.07	4.10	0.97	63.
47-119	70.60	793.10	123.50	26.20	5.20	4.07	1.13	36.
119+	93.30	785.70	152.30	14.80	5.22	4.07	1.15	36.

Apêndice A-II Resultado análises físicas e químicas da vertente de Campos

PERFIL 1- Campos									
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila <0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.E	C.C
0-18	193.50	689.00	30.90	97.20	4.80	4.13	0.67	36.81	4.1
18-55	325.10	548.80	31.60	97.20	4.82	4.20	0.62	31.75	1.7
55-75	175.60	676.70	35.80	115.30	4.85	4.22	0.63	36.65	1.5
75+	181.80	659.50	34.90	123.40	4.73	4.27	0.46	33.79	1.4

PERFIL 2- Campos									
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila <0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.E	C.C
0-16	145.00	744.00	36.00	78.90	5.11	4.00	1.11	110.50	2.8
16-55	137.00	708.10	39.00	115.10	4.95	4.20	0.75	32.93	2.2
55-73	140.60	635.80	57.80	164.10	5.08	4.25	0.83	29.60	1.4
73+	138.60	630.00	57.50	173.50	5.15	4.32	0.83	25.71	1.6

PERFIL 3- Campos									
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila <0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.E	C.C
0-12	97.80	756.80	53.60	102.10	5.08	4.19	0.89	46.18	2.8
12-28	113.50	735.80	40.40	107.50	4.88	4.19	0.69	35.39	2.5
28-56	112.20	713.60	59.40	115.00	4.98	4.26	0.72	47.00	1.4
56+	104.70	687.80	54.70	145.90	4.97	4.26	0.71	26.61	1.6

PERFIL 4- Campos									
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila <0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.E	C.C
0-14	128.70	751.90	30.40	87.50	4.66	3.89	0.77	73.19	2.5
14-49	117.10	727.10	50.20	112.00	4.77	4.07	0.70	41.89	3.8
49-78	124.10	678.40	52.40	143.80	4.82	4.13	0.69	39.49	1.6
78+	116.30	675.20	49.10	152.00	4.87	4.22	0.65	29.58	1.3

PERFIL 5- Campos									
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila <0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.E	C.C
0-20	120.90	738.00	39.10	100.50	5.08	4.04	1.04	62.85	3.0
20-52	114.40	647.00	55.90	176.20	4.75	4.11	0.64	47.97	2.4
52+	114.80	639.10	59.00	179.30	4.75	4.17	0.58	79.24	1.8

PERFIL 6- Campos									
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila <0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.E	C.C
0-28	189.00	698.80	29.60	77.90	4.86	4.20	0.66	0.66	74.0
28-79	172.20	703.40	34.30	94.00	4.93	4.22	0.71	0.71	39.0
79+	204.40	681.50	31.10	78.90	4.98	4.25	0.73	0.75	40.0

Apêndice A-III Resultado análises físicas e químicas da vertente de Igrejinha

PERFIL 1- IGREJINHA								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.E
0-8	24.40	822.10	164.90	14.60	4.82	4.14	0.68	47.78
8--35	184.00	513.80	51.50	275.80	5.03	4.21	0.82	53.30
35--50	168.20	490.00	47.30	303.90	4.90	4.25	0.65	35.90
50+	152.50	488.90	35.10	310.70	5.12	4.40	0.72	42.42

PERFIL 2- IGREJINHA								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.E
0-8	206.00	509.70	74.30	240.00	5.24	4.12	1.12	60.31
8--50	126.20	488.10	84.50	318.20	5.59	4.02	1.57	68.76
50--95	159.30	459.50	67.50	315.40	5.54	4.82	0.72	36.47
95+	128.80	500.60	314.40	98.80	5.45	4.88	0.57	23.46

PERFIL 3- IGREJINHA								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.E
0--15	217.40	438.70	175.50	158.50	5.27	4.03	1.24	122.10
15--39	193.90	429.70	216.30	191.70	5.25	4.10	1.15	75.63
39--80	169.30	472.10	209.80	162.00	5.08	4.02	1.06	56.01
80+	122.60	335.40	464.10	103.10	5.02	3.95	1.07	44.86

PERFIL 4- IGREJINHA								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)	ΔpH	C.E
0--8	275.40	529.60	67.60	132.30	4.51	3.67	0.84	215.90
8--26	314.40	535.00	71.00	96.70	4.20	3.89	0.31	168.50
26--52	328.70	541.00	70.60	77.00	4.64	4.04	0.60	97.64
52+	320.50	530.00	69.80	89.10	4.81	4.23	0.58	83.50

Apêndice A-IV Resultado análises físicas e químicas da vertente de Mandim

PERFIL 1- Mandim								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH(H2O)	pH(KCL)	ΔpH	C.E
0-27	220.40	679.60	30.80	72.50	5.08	4.20	0.88	70.8
27--68	257.00	634.20	28.60	80.80	5.03	4.35	0.68	36.3
68+	249.80	615.90	40.80	98.10	5.04	4.39	0.65	37.3

PERFIL 2- Mandim								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH(H2O)	pH(KCL)	ΔpH	C.E
0-21	190.80	719.90	27.50	65.00	4.96	4.26	0.70	44.5
21--61	231.90	656.70	29.60	80.40	5.06	4.35	0.71	37.4
61+	187.00	687.10	34.30	88.60	5.02	4.46	0.56	25.6

PERFIL 3- Mandim								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH(H2O)	pH(KCL)	ΔpH	C.E
0-28	226.60	698.10	29.60	53.00	5.03	4.29	0.74	41.5
28--79	257.00	660.20	27.70	47.00	5.18	4.40	0.78	30.7
79+	219.60	688.60	32.50	66.90	5.15	4.44	0.71	22.6

PERFIL 4- Mandim								
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH(H2O)	pH(KCL)	ΔpH	C.E
0-50	266.90	656.50	23.20	58.60	5.08	4.31	0.77	50.7
50--90	275.00	652.50	19.40	55.70	5.05	4.40	0.65	41.9
90+	261.40	643.60	68.50	23.60	5.20	3.38	1.82	31.2

Apêndice A-V Resultado análises físicas e químicas da vertente de Várzea

PERFIL 1- Várzea									
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH(H2O)	pH(KCL)	ΔpH	CE	
0--14	104.00	744.70	44.30	111.20	4.93	3.75	1.18	50.4	
14--51	134.60	790.00	21.00	57.40	4.84	4.04	0.80	63.9	
51--90	142.70	764.10	24.60	76.10	4.87	4.08	0.79	48.0	
90+	149.00	734.90	32.10	90.40	4.91	4.11	0.80	29.1	
PERFIL 2- Várzea									
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH(H2O)	pH(KCL)	ΔpH	CE	
0--16	157.80	713.90	25.50	98.20	4.83	3.97	0.86	32.5	
16--44	153.80	749.40	20.50	77.00	4.89	4.08	0.81	47.5	
44--77	169.40	723.30	23.70	89.50	4.88	4.12	0.76	38.0	
77+	150.10	737.10	26.70	94.00	5.08	4.17	0.91	58.6	
PERFIL 3- Várzea									
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH(H2O)	pH(KCL)	ΔpH	CE	
0--16	169.40	701.50	29.40	101.90	5.12	3.97	1.15	53.1	
16--41	144.50	762.70	37.90	62.60	4.83	3.92	0.91	36.6	
41--99	90.60	729.70	48.00	124.20	4.87	3.95	0.92	35.6	
99+	85.00	732.30	48.00	140.50	4.85	4.00	0.85	46.3	
PERFIL 4- Várzea									
Profundidade (cm)	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH(H2O)	pH(KCL)	ΔpH	CE	
0--38	132.20	775.20	29.00	66.60	4.80	3.93	0.87	37.6	
38--59	134.80	757.20	36.00	79.50	4.72	3.98	0.74	37.7	
59+	140.20	726.10	49.20	101.70	4.77	4.02	0.75	33.7	

Apêndice B-I Correlação de Pearson e P-Valor da vertente Cabeceirinhas

Cabeceirinha Pearson	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)
Areia Grossa 2-0,2(mm)	1.000	0.305	-0.251	-0.122	-0.124	-0.719
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	0.305	1.000	-0.830	0.282	-0.361	0.090
Silte 0,05-0,002(mm)	-0.251	-0.830	1.000	-0.704	0.331	0.031
Argila<0,002(mm)	-0.122	0.282	-0.704	1.000	0.040	0.005
pH (H2O)	-0.124	-0.361	0.331	0.040	1.000	0.273
pH (KCL)	-0.719	0.090	0.031	0.005	0.273	1.000
ΔpH	-0.084	0.401	-0.335	-0.040	-0.959	0.010
C.E	0.162	0.505	-0.644	0.468	-0.364	-0.280
C.O	-0.143	-0.220	0.232	0.116	0.174	-0.220
M.O	-0.144	-0.221	0.233	0.115	0.174	-0.220
Ca ²⁺	-0.477	-0.258	-0.091	0.548	-0.008	0.010
Mg ²⁺	-0.202	0.390	-0.173	-0.095	-0.133	0.260
K ⁺						
Na ⁺						
Fe ₂ O ₃	-0.762	-0.534	0.608	-0.181	0.529	0.570
TiO ₂	0.234	-0.715	0.719	-0.558	0.406	-0.220
Al ₂ O ₃	-0.487	-0.959	0.826	-0.253	0.333	0.020

Cabeceirinhas P-Valor	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)
Areia Grossa 2-0,2(mm)	0.000	0.250	0.349	0.654	0.648	0.000
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	0.250	0.000	0.000	0.289	0.170	0.740
Silte 0,05-0,002(mm)	0.349	0.000	0.000	0.002	0.210	0.910
Argila<0,002(mm)	0.654	0.289	0.002	0.000	0.884	0.980
pH (H2O)	0.648	0.170	0.210	0.884	0.000	0.300
pH (KCL)	0.002	0.740	0.910	0.986	0.307	0.000
ΔpH	0.757	0.123	0.205	0.884	0.000	0.960
C.E	0.548	0.046	0.007	0.067	0.166	0.290
C.O	0.598	0.414	0.387	0.669	0.520	0.390
M.O	0.596	0.411	0.385	0.672	0.520	0.400
Ca ²⁺	0.061	0.335	0.737	0.028	0.977	0.960
Mg ²⁺	0.453	0.136	0.523	0.727	0.623	0.310
K ⁺						
Na ⁺						
Fe ₂ O ₃	0.001	0.033	0.013	0.502	0.035	0.020
TiO ₂	0.383	0.002	0.002	0.025	0.119	0.400
Al ₂ O ₃	0.056	0.000	0.000	0.344	0.207	0.910

Apêndice B-II Correlação de Pearson e P-Valor da vertente Campos

Campos Pearson	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KC)
Areia Grossa 2-0,2(mm)	1.000	-0.567	-0.721	-0.440	-0.165	0.1
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	-0.567	1.000	-0.096	-0.432	0.127	-0.4
Silte 0,05-0,002(mm)	-0.721	-0.096	1.000	0.812	0.261	0.2
Argila<0,002(mm)	-0.440	-0.432	0.812	1.000	-0.035	0.3
pH (H2O)	-0.165	0.127	0.261	-0.035	1.000	0.3
pH (KCL)	0.170	-0.476	0.277	0.359	0.309	1.0
ΔpH	0.277	-0.456	-0.057	0.286	-0.745	0.4
C.E	-0.439	0.063	0.415	0.400	-0.074	-0.3
C.O	0.368	0.192	-0.543	-0.619	0.008	-0.0
M.O	-0.290	0.417	-0.022	-0.114	-0.175	-0.6
Ca2+	0.502	0.092	-0.550	-0.678	0.144	-0.0
Mg2+	-0.348	-0.025	0.402	0.374	0.198	-0.2
K+						
Na+						
Fe2O3	-0.416	-0.336	0.727	0.845	-0.049	0.3
TiO2	0.355	-0.118	-0.439	-0.278	-0.090	0.1
Al2O3	-0.055	-0.310	0.290	0.313	-0.060	0.2

Campos P-Valor	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KC)
Areia Grossa 2-0,2(mm)	0.000	0.906	0.005	0.048	0.396	0.0
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	0.906	0.000	0.289	0.000	0.197	0.9
Silte 0,05-0,002(mm)	0.005	0.289	0.000	0.014	0.450	0.0
Argila<0,002(mm)	0.048	0.000	0.014	0.000	0.350	0.5
pH (H2O)	0.396	0.197	0.450	0.350	0.000	0.4
pH (KCL)	0.080	0.986	0.041	0.568	0.497	0.0
ΔpH	0.531	0.320	0.375	0.229	0.010	0.0
C.E	0.894	0.282	0.197	0.627	0.055	0.8
C.O	0.463	0.573	0.263	0.152	0.730	0.0
M.O	0.463	0.573	0.263	0.152	0.730	0.0
Ca2+	0.045	0.021	0.729	0.330	0.332	0.2
Mg2+	0.264	0.052	0.818	0.218	0.038	0.4
K+						
Na+						
Fe2O3	0.742	0.309	0.166	0.502	0.025	0.1
TiO2	0.884	0.239	0.783	0.388	0.059	0.9
Al2O3	0.993	0.212	0.714	0.368	0.629	0.6

Apêndice B -III Correlação de Pearson e P-Valor da vertente Igrejinha

Igrejinha Pearson	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (†)
Areia Grossa 2-0,2(mm)	1.000	-0.437	-0.340	0.477	-0.277	-0
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	-0.437	1.000	-0.323	-0.593	-0.346	0
Silte 0,05-0,002(mm)	-0.340	-0.323	1.000	-0.406	0.253	-0
Argila<0,002(mm)	0.477	-0.593	-0.406	1.000	0.456	0
pH (H2O)	-0.277	-0.346	0.253	0.456	1.000	0
pH (KCL)	-0.213	0.001	-0.002	0.175	0.583	1
ΔpH	0.119	0.408	-0.300	-0.367	-0.611	0
C.E	0.522	0.081	-0.201	-0.122	-0.616	-0
C.O	0.638	-0.243	-0.276	0.438	-0.133	-0
M.O	0.638	-0.245	-0.271	0.436	-0.132	-0
Ca2+	0.078	-0.036	-0.121	0.011	-0.237	0
Mg2+	-0.015	0.038	-0.036	0.092	-0.092	-0
K+						
Na+						
Fe2O3	-0.105	-0.754	0.476	0.521	0.729	0
TiO2	0.424	-0.007	-0.214	-0.199	-0.586	-0
Al2O3	-0.147	0.174	-0.496	0.501	0.465	0
Igrejinha P-Valor	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (†)
Areia Grossa 2-0,2(mm)	0.000	0.091	0.197	0.062	0.299	0
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	0.091	0.000	0.222	0.016	0.190	0
Silte 0,05-0,002(mm)	0.197	0.222	0.000	0.119	0.345	0
Argila<0,002(mm)	0.062	0.016	0.119	0.000	0.076	0
pH (H2O)	0.299	0.190	0.345	0.076	0.000	0
pH (KCL)	0.429	0.997	0.994	0.517	0.018	0
ΔpH	0.660	0.117	0.259	0.162	0.012	0
C.E	0.038	0.765	0.455	0.652	0.011	0
C.O	0.008	0.364	0.301	0.090	0.625	0
M.O	0.008	0.361	0.311	0.091	0.627	0
Ca2+	0.774	0.895	0.656	0.968	0.376	0
Mg2+	0.956	0.890	0.894	0.734	0.733	0
K+						
Na+						
Fe2O3	0.699	0.001	0.062	0.039	0.001	0
TiO2	0.102	0.980	0.427	0.459	0.017	0
Al2O3	0.587	0.518	0.051	0.048	0.070	0

Apêndice B -IV Correlação de Pearson e P-Valor da vertente Mandim

Mandim Pearson	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)
Areia Grossa 2-0,2(mm)	1.000	-0.793	-0.052	-0.387	0.459	-0.2
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	-0.793	1.000	-0.194	0.003	-0.264	0.1
Silte 0,05-0,002(mm)	-0.052	-0.194	1.000	-0.423	0.438	-0.7
Argila<0,002(mm)	-0.387	0.003	-0.423	1.000	-0.649	0.8
pH (H2O)	0.459	-0.264	0.438	-0.649	1.000	-0.4
pH (KCL)	-0.235	0.142	-0.755	0.811	-0.478	1.0
ΔpH	-0.305	0.182	-0.758	0.852	-0.634	0.9
C.E	0.133	-0.008	-0.330	0.069	-0.335	-0.0
C.O	0.442	-0.062	-0.722	-0.113	-0.105	0.2
M.O	0.470	-0.072	-0.655	-0.104	-0.062	0.1
Ca2+	0.142	-0.026	-0.032	-0.036	0.203	0.1
Mg2+	-0.236	0.415	0.091	-0.431	0.040	-0.2
K+						
Na+						
Fe2O3	-0.212	-0.165	-0.176	0.558	-0.481	0.3
TiO2	0.138	-0.349	0.854	-0.404	0.315	-0.7
Al2O3	-0.184	0.036	-0.233	0.415	-0.468	0.3
Mandim P-Valor	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)
Areia Grossa 2-0,2(mm)	0.000	0.002	0.873	0.214	0.133	0.4
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	0.002	0.000	0.546	0.993	0.407	0.6
Silte 0,05-0,002(mm)	0.873	0.546	0.000	0.170	0.155	0.0
Argila<0,002(mm)	0.214	0.993	0.170	0.000	0.022	0.0
pH (H2O)	0.133	0.407	0.155	0.022	0.000	0.1
pH (KCL)	0.462	0.659	0.005	0.001	0.116	0.0
ΔpH	0.335	0.572	0.004	0.000	0.027	0.0
C.E	0.681	0.980	0.295	0.832	0.287	0.8
C.O	0.150	0.849	0.008	0.728	0.745	0.4
M.O	0.123	0.825	0.021	0.749	0.847	0.5
Ca2+	0.660	0.935	0.921	0.913	0.527	0.6
Mg2+	0.461	0.180	0.778	0.162	0.901	0.3
K+						
Na+						
Fe2O3	0.509	0.608	0.584	0.059	0.113	0.2
TiO2	0.668	0.266	0.000	0.192	0.319	0.0
Al2O3	0.567	0.912	0.466	0.180	0.125	0.2

Apêndice B -V Correlação de Pearson e P-Valor da vertente Várzea

Varzea Pearson	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)
Areia Grossa 2-0,2(mm)	1.000	-0.033	-0.685	-0.518	0.236	0.466
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	-0.033	1.000	-0.293	-0.790	-0.353	-0.005
Silte 0,05-0,002(mm)	-0.685	-0.293	1.000	0.616	-0.211	-0.531
Argila<0,002(mm)	-0.518	-0.790	0.616	1.000	0.260	-0.160
pH (H2O)	0.236	-0.353	-0.211	0.260	1.000	0.190
pH (KCL)	0.466	-0.005	-0.531	-0.160	0.190	1.000
ΔpH	0.176	0.276	-0.247	-0.331	-0.644	0.629
C.E	-0.038	0.297	-0.353	-0.137	0.505	0.067
C.O	0.205	0.158	-0.309	-0.389	0.097	-0.576
M.O	0.205	0.158	-0.309	-0.389	0.097	-0.576
Ca2+	-0.524	0.589	0.098	-0.270	-0.269	-0.304
Mg2+	0.308	-0.511	0.065	0.338	0.539	0.231
K+						
Na+						
Fe2O3	0.093	-0.282	-0.377	0.188	0.574	0.378
TiO2	0.041	-0.324	-0.078	0.241	0.499	-0.024
Al2O3	-0.003	0.342	-0.103	-0.250	-0.136	-0.130

Varzea P-Valor	Areia Grossa 2-0,2(mm)	Areia Fina 0,20-0,05(mm)	Silte 0,05-0,002(mm)	Argila<0,002(mm)	pH (H2O)	pH (KCL)
Areia Grossa 2-0,2(mm)	0.000	0.906	0.005	0.048	0.396	0.080
Areia Fina 0,20-0,05(mm)	0.906	0.000	0.289	0.000	0.197	0.986
Silte 0,05-0,002(mm)	0.005	0.289	0.000	0.014	0.450	0.041
Argila<0,002(mm)	0.048	0.000	0.014	0.000	0.350	0.568
pH (H2O)	0.396	0.197	0.450	0.350	0.000	0.497
pH (KCL)	0.080	0.986	0.041	0.568	0.497	0.000
ΔpH	0.531	0.320	0.375	0.229	0.010	0.012
C.E	0.894	0.282	0.197	0.627	0.055	0.812
C.O	0.463	0.573	0.263	0.152	0.730	0.025
M.O	0.463	0.573	0.263	0.152	0.730	0.025
Ca2+	0.045	0.021	0.729	0.330	0.332	0.270
Mg2+	0.264	0.052	0.818	0.218	0.038	0.408
K+						
Na+						
Fe2O3	0.742	0.309	0.166	0.502	0.025	0.165
TiO2	0.884	0.239	0.783	0.388	0.059	0.931
Al2O3	0.993	0.212	0.714	0.368	0.629	0.645