



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS**

PAULA GRACIELE SILVESTRE LUCAS

**ESTRUTURA SUPERFICIAL E GEOQUÍMICA DA PAISAGEM NA BACIA DO
CÓRREGO IGREJINHA, JUIZ DE FORA – MG.**

Orientador (a): Roberto Marques Neto

JUIZ DE FORA

2022

Paula Graciele Silvestre Lucas

**Estrutura Superficial e Geoquímica Da Paisagem Na Bacia do Córrego
Igrejinha, Juiz De Fora – MG.**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisita parcial a obtenção do grau de mestre.

Orientador (a): Roberto Marques Neto

JUIZ DE FORA

2022

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Silvestre, Paula Graciele.

Estrutura Superficial e Geoquímica Da Paisagem Na Bacia Do Córrego Igreja, Juiz De Fora – MG. / Paula Graciele Silvestre. -- 2022.

86 f.

Orientador: Roberto Marques Neto

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2022.

1. Compartimentação geoquímica. 2. estrutura superficial da paisagem. I. Neto, Roberto Marques , orient. II. Título.

PAULA GRACIELE SILVESTRE LUCAS

**ESTRUTURA SUPERFICIAL E GEOQUÍMICA DA PAISAGEM NA BACIA DO CÓRREGO
IGREJINHA, JUIZ DE FORA – MG**

Dissertação
apresentada
ao Programa de Pós-
graduação em
Geografia
da Universidade
Federal de Juiz de
Fora como requisito
parcial à obtenção do
título de mestra em
Geografia. Área de
concentração: Dinâmicas
Espaciais.

Aprovada em 26 de setembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof(a) Dr(a) Roberto Marques Netto - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) César Henrique Barra Rocha

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof(a) Dr(a) José João Lelis Leal de Souza

Universidade Federal de Viçosa

Juiz de Fora, 06/09/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Marques Netto, Professor(a)**, em 26/09/2022, às 11:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **José João Lelis Leal de Souza, Usuário Externo**, em 26/09/2022, às 20:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cezar Henrique Barra Rocha, Professor(a)**, em 27/09/2022, às 23:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elias Lopes de Lima, Professor(a)**, em 28/10/2022, às 12:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **0938024** e o código CRC **2BB3E33A**.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação de mestrado não poderia chegar a bom porto sem o precioso apoio de várias pessoas.

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Professor Roberto Marques, por toda a paciência, empenho e sentido prático com que sempre me orientou neste trabalho e em todos aqueles que realizei durante o mestrado. Agradeço por todos os ensinamentos compartilhados de forma admirável. Muito obrigada por me ter corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus colegas de turma do programa de pós-graduação em geografia, especialmente a Juliana Moreira, cujo apoio estiveram presentes em todos os momentos.

Agradeço a todos os docentes do Núcleo de Metalurgia do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, meus colegas de trabalho, por todo apoio, suporte e motivação.

Agradecimento ao meu marido Maycon Cristian Lucas, por todo apoio, paciência e incentivo demonstrada por todo esse período.

Aos meus pais, Sônia e Geraldo, que nunca mediram esforços para me ensinar o caminho do bem, e sempre me apoiaram em todas as etapas da minha vida.

Por último, quero agradecer à minha família e amigos pelo apoio incondicional, principalmente a Lara Coelho e Joana Paula, pelas revisões incansáveis ao longo da elaboração deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho visou compreender a paisagem no âmbito dinâmico-funcional por meio da compartimentação de diferentes ambientes geomorfológicos e geoquímicos para a interpretação da influência do grau antropogênico na estrutura superficial da paisagem na Bacia do Córrego Igrejinha, localizada no município de Juiz de Fora (MG). Buscou-se apresentar uma abordagem metodológica abarcada pelo estudo da estrutura superficial da paisagem segundo seus aspectos dinâmico-funcionais por técnicas de compartimentação embasadas nas concepções teóricas da geoquímica da paisagem. A compartimentação dinâmica-funcional definiu as paisagens autônomas (zona eluvial) e subordinadas (zonas transeluviais, transacumulativas e acumulativas) sendo possível a identificação das áreas emissoras e receptoras de materiais. Nas paisagens identificadas, foram coletadas amostras das coberturas superficiais e realizados ensaios laboratoriais, onde através da caracterização por meio da química analítica, discutido a mobilidade química nos parâmetros da afinidade e das reações químicas vigentes no intemperismo químico. Em posse desses resultados, foi discutida a relação entre a compartimentação dinâmico-funcional e suas relações com a geoquímica das coberturas superficiais, foram analisadas as assinaturas geoquímicas das zonas transeluviais e acumulativa e relacionado o quadro geoquímico e a organização tecnogênica vigente. Como resultado foi possível observar que as atividades humanas interferem nos processos de intemperismo químico, alterando as abundâncias das fases mineralógicas nas paisagens elementares.

Palavras-chave: compartimentação geoquímica; estrutura superficial da paisagem; barreiras geoquímicas; bacia do córrego Igrejinha.

ABSTRACT

The present work aimed to understand the landscape in the dynamic-functional scope through the compartmentalization of different geomorphological and geochemical environments for the interpretation of the influence of the anthropogenic degree on the surface structure of the landscape in the Córrego Igrejinha Basin, located in the city of Juiz de Fora (MG). We sought to present a methodological approach encompassed by the study of the surface structure of the landscape according to its dynamic-functional aspects by compartmentalization techniques based on theoretical concepts of landscape geochemistry. The dynamic-functional compartmentalization defined the autonomous (eluvial zone) and subordinated (transeluvial, transaccumulative and accumulative zones) landscapes, making it possible to identify the emitting and receiving areas of materials. The identified landscapes, samples of surface coverings were collected, and laboratory tests were carried out where, through characterization through analytical chemistry, the chemical mobility in the walls of affinity and chemical reactions in chemical weathering were discussed. In possession of these results, the relationship between the dynamic-functional compartmentalization and its relationships with the geochemistry of the surface covers was discussed, the geochemical signatures of the trans-eluvial and cumulative zones were analyzed and the geochemical framework and the current technogenic organization were analyzed. As a result, it was possible to observe that human activities interfere in chemical weathering processes, changing the abundance of mineralogical phases in elemental landscapes.

Keywords: geochemical compartmentalization; surface structure of the landscape; geochemical barriers; Igrejinha stream basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização da Bacia do Córrego Igrejinha – MG	17
Figura 2: Mapa de Hipsometria da Bacia do Córrego Igrejinha - MG	18
Figura 3: Mapa Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Córrego Igrejinha - MG.....	19
Figura 4: Mapa de Classes de Solo da Bacia do Córrego Igrejinha - MG.....	20
Figura 5: Mapa de Geologia da Bacia do Córrego Igrejinha - MG	21
Figura 6: Mapa de Declividade da Bacia do Córrego Igrejinha – MG	22
Figura 7: Mapa de uso e ocupação da terra da Bacia do Córrego Igrejinha - MG	23
Figura 8: Esquema de paisagens elementares de acordo com B.B Polynov	38
Figura 9: Mosaico das Cartas Topográficas da Bacia do Córrego Igrejinha - MG	42
Figura 10: Modelo inicial de fluxo superficial proposto por Horton.....	45
Figura 11: Maceramento das amostras de solo com pistilo e gral.	49
Figura 12: Suspensão das amostras de solo em solução de KCl	50
Figura 13: Porta – Amostra no espectrômetro de raios-X por dispersão em energia	52
Figura 14: Análise de microscopia no microscópio eletrônico de varredura.....	53
Figura 15: Difratômetro da marca Bruker , utilizado no ensaio.	55
Figura 16: Mapa de Compartimentação Dinâmico-Funcional da Bacia do Córrego Igrejinha - MG	56
Figura 17: Vertente com a identificação das paisagens elementares – Funcional da Bacia do Córrego Igrejinha - MG.:.....	57
Figura 18: Gráfico da variação dos elementos químicos na Bacia do Córrego Igrejinha-Juiz de Fora (MG).	60
Figura 19: Micrografia das amostras das três áreas de estudo no aumento de 100x	61
Figura 20: Micrografia das amostras das três áreas de estudo no aumento de 500x	62
Figura 21: Micrografia das partículas analisadas no EDS.	63

Figura 22: Difratoogramas das amostras coletadas analisadas no EDS.	64
Figura 23: Difratoograma das fases mineralógicas presentes na zona transeluvial e acumulativa da área 1.	65
Figura 24: Variação das fases mineralógicas da área 1 na Bacia do Córrego Igreja-Juiz de Fora-MG.	67
Figura 25 : Difratoograma das fases mineralógicas presentes na zona transeluvial e acumulativa da área 2.	68
Figura 26: Variação das fases mineralógicas da área 2 na Bacia do Córrego Igreja-Juiz de Fora-MG.	69
Figura 27: Difratoograma das fases mineralógicas presentes na zona transeluvial e acumulativa da área 3.	70
Figura 28: Variação das fases mineralógicas da área 3 na Bacia do Córrego Igreja-Juiz de Fora-MG.	71
Figura 29: Comportamento Geoquímico do Quartzo nas três áreas de estudo na Bacia do Córrego Igreja-Juiz de Fora-MG ...	73
Figura 30: Comportamento Geoquímico da Caulinita nas três áreas de estudo na Bacia do Córrego Igreja-Juiz de Fora-MG ...	75
Figura 31: Comportamento Geoquímico da Gibsita nas três áreas de estudo na Bacia do Córrego Igreja-Juiz de Fora-MG ...	77
Figura 32: Comportamento Geoquímico da fase Alumínio-ferro-titânio-vanádio nas três áreas de estudo na Bacia do Córrego Igreja-Juiz de Fora-MG ...	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição dos pontos de coleta das amostras	47
Quadro 2: Valores de PH encontrados na Bacia do Córrego Igrejinha – MG	58
Quadro 3: Percentuais dos Elementos Químicos encontrados na Bacia do Córrego Igrejinha-MG	59
Quadro 4: Percentual das fases mineralógicas da Área 1	66
Quadro 5: Percentual das fases mineralógicas da Área 2	68
Quadro 6: Percentual das fases mineralógicas da área 3	70

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - ASPECTOS INTRODUTÓRIOS	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
CAPÍTULO 2 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
2.1 LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO IGREJINHA - MG	18
2.2 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA DO CÓRREGO IGREJINHA - MG.....	18
CAPÍTULO 3 - ASPECTOS TEÓRICOS	25
3.1 A PAISAGEM NO CONTEXTO DA ABORDAGEM SISTÊMICA	25
3.2 ESTUDO DA PAISAGEM NO ÂMBITO DO ANTROPOCENO	27
3.3 MANTO DE ALTERAÇÃO E AS COBERTURAS SUPERFICIAIS.....	29
3.4 INTEMPERISMO QUÍMICO E AS RELAÇÕES COM AS MIGRAÇÕES QUÍMICAS	31
3.5 ASPECTOS TEÓRICOS DA GEOQUÍMICA DA PAISAGEM	35
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA	41
4.1 ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS	41
4.2 COMPARTIMENTAÇÃO DINÂMICO-FUNCIONAL DA PAISAGEM NA BACIA DO CÓRREGO IGREJINHA.	44
4.3 ENSAIOS LABORATORIAIS.....	46
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS	56
5.1 COMPARTIMENTAÇÃO DINÂMICO-FUNCIONAL	56
5.2 RESULTADOS LABORATORIAIS	58
5.2.1 Medição de pH.....	58
5.2.2 Identificação dos elementos químicos através de técnicas de fluorescência de Raio-X (EDX).	58
5.2.3 Análise das feições morfológicas superficiais das amostras	60
5.2.4 Determinação das estruturas cristalinas através da técnica de difração de raio x.....	65
CAPÍTULO 6 -DISCUSSÕES	73
6.1 COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DAS FASES MINERALÓGICAS	73
6.1.1 Quartzo	73

6.1.2 Caulinita	75
6.1.3 Gibsita	77
6.1.4 Fase de Alumínio-ferro-titânio-vanádio.....	79
CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

CAPÍTULO 1 - ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

1.1 . Considerações Iniciais

A discussão acerca da paisagem tem suma importância para compreender os aspectos e conexões que o meio físico tem com seu entorno. Esses aspectos e conexões demonstram a interação do meio natural com a sociedade, possibilitando assim observar as relações sociais e naturais num determinado espaço. Destarte, o estudo da paisagem torna evidente a mescla das influências antropogênicas e naturais por meio dos elementos componentes que alteram e moldam-se às novas lógicas funcionais impostas.

A fragmentação do conhecimento geográfico concede diversos métodos ao estudo da paisagem, cada um com seu enfoque e ferramentas específicas. O entendimento acerca da paisagem em suas formas e funcionamento denota o inesgotável debate entre sociedade-natureza . Sendo assim é necessária uma abordagem interdisciplinar para o entendimento do funcionamento desses complexos .Através dos aspectos empíricos da geoquímica da paisagem, pode - se alcançar resultados mais detalhados acerca da influência da sociedade na natureza.

A presente pesquisa visa compreender a paisagem no âmbito dinâmico-funcional por meio da compartimentação de diferentes ambientes geomorfológicos e geoquímicos para a interpretação do comportamento e mobilidade dos elementos químicos na estrutura superficial da paisagem. Esta ação possibilita entender como as formas e compartimentos de relevo contribuem para a migração dos elementos químicos e como estes podem alterar em suas diferentes assinaturas geoquímicas.

Dessa forma, é de interesse espacializar as funções emissoras, transmissoras e receptoras de fluxos de matéria e energia na paisagem. Caracterizar a estrutura superficial através de métodos analíticos como identificação dos elementos químicos por técnicas de fluorescências de raio-x, medição de pH, análises das feições morfológicas por intermédio da microscopia eletrônica de varredura e identificação das fases mineralógicas pela técnica de difração de raio-x . A partir desses resultados compreender a dinâmica das assinaturas geoquímica em sua função geoecológica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Gerais

Interpretar qualitativamente os aspectos dinâmico-funcionais na bacia do córrego Igrejinha (Juiz de Fora, MG) através da metodologia da geoquímica da paisagem e identificar as possíveis relações no uso da terra na região com a distribuição dos elementos químicos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Espacializar a estrutura superficial da paisagem, segundo seus aspectos dinâmico-funcionais, por técnicas de compartimentação embasadas nas concepções teóricas da geoquímica da paisagem;
- Discutir a relação entre a compartimentação dinâmico-funcional com o comportamento das assinaturas geoquímicas presentes na estrutura superficial da paisagem;
- Relacionar o quadro geoquímico e a organização tecnogênica vigente.

1.3. JUSTIFICATIVA

Com a finalidade de compreender as relações que se dão no meio natural e social e principalmente os encadeamentos entre seus componentes, é inescusável à pesquisa ter um caráter multidisciplinar. A multidisciplinaridade entre os ramos da ciência numa pesquisa científica agracia um enriquecimento tanto na metodologia quanto na discussão dos resultados, pois as informações obtidas, por evidenciarem um cunho holístico, corrobora o entendimento da complexidade das relações existentes na natureza.

A abordagem sistêmica da natureza permite delimitar os campos pelos quais se articulam as interações e diferenciar os níveis de realidade onde estes campos se situam. Diversos processos naturais ou antrópicos, que ocorrem na superfície terrestre, exprimem-se por associações de elementos químicos, características do processo gerador e geograficamente concernentes à sua área de ocorrência. Os estudos da paisagem, no âmbito dos estudos da geoquímica da paisagem, fornecem subsídios para entendimento em caráter elementar da interação dos mais diversos elementos fornecendo uma metodologia interdisciplinar dentro das ciências geográficas, geológicas e químicas.

A Bacia Hidrográfica do Córrego está localizada no município de Juiz de Fora (MG), sendo afluente direto da margem direita do rio Paraibuna e tributário pela margem esquerda do Rio Paraíba do Sul. A ocupação da terra está inserida em áreas urbanas predominantemente de uso residencial, mas também apresenta alguns condomínios rurais, áreas com atividades agrícolas e regiões com atividades industriais. Essa área de estudo foi escolhida devido a essa diversidade de atividades, portanto será possível analisar como a ocupação da terra pode interferir no fluxo de matéria e sua contribuição na cobertura superficial da paisagem.

CAPÍTULO 2- CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO IGREJINHA

A Bacia Hidrográfica do Córrego Igrejinha está localizada entre as coordenadas UTM 650997 e 660997 / 7592909 e 7601909, zona 23 sul, no sudeste do estado de Minas Gerais. As principais vias de acessos para ele se dão a partir das rodovias BR-267 e 040 (Figura 1).

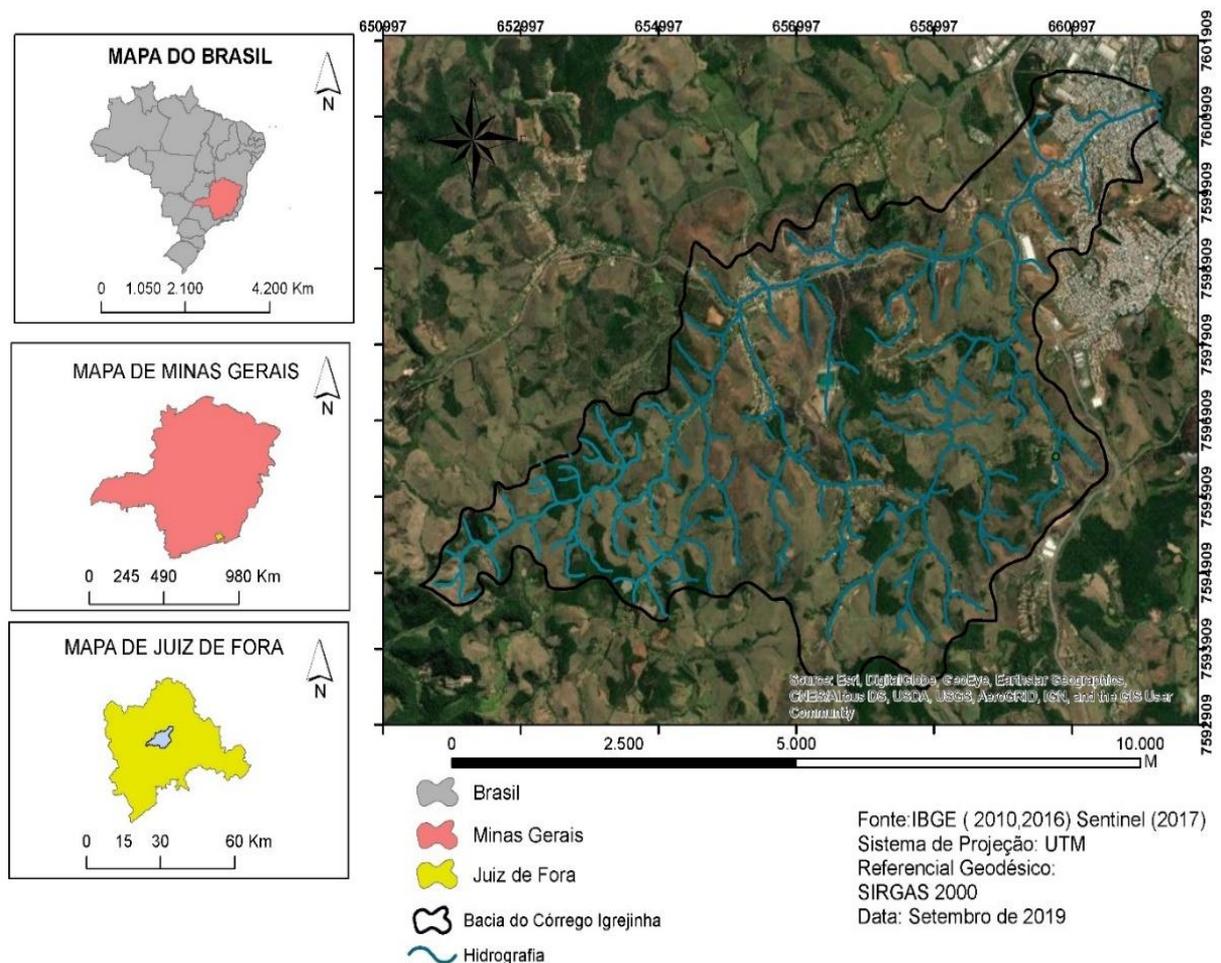


Figura 1: Mapa de Localização da Bacia do Córrego Igrejinha – MG.

2.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA DO CÓRREGO IGREJINHA

A caracterização da Bacia do Córrego Igrejinha foi realizada de acordo com distintas características físicas presentes, bem como especificação sua declividade, altimetria, características, geológicas e pedológicas. A altimetria da região varia de 700 m e 850 m de altitude (Figura 2).

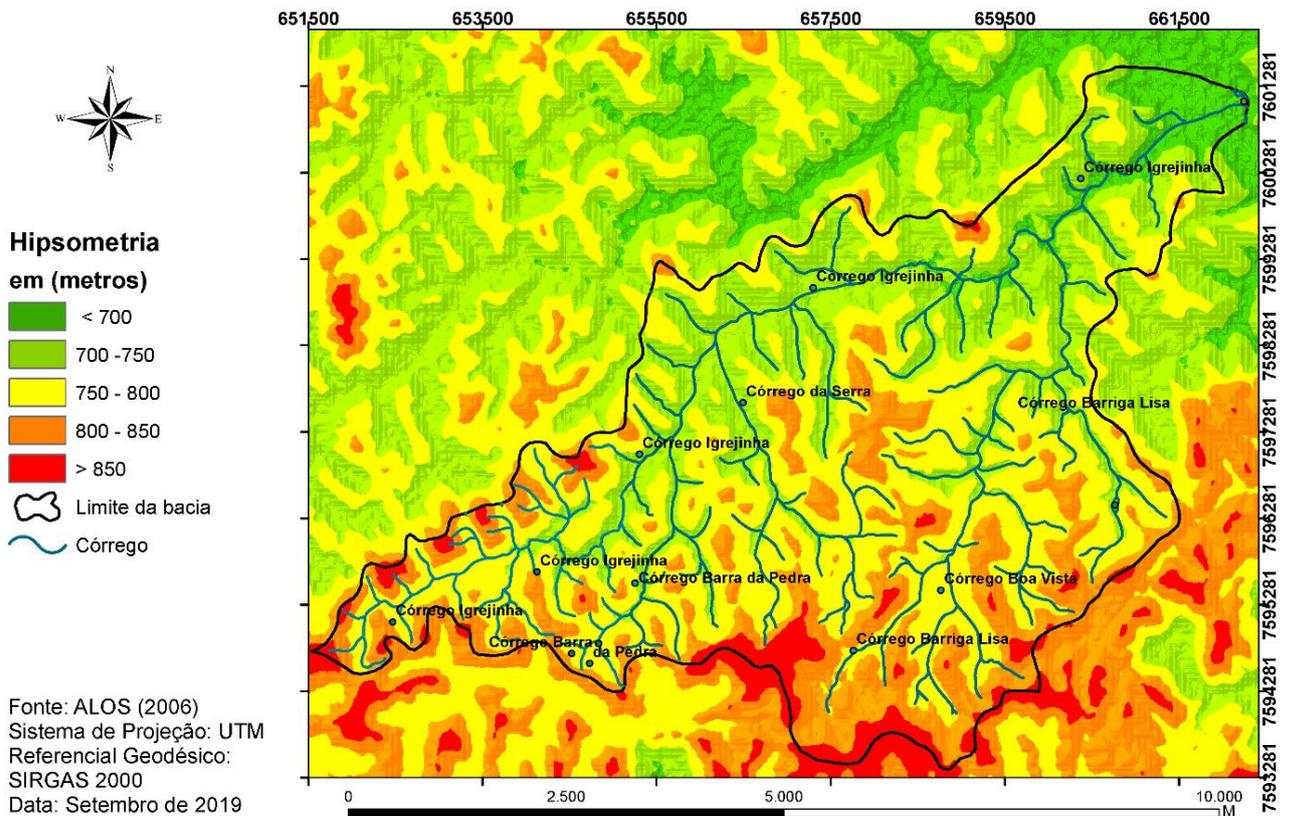
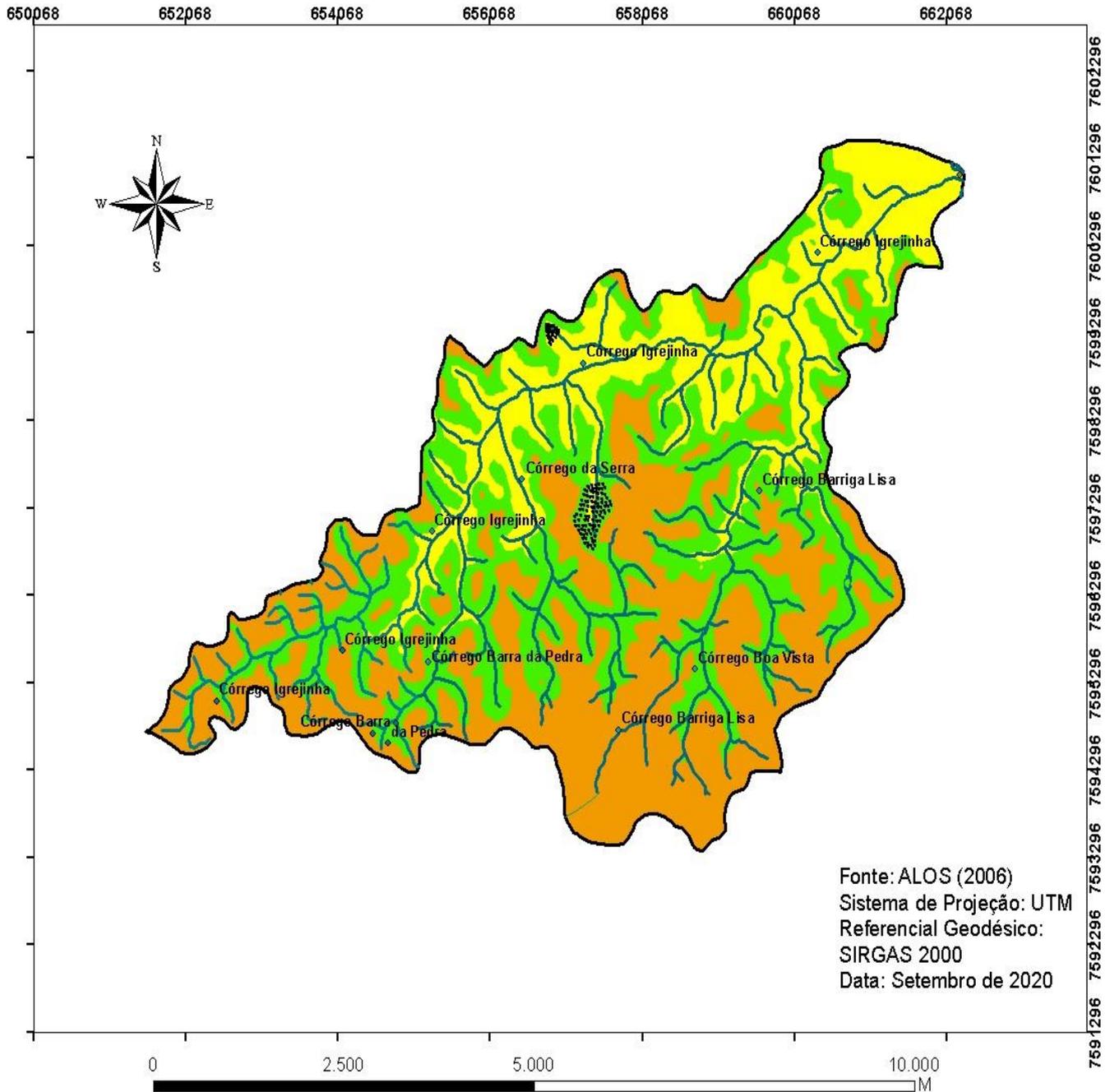


Figura 2: Mapa de Hipsometria da Bacia do Córrego Igrejinha – MG.

No aspecto geomorfológico, a Bacia do Córrego Igrejinha introduz lugares com várzea com morros com morfologias mamelonares quaternárias de topos convexos e vertentes convexo-retilíneas com coberturas superficiais argilosas. Apresenta morrotes com morfologias mamelonares quaternárias rebaixadas de topos convexos e vertentes convexo-retilíneas com coberturas superficiais argilosas. A área apresenta planícies fluviais associados a terraço por quase toda extensão do córrego Igrejinha. O lugar também apresenta modelos de aplanção, no qual suas morfologias foram redefinidas através dos seus declives, terraplanagem e resultando na reorganização dos fluxos superficiais (Figura 3).



Compartimentação Geomorfológica

- Planícies flúvias associadas a terraços
- Morrotes rebaixados de topo convexo e vertentes convexas e retilíneas
- Morros com morfologias mamelonares quaternárias de topos convexos e vertentes convexo-retilíneas
- Morfologias com controle estrutural e mamelonares com aplainamentos, terraplanagem e impermeabilização de topos e vertentes
- Córrego
- Limite da bacia

Figura 3: Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Córrego igrejinha - MG.

A bacia apresenta uma predominância Latossolos Vermelho-Amarelos e na região mais ao sul apresenta Cambissolos Háplicos (Figura 4). A região apresenta também solos hidromórficos e Neossolo-Flúvicos associado a Gleissolos nos fundos de vale (UFLA/UFV,2010).

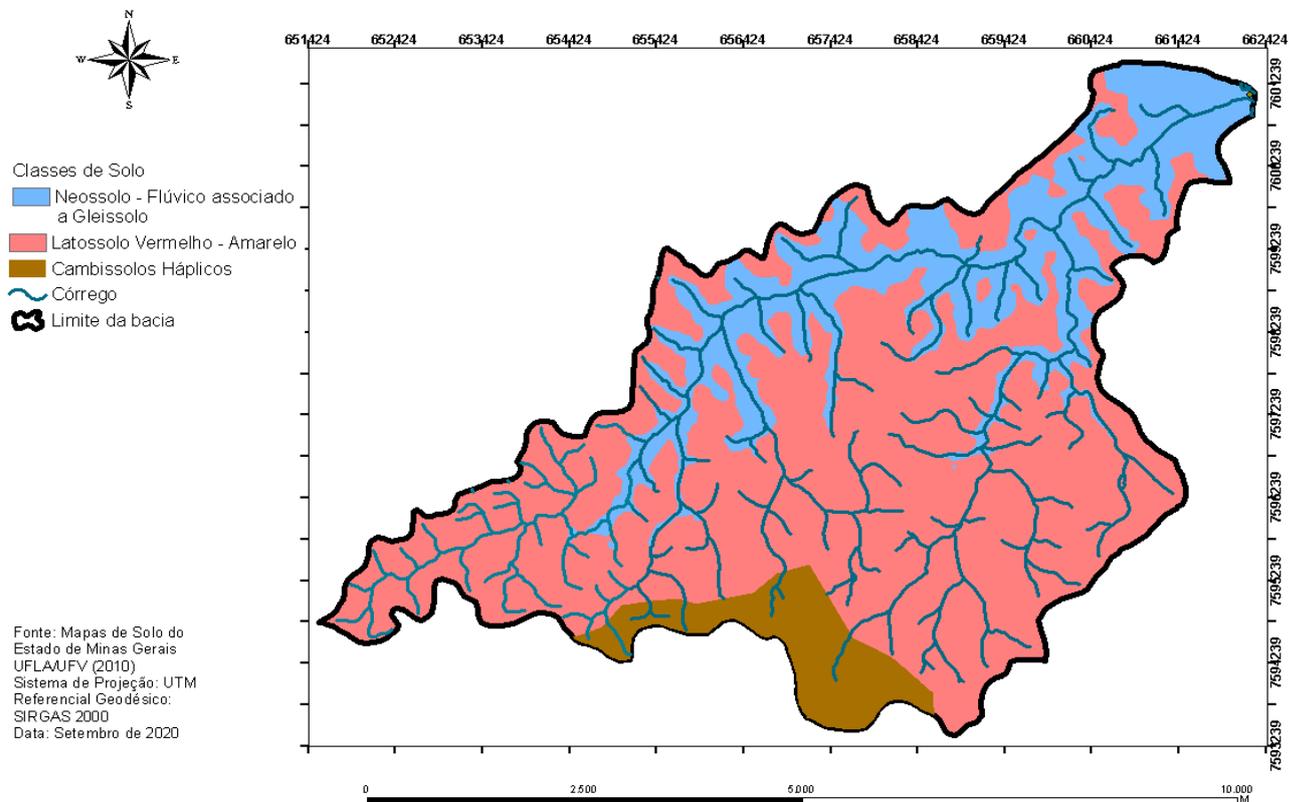


Figura 4: Mapa de Classes de Solo da Bacia do Córrego Igrejinha – MG (adaptado). Fonte: Mapa de Solo do Estado de Minas Gerais.

Na figura 5, podemos observar as características da litologia presente na área de estudo, nota-se a presença de anfíbolito, hornoblenda-biotita, gnaisse e enderbita oriundos da era Paleoproterozóico. A área apresenta também xisto-aluminoso da era Neoproterozóico (CPRM, 2016).

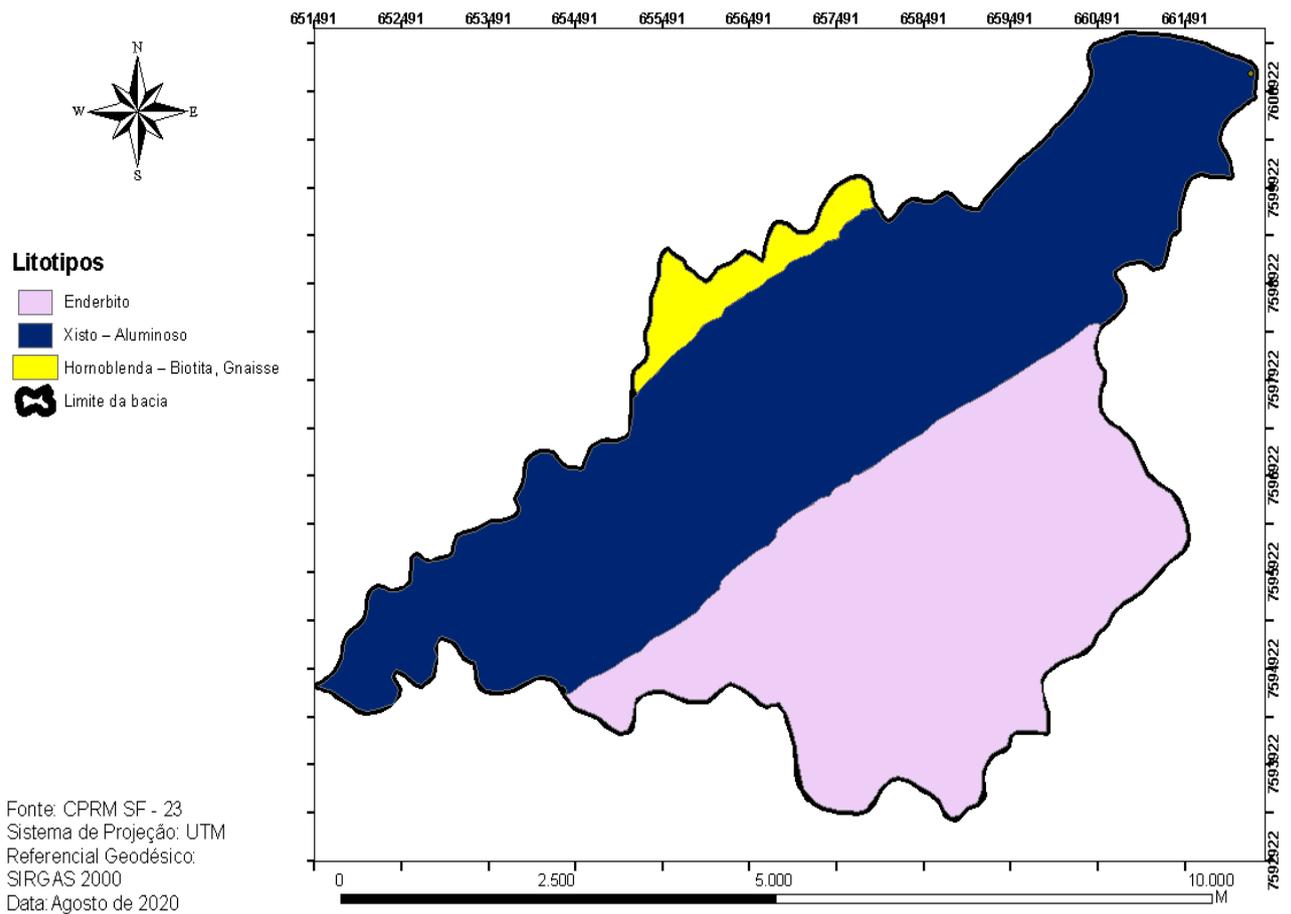


Figura 5: Mapa de Geologia da Bacia do Córrego Igrejainha – MG.

A declividade da bacia do Córrego Igrejainha (figura 6) apresentou uma variação de classes 0% a 47% em todo seu território. As áreas de nascente do córrego e seus afluentes estão localizadas em áreas com declividade acima de 30%, as formações de morrotes estão na faixa entre 12% e 30%, e os fundos de vale estão abaixo de 6%.

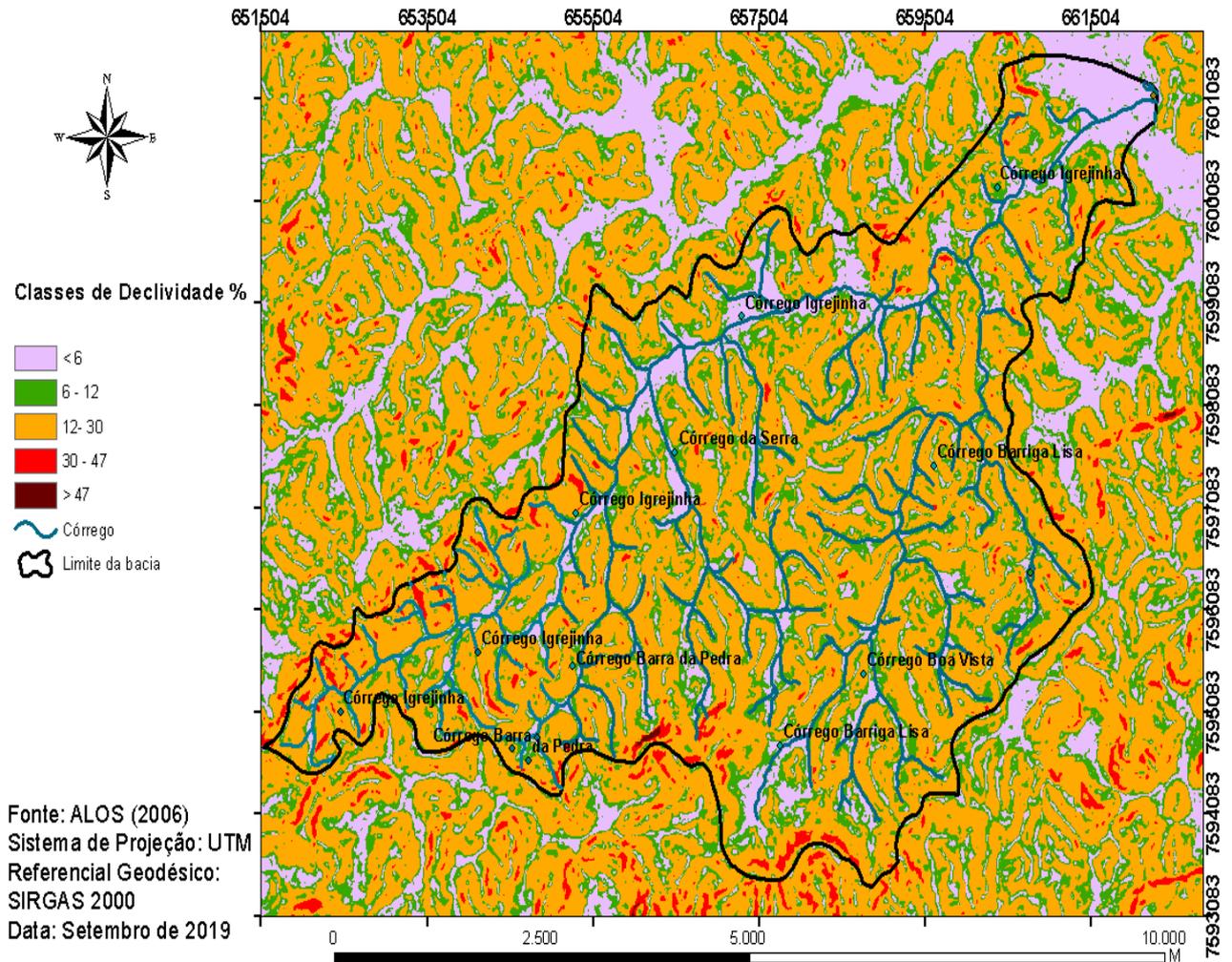


Figura 6: Mapa de Declividade da Bacia do Córrego Igrejinha – MG.

O uso e ocupação da terra na bacia agrega área urbana predominantemente de uso residencial, mas também apresenta alguns condomínios rurais, áreas com atividades agrícolas e áreas com atividades industriais. A bacia é cortada por duas rodovias federais, a BR 040 e a BR 267, ambas com muita movimentação de caminhões, ônibus e carros.

A área urbana residencial predomina ao norte da bacia (Figura 7), abrangendo todo Bairro Igrejinha, sendo predominante residencial com pouco comércio e pouca infraestrutura, com população de classe média baixa. De acordo com o Plano Diretor de Juiz de Fora (2015), essa região encontra-se dentro de uma zona de urbanização específica, ou seja, encontra-se afastada do centro urbano e tem mobilidade reduzida devido à pouca disponibilidade de transporte público.

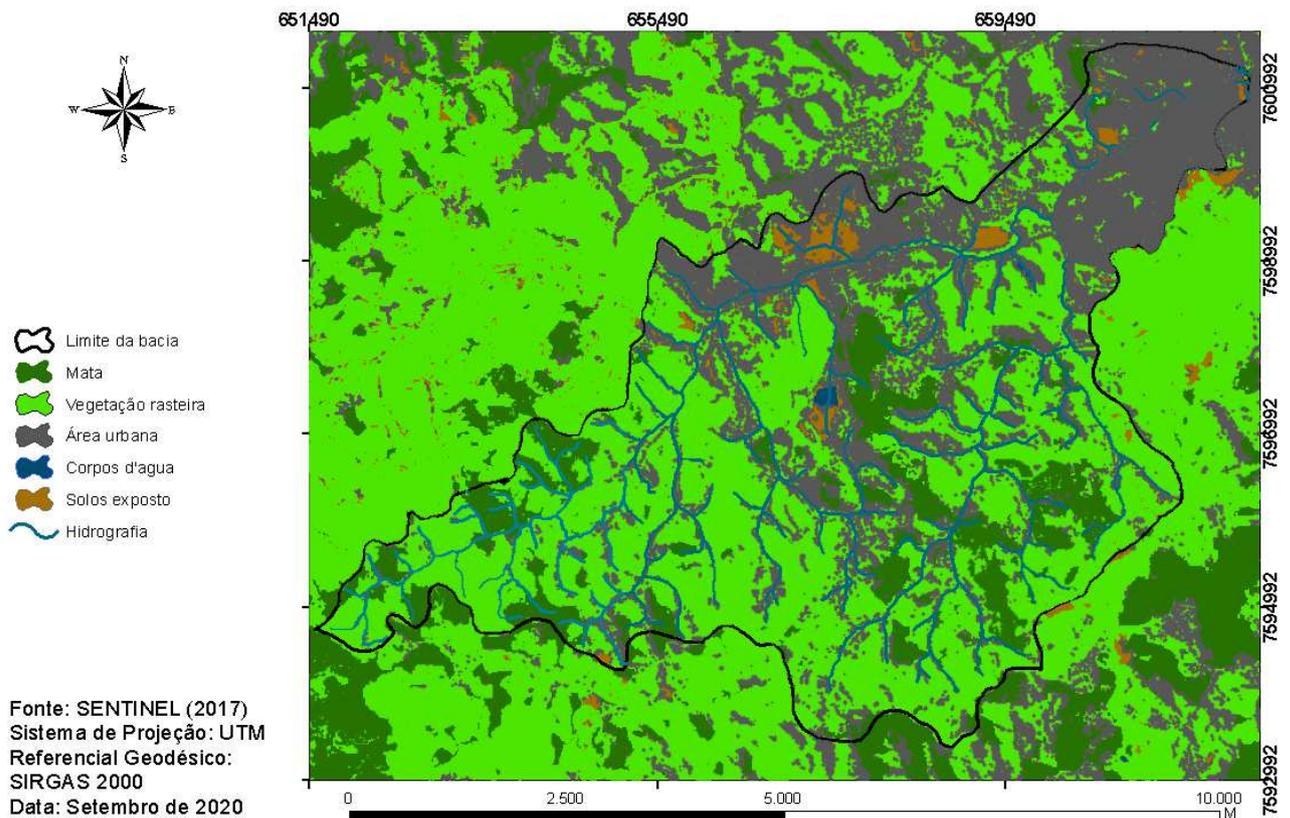


Figura 7: Mapa de uso e ocupação da terra da Bacia do Córrego Igrejinha - MG.

Na área mais central da bacia encontra-se o bairro Humaitá, pertencente também a zona de urbanização específica do município de Juiz de Fora. A área predominante residencial, apresentando também pouca infraestrutura e mobilidade urbana, com propriedades rurais tais como sítios e granjas. Em diversas áreas da bacia há pequenas áreas rurais residenciais e alguns loteamentos para condomínios rurais como o Condomínio Park da Cachoeira, condomínio fechado para granjas e sítios apenas.

A bacia ainda conta com parte do Bairro Benfica, pertencente a área urbana de Juiz de Fora. É um bairro com mais infraestrutura, área residencial com o comércio bastante desenvolvido. Diferente do Bairro Igrejinha, apresenta uma mobilidade urbana mais desenvolvida com maior disponibilidade de transporte público, boa infraestrutura de abastecimento de água, coleta de esgoto e de serviços de limpeza pública.

A bacia possui vegetação predominantemente rasteira, como pode ser visto no mapa de uso e ocupação da terra, tendo áreas de mata encobrindo principalmente as

feições geomorfológicas da área. De acordo com a classificação de Ab'Sáber (2007), a região está inserida no domínio de mares de morro, florestada por Mata Atlântica.

O clima da região é Tropical de Altitude que de acordo com a classificação climática de W. Köppen, o tipo Cwb, que se caracteriza por uma concentração das chuvas no verão, sendo este moderadamente quente, influenciado pelas maiores altitudes. Essa característica é devida as características do relevo regional, que apresenta altitudes médias elevadas favorecendo as precipitações (PAULA; FERREIRA, 2017).

CAPÍTULO 3 - ASPECTOS TEÓRICOS

3.1 A PAISAGEM NO CONTEXTO DA ABORDAGEM SISTÊMICA

A partir dos anos de 1960, o método sistêmico apareceu em muitas disciplinas científicas, apesar que anteriormente algumas ideias geográficas terem sido meramente baseadas por essências sistêmicas (CHRISTOFOLETTI, 1979). O conceito de sistema, segundo Von Bertalanffy (1977), é um conjunto de elementos dinamicamente relacionados entre si, formando uma atividade para atingir um objetivo, operando assim, entradas e saídas, informando energia e matérias processadas. Esses conceitos permitem criar condições de aplicações sob a ótica das questões científicas dos sistemas.

Especificamente, a concepção sistêmica consiste em uma abordagem em que qualquer diversidade da realidade estudada, pode-se considerar como uma unidade regulada em um ou outro grau que se manifesta a partir de algumas categorias sistêmicas. A abordagem sistemática pode ser categorizada por duas estruturas sistemáticas onde ocorrem os fenômenos naturais: os sistemas abertos e os sistemas fechados. Os sistemas fechados são aqueles que possuem fronteiras fechadas onde não há entrada e saída de matéria e energia com a vizinhança. Já os sistemas abertos podem receber energia de seu entorno (VON BERTALANFFY, 1977).

De acordo com Gregory (1992), a abordagem sistêmica possibilita a utilização de uma metodologia que abarca cronologia, métodos quantitativos, e atividades humanas. Destacando as relações entre as características dos elementos e das relações entre o meio ambientes e os atributos desses mesmos elementos. O sistema aplicado à perspectiva da análise geográfica e ambiental englobam estudos considerando a complexidade do sistema e o estudo de suas partes. A abordagem holística sistêmica compreende em como as entidades ambientais físicas se expressam em organizações espaciais, como se estruturam e funcionam em diferentes unidades complexas e na hierarquia de alinhamento. A abordagem reducionista também se enquadra como básica na pesquisa dos sistemas ambientais sem contrapor a holista (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Conforme Christofolletti (1999), a abordagem holística procura compreender o conjunto mais do que suas partes e sugere que o todo é maior que o somatório das

propriedades e relações de suas partes. Sendo assim, o todo tem propriedades que não podem ser explicados como constituintes individuais. O holismo também leva a formulação que as Ciências são um sistema integrado e não uma coleção de disciplinas isoladas e disparadas.

Na Teoria Geral dos Sistemas, as ações internas e externas dos diferentes elementos constituem a totalidade e levam ao espaço a se encontrar em permanente evolução. A organização do espaço é o resultado do equilíbrio entre os fatores de dispersão e de concentração em um dado momento. A organização espacial é o conjunto de objetos criados pelo homem e dispostos sobre a superfície terrestre e a paisagem geográfica é o resultado acumulativo desses tempos. O espaço geográfico seria o espaço acessível para o homem, pois a ação humana transformou o meio natural em meio geográfico (CAMARGO, 2012).

A partir da visão sistêmica, concebe-se a paisagem como um sistema integrado, no qual cada componente isolado não possui propriedades integradoras. Estas propriedades integradoras somente desenvolvem-se quando se estuda a paisagem como um sistema total. Os enfoques e métodos de análise da paisagem podem ser concebidos através dos princípios: estruturais, funcionais, dinâmico-evolutivos e histórico-transformativos (RODRIGUES et al., 2017). De acordo com Antrop (2000), a paisagem no contexto holístico, atua como uma totalidade que vai além do que a soma de suas partes. Isso indica que todos os elementos da estrutura espacial estão relacionados entre si e formam um sistema complexo.

A geografia alemã introduziu o conceito de paisagem como categoria científica, entendendo-a como um conjunto de fatores naturais e humanos até por volta da metade do século XX. Humboldt abordou na visão holística da paisagem, onde ela era dada pelo resultado das múltiplas alterações presentes na natureza e a harmonia que delas resultas (CRAVAL, 2014). A escola francesa caracterizou a *paysage* (paisagem) a partir do relacionamento do homem com o espaço físico. Vidal de La Blache definiu a relação homem e natureza como objeto de estudo das ciências geográficas, ou seja, que o meio é condicionado a ação antrópica que também o influencia (MORAES, 2005).

Sauer (1998) define paisagem como sendo uma área composta por associação distinta de formas físicas e culturais, onde sua estrutura e função são definidas pelos elementos integrantes e dependentes. Bertrand (1971) e Tricart (1976, 1977) destacam que o estudo do sistema ambiental apresentando uma abordagem

integradora entre os elementos que o compõe (GUERRA; MARÇAL, 2012). A definição de paisagem por Bertrand (2004) se dá por:

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. A dialética tipo-indivíduo é próprio fundamento do método de pesquisa.

A abordagem paisagística pelo ponto de vista de pesquisadores soviéticos e americanos, onde o estudo da paisagem tem um caráter quantitativo, considerando como um sistema energético bioquímico. Nessa temática tem-se o conceito de “*geochemical landscape*” baseado na dinâmica das paisagens em função da migração das substâncias geoquímicas. Nesse contexto existem três categorias de paisagens: “residual” (estável), “trânsito” (perda de substância) e “acumulação” (BERTRAND, 2004).

Esse ponto de vista está em conformidade com a estrutura funcional da paisagem. Formada pela conjugação e conexão de seus níveis hierárquicos diferentes, que se unem mediante a ação dos fluxos laterais que lhe conferem uma integridade funcional e uma contrastividade horizontal dos campos geofísico e geoquímico (ZVONKOVA, 1995 apud RODRIGUES et al., 2017). Sendo assim, a paisagem consiste no intercâmbio de energia e de substâncias que se produzem entre as diversas unidades, o qual acompanha-se da transformação de energia, substâncias e dos elementos.

Bólos (1981) afirma que a paisagem em sua abordagem sistêmicas e complexa sempre será compreendida como somatório das interrelações entre os elementos físicos, biológicos que forma a natureza e as intervenções antrópicas no tempo e no espaço. A paisagem corresponde ao todo ambiental e sua abordagem no conceito teórico–metodológico leva a compreensão dos estudos ambientais de forma integrada (GUERRA; MARÇAL, 2012).

3.2 ESTUDO DA PAISAGEM NO ÂMBITO DO ANTROPOCENO

Tendo a paisagem como o reflexo da interação do homem com o meio, o caráter dinâmico é presente devido ao processo histórico de ocupação e suas transformações em uma determinada época e sociedade. O grau de alteração de um

espaço em relação ao outro se dá através dos diferentes modos de produção e estágios do desenvolvimento das tecnologias (GUERRA; CUNHA, 2006). Tricart (1977) fala que o ecossistema reage consoante as adaptações do Homem, essas interações são permanentes e intensas independentemente do nível de desenvolvimento da sociedade.

A importância do estudo da história antropogênica da formação das paisagens atuais concorre a análise dos resultados da utilização econômica que se sobrepõem e inserem-se na memória dos geossistemas. O enfoque antropogênico no estudo das paisagens dedica-se basicamente a estudar os problemas de modificação e transformação das paisagens, sua classificação e características, os impactos geocológicos e a dinâmica antrópica das paisagens. (PREOBRAZHENSKII; ALEKSANDROVA, 1988 apud CAVALCANTE, 2017).

Para Pellogia (1998), o homem pode ser considerado como agente geológico. Pois ele consegue fazer as propriedades e o modo de ser da natureza combinarem-se de maneira original, em novos modos de funcionamento e subordinadamente às suas intenções. Nesse processo são introduzidos elementos novos, que podem ser lesivos ao meio, visto que se subordinam à ação dos processos naturais como intemperismo e erosão, por exemplo. Neste fundo natural, não são por completo estáveis e não conseguem existir independentemente sem um apoio e ratificação constante por parte do homem. Nessa temática, conceitos como tecnógenos e período quinário surgem para melhor compreensão desses processos e sua reflexão na paisagem.

Crutzen e Stoermer (2000) sugerem que a ação antrópica tem uma poderosa força geológica, necessário designar uma nova era geológica, de modo a descrever com precisão o desenvolvimento dessa que se iniciou na revolução industrial do século XVIII. Ter-Sterpanian (1988) fala que o Holoceno marca o início do Tecnógeno devido as grandes mudanças advindas. Desta forma, o Holoceno deve ser considerado como a época de transição entre o Quaternário ou Pleistoceno ao Quinário, ou Tecnógeno.

O período atual denota grandes mudanças globais através das ações humanas, existem estudos que atribuem essas transformações da paisagem por ações antrópicas a uma nova era geológica, o Antropoceno. Conforme Goudie e Viles (2016), o Antropoceno é um conceito contestável no quesito da existência e quando surgiu, há aqueles que atribuem como parte da escala geológica onde as atividades

humanas dominam o sistema terrestre. O termo “*Antropogene*” foi muito utilizado na escola russa e entre outros estudiosos europeus no século XX como sinônimo de Quaternário, mas sua utilização é mais vigente no século XXI (GOUDIE; VILES, 2016).

De acordo com Luz e Marçal (2016), a modificação antrópica da paisagem não é um fenômeno novo, mas vem se tornando diferenciada pela mudança que provoca na natureza. Os processos e originalidade do Antropoceno é marcada pelo trabalho geológico diferenciado do homem, dado que as novas coberturas pedológicas e as novas formações geológicas estão fortemente influenciadas pela atividade humana. Szabó (2010) afirma que o homem age como agente geológico da mesma forma que outros agentes geológicos modificam as formas de relevo, embora a intensidade de sua influência depende da energia liberada pela sociedade humana que é bem inferior à energia liberada pelos agentes endógenos exógenos, sua eficácia supera.

Dessa forma, Goudie (1990) explana que mesmo com a interferência humana nos processos da natureza, continua como parte da Natureza, subordinando-se às leis naturais. O homem somente utiliza as leis naturais para alcançar seus propósitos, modificando, espontânea ou conscientemente, a direção e a velocidade da evolução paisagística.

3.3 MANTO DE ALTERAÇÃO E AS COBERTURAS SUPERFICIAIS

Predominantemente a superfície terrestre encontra-se coberta pelo designado manto de alteração ou manto de intemperismo, composto por material inconsolidado e decomposto (HYPÓLITO et al., 2011). Também conhecido como regolito, a massa alterada posicionada entre a superfície e o substrato rochoso onde se encontram materiais amorfos, partículas de minerais primários, argilominerais, óxidos, hidróxidos, carbonatos entre outras.

Pomerol et al., (2013) fala que as rochas não afloram diretamente, mas estão cobertas por um solo em que desenvolve a vegetação, o solo é resultado da degradação do subsolo. Os processos de alteração, sobre a superfície terrestre, são em decorrência do desequilíbrio entre os materiais geológicos expostos e os agentes exógenos. Ballesteros (1991) expõe que cada manto de alteração pode ser caracterizado pela categoria da alteração que o originou, da natureza dos produtos alterados, pelo ordenamento e estrutura interna do manto e interiormente pode apresentar textura, estrutura e composição química diferente da rocha matriz.

As decorrências morfológicas das dinâmicas dos mantos de alteração contribuem para os estudos da evolução do relevo. Explorando as teorias de W. M. Davis e W. Penck, constata-se que o processo fundamental modelado do relevo é o encaixe das redes de drenagens e a origem desses encaixes tem base na teoria dos ciclos de erosão de Davis (BALLESTEROS, 1991). Na teoria de Davis, o relevo surgia em incumbência da estrutura geológica, dos processos operantes e do tempo, conferindo a este último tópico um modelo que valorizava particularmente o aspecto histórico (ABREU, 1983).

Durante a formação de um solo, a partir de um material de origem, o regolito passa por muitas modificações profundas causadas por quatro grandes processos de formação do solo. As modificações acontecem quando os constituintes do solo são modificados quimicamente ou fisicamente. As translocações aludem no movimento de materiais orgânicos e inorgânicos de um horizonte superior para um inferior. A água é o agente translocante mais frequente, tanto descendo devido à força da gravidade, como subindo por ação capilar. As entradas de materiais de fontes externas para os perfis de solos já desenvolvidos são chamados de adições. As remoções ocorrem por lixiviação (para as águas subterrâneas), por erosão de materiais superficiais ou outras formas de remoção (BRADY; WEIL, 2013).

Os principais grupos minerais encontrados no solo são matéria inorgânica (composto principalmente por oxigênio, silício e alumínio), matéria orgânica (derivado principalmente de resíduos de plantas), solutos (parte do solo composto por água e dissolvidos em sais) e ar (porção gasosa encontrada em diferentes proporções). Através das propriedades eletroquímicas de superfície, estes minerais do solo podem controlar a adsorção, transformação e liberação de elementos químicos constituintes a água ou a solução do solo. As propriedades eletroquímicas das superfícies do solo dependem de fatores como o material da rocha-mãe, clima e vegetação (EVANGELOU, 1998).

A cobertura pedológica, segundo Vitte (2001), através da ação do intemperismo o solo se torna mais espesso e novas condições físico-químicas são impostas ao perfil. A pedogênese acontece em meio aos processos de dissolução, hidrólise e lixiviação que são muito intensos próximos à superfície e promovem a transformação dos produtos do intemperismo. A pedogênese é o motor dos fenômenos de aplainamento por meio da separação entre o plasma e o esqueleto no interior da cobertura pedológica, preparando os horizontes superficiais para a ação da erosão

superficial e o conseqüente aplainamento do relevo (MILLOT, 1983, apud VITTE, 2001).

As dimensões das partículas do solo podem variar de frações finas (argila, silte, areia) e grosseiras com diâmetros maiores que 2 mm (cascalho, calhau e matacão). Para caracterização textural do solo, utiliza-se uma porção representativa que corresponde a fração passada por uma peneira de 2 mm. As argilas são partículas com diâmetros inferiores a 0,002 mm, possuindo características de coloide, são estruturas cristalinas quimicamente classificadas com argilas silicáticas e argila oxihidróxidas. Já as argilos minerais são silicatos hidratados formados por camadas de tetraédricos e octaédricos (HYPOLITO et al. 2011).

3.4 INTEMPERISMO QUÍMICO E AS RELAÇÕES COM AS MIGRAÇÕES QUÍMICAS

O intemperismo tem uma grande importância para a morfogênese nas regiões tropicais quentes e úmidas. Tendo um papel funcional do manto e do front de intemperismo nos processos de aplainamento e formação das paisagens (VITTE, 2001). O processo de etchplanação, conceito proposto por Wayland (1933), seria marcado por uma paisagem profundamente alterada, que posteriormente sofreria a ação de um ciclo erosivo com o saprólito sendo exposto, formando uma planície rochosa (VITTE, 2001). O saprólito apresentaria topografia irregular, estando sujeito a novo ciclo de alteração e de erosão, de maneira que as suas irregularidades seriam paulatinamente expostas à superfície, criando inselbergs na paisagem (OLLIER, 1975, apud VITTE, 2001)

Para Büdel (1957) é exequível distinguir os níveis de atuação morfológica dentro da mesma paisagem, sendo que a parte superior da superfície topográfica é afetada diretamente por agentes exógenos e a parte inferior a essa superfície sofre intemperismo (THOMAS, 1989). Assim, a interação dos processos de degradação e/ou decomposição das rochas na superfície é o início de uma cadeia de eventos que resultam na modificação das características da paisagem. Para Faniran e Jeje (1983), ambos os processos são regidos pelos mesmos princípios e atuam juntos, o processo de fratura mecânica das rochas em grande escala auxilia na penetração de agentes químicos do intemperismo químico.

Em qualquer parte da cobertura superficial os minerais são herdados da rocha — mãe sendo transportados por vento ou água e depositados em algum lugar. De acordo com Essington (2004), o intemperismo não se limita aos elementos originais do solo, qualquer material proveniente de outro ambiente que se agregou a cobertura superficial sofrera também as transformações provenientes do intemperismo químico. Essas transformações ocorrem devido a diversos minerais serem instáveis e como resultado ocorrerá a precipitação de substâncias mais estáveis.

Büdel (1957) consolidou o papel do intemperismo na análise geomorfológica com a importância do intemperismo químico e da remoção superficial dos seus produtos, introduzindo assim o termo “superfície de duplo aplainamento” (THOMAS,1989). Esta superfície seria desenvolvida nas frentes de intemperismo descendente no acamamento rochoso, enquanto o fluxo removeria o material superficial. Ainda Büdel (1982) disserta que a formação do relevo se inicia com o abaixamento gradual da superfície, determinado pela velocidade de aprofundamento da alteração e pelas características topográficas do manto de alteração (VITTE, 2001).

Thomas (1994) conceitua intemperismo químico como o processo em que os agentes atmosféricos, hidrosféricos e biosféricos, reagem com os minerais constituintes das rochas, produzem novas fases mineralógicas, relativamente mais estáveis. São os fatores físico-químicos que determinam as transformações tais quais minerais primários tendem a meteorizar e quais minerais secundários tendem a se formar. Os produtos minerais secundários formados são determinados pelas taxas relativas das reações de intemperismo na superfície do material primário, pelas taxas relativas de cristalização de possíveis minerais secundários estáveis e metaestáveis, até o ponto do que o ambiente do solo seja favorável a mobilidade química por lixiviação (MCBRIDE, 1994). A erosão age principalmente na superfície, nivelando o relevo continental e transportando a matéria em suspensão através dos rios para os oceanos.

A mobilidade da água no solo descreve a transferência de água em dois pontos quaisquer. Essa transferência envolve fluxo horizontal e vertical e ambos conferem a transferência química, o fluxo horizontal a água e seus constituintes dissolvidos pode mover horizontalmente no solo e chegar a um rio ou córrego. No movimento vertical podem mover para baixo do perfil do solo e atingir os lençóis freáticos. (EVANGELOU, 1998). Conforme Brady (1984) a água com seus sais e ácidos dissolvidos são os

fatores mais difundidos, pois por meio processos químicos, a água pode aumentar a degradação, alteração e ressíntese de minerais.

O processo se realiza por trocas químicas, com a remoção dos componentes mais solúveis dos minerais e adição de hidroxilas, dióxido de carbono e oxigênio (VITTE, 2001). Essa alteração ocorre em função do desequilíbrio termodinâmico entre as características dos minerais primários e as condições ambientais (MELFI e PEDRO, 1977). Respeitando as leis de equilíbrio químico, conhecidas como Lei de Chatelier, isso implica que as reações químicas ou mudanças continuaram até que o equilíbrio seja alcançado (FANIRAN; JEJE, 1983).

Estas reações químicas envolvem um número grande de processos tais como dissolução, hidratação, hidrólise, carbonatação, oxidação, redução e quelatação. Alterando o arranjo cristalino mineralógico e buscando um equilíbrio com o ambiente (THOMAS, 1994). A dissolução é o primeiro estágio do processo de intemperismo químico, pois a água, além de um meio de transporte, reage também com os minerais (ESSINGTON, 2004). Diversos minerais e rochas são dissolvidos em água, como, por exemplo, a halita, a calcita, a dolomita, a gipsita, o calcário e a dolomita, geralmente os sais são mais suscetíveis a dissolução. A dissolução no âmbito geológico é mais aplicada a sílica e aos carbonatos de cálcio (POMEROL et al., 2013).

A hidrólise é a quebra de silicatos por íons de hidrogênio, que se dissocia dos ácidos orgânicos e inorgânicos na solução do solo (BUOL et al., 2011). A hidratação refere-se à associação de moléculas de água ou hidroxila com minerais ocasionando a modificação, ou a decomposição do mineral. Ela provoca um aumento no volume e uma diminuição na densidade das rochas, sendo que a água que circunda no interior de uma rocha, é o principal responsável pela decomposição química (GUERRA; GUERRA, 2009). A reação mais conhecida nesse caso é a transformação da anidrita em gipsita.

As reações de oxidação e redução são as principais que ocorrem no intemperismo químico, pois assim que o oxigênio dissolvido penetra no subsolo, a reação se processa nos primeiros metros superficiais. O oxigênio reage com os minerais, principalmente os que contêm Fe, Mn, S e favorecida pela presença de umidade. Um exemplo são materiais com ferro em sua estrutura cristalina, a oxidação de ferro com caráter desintegrativo, dessa forma perturba o equilíbrio das cargas positiva e negativa ocasionando que os outros cátions deixam a estrutura cristalina

procurando estabilidade, favorecendo assim a decomposição desse mineral (BUOL et al., 2011).

Os produtos do intemperismo químico das rochas são os saprólitos, regolito e manto intemperizado, que consistem na mistura de fragmentos de rocha e mineral, em qualquer estágio de decomposição, substâncias orgânicas, solução e suspensão coloidal. Estes últimos podem ser diferenciados por um perfil, distinguidos pela profundidade e/ou pelos aspectos de estratificação, ou pelas características físicas e mineralógicas. Tudo em função da posição no perfil, tipo de rocha do local, processo de formação e grau de exposição do material na superfície do terreno (FANIRAN; JEJE, 1983).

No perfil do manto de intemperismo é que ocorre a movimentação dos materiais alterados e parte deles, como o elúvio, sofre alteração, mas permanece in situ sem sofrer deslocamento pelas vertentes. O material coluvial sofre deslocamento por movimento individual de partículas ou movimentos de massas, induzidos pela gravidade ou pelas águas superficiais. A velocidade de movimentação varia segundo a ação dos agentes envolvidos influenciados pelas mudanças climáticas e modificações no revestimento florestal. Os materiais transportados se depositam nas vertentes recobrando a área superficial do terreno (BIGARELLA et al., 1994).

Seguindo a classificação de Bigarella et al. (1994), existe um zoneamento para o regolito que não necessariamente são os horizontes pedológicos, e nem sempre, é claro. Apresenta a seguinte sequência: solos (horizontes recobrando as zonas inferiores), regolito sem estrutura (colúvio), saprólito (elúvio) retendo a estrutura da rocha, regolito estruturado com núcleos arredondados da rocha, regolito estruturado com núcleos rochosos angulares apertados e rocha matriz. O manto de alteração pode ser dividido em zona inferior, onde o regolito foi preservado sem alteração e uma superior em que houve alteração, subdividido em três setores de intemperização:

- a. No primeiro setor, a rocha mantém maciça em sua aparência e é iniciada uma evolução mineralógica com a hidrólise de feldspato, sericitação do feldspato e alteração da biotita. A percolação das soluções é lenta, ocasionando poucas mudanças no ambiente alcalino.
- b. Na segunda é onde ocorre a arenização da rocha, a hidrólise intensifica a desagregação dos cristais, facilitando a percolação das soluções.

c. Na terceira, próximo a superfície, ocorrem os processos de intemperismo tais como carbonatação dos solos, reação com ácidos orgânicos e as reações de oxidação.

Em áreas tropicais, o processo de intemperismo é mais expressivo, contribuindo assim para a formação de um manto de alteração mais espesso. Bigarella et al. (1994), afirma que isso atribui no desenvolvimento de partes das formas de relevo. Diversos autores denotam que o intemperismo químico é mais atenuante em períodos estáveis (períodos úmidos), apresentando um desenvolvimento dos perfis do solo. Diferentemente, os períodos secos são caracterizados por retração das formações vegetais, erosão e acumulação de sedimentos nas vertentes. Tal qual Pomerol et al. (2013), a passagem de um estágio para outro depende das condições de temperatura e drenagem, a circulação de água permite a manutenção de um ambiente subsaturado e uma lixiviação contínua e a velocidade de reação duplica a cada aumento de temperatura de cerca de 10 °C favorecendo assim a decomposição química.

3.5 ASPECTOS TEÓRICOS DA GEOQUÍMICA DA PAISAGEM

A geoquímica é a ciência que trata da química da terra como um todo e de suas partes e versa da distribuição e da migração dos elementos químicos na Terra, no espaço e no tempo. Clarke (apud MASON, 1971) associa a geoquímica nos estudos das modificações oriundas das reações químicas provenientes das interações das rochas com as ações da atmosfera e do envoltório aquoso. V. M. GoldSchmidt (1954 apud MASON, 1971) descreve que as tarefas principais das geoquímicas são concentradas em determinação da abundância absoluta e relativa dos elementos químicos e o estudo da distribuição e a migração, e os princípios que o residem.

A ciência da geoquímica se entrelaça com a história da química e da geologia. No século XIX, os dados geoquímicos foram os principais subprodutos das investigações geológicas e mineralógica. Em 1884 F.W. Clarke fundou em continente americano um centro dedicado a pesquisa química da Terra. No local foram desenvolvidas diversas pesquisas sobre análise de minerais, rochas e minérios. Avançou também através do *Geophysical Laboratory* pela *Carnegie Institution of*

Washington em 1904, onde houve estudos sobre a aplicação dos princípios físico-químicos aos processos geológicos. Na Noruega, também, os trabalhos de V.M. Goldschmidt introduziram os estudos das mudanças mineralógicas através do equilíbrio químico. Em 1917, a escola da geoquímica se desenvolve na Rússia orientada para a exploração de matérias-primas minerais (MASON, 1971).

Entre os anos de 1920 e 1950 B.B Polynov, um cientista russo, descreveu vários conceitos que ligavam os estudos da paisagem com a geoquímica. Ele tentou descobrir os relacionamentos entre vegetação, solos, rochas subjacentes, água, geologia e geomorfologia usando os métodos de Dokuchaev (FORTESCUE, 1992). Dokuchaev introduziu uma abordagem sistemática a partir da noção de complexo natural territorial, ou seja, os pressupostos da pedologia científica (MIRLEAN et al., 2006). Para Ostaszewska (2010), a escola de pesquisa geoquímica introduziu vários aprimoramentos para a metodologia da geografia física e a geografia da paisagem, aprimoramentos tanto no âmbito teórico quanto operacionais do método científico. Ela inclui duas áreas principais da pesquisa da geografia da paisagem: a delimitação e sistematização de unidades de paisagem e exame de conexão entre os componentes paisagem.

Os estudos de B.B Polynov para o estudo da interação entre os componentes da paisagem, detalham que as características do solo são a evidência material específica para o funcionamento de todos os componentes da paisagem. O conhecimento do solo permite tirar conclusões indutivas sobre todo o sistema de paisagem. O seu método é baseado na identificação elementar dos componentes da paisagem, bem como a quantidade e qualidade dos fluxos de matéria entre as fases horizontais e verticais, dessa consolidando o método de geoquímica da paisagem (OSTASZEWSKA, 2010).

Polynov foi o primeiro a definir o conceito de paisagem geoquímica, inicialmente ele definiu o conceito de paisagem elementar, o conceito chave para entender as interações na paisagem geoquímica (MIRLEAN et al., 2006). O modelo desenvolvido por Polynov reflete bem as características reais de paisagens desenvolvidas sobre rochas permeáveis em clima úmido. Esse modelo foi aprimorado por, entre outros, Glazovska, 1964; Perelman, 1971; Perelman, Kasimov (OSTASZEWSKA, 2010).

O conceito de paisagem elementar, proposto por Polynov, é uma área da superfície da Terra representada por determinado tipo de relevo, composto por um tipo de rocha ou sedimento, coberto por uma comunidade vegetal. O perfil vertical de uma paisagem elementar, apresenta diferenciação ao longo de sua extensão, devido à migração de elementos químicos ao longo dele. Para compreender melhor como se dá essa redistribuição da matéria, as paisagens elementares podem ser divididas em autônomas e subordinadas. Também conhecida por alguns autores pelo termo “fáceis”, N. A. Solntsev, conceitua “fáceis” como todo espaço com a mesma litologia e mesmas condições climáticas (GLAZOVSKAYA, 2002).

Alexander Llynch Perelman e M. A. Glazovskii, a partir dos estudos de Polynov, perceberam que o sistema paisagem geoquímica se dá na migração da geoquímica através da sequência de solos e paisagens que contribui na formação do relevo. Polynov desenvolveu a classificação das paisagens elementares geoquímicas através dos tipos de migração de substâncias químicas que pode haver, onde o circuito biológico tem um grande papel nessa migração, tendo a água um papel importante (PERELMAN, 2016).

A paisagem elementar está dividida em níveis (ou patamares), representados por “corpos naturais”: a parte superior da superfície da terra (atmosfera e organismos vivos), os solos, a crosta intemperizada e o lençol freático. A fronteira superior da paisagem elementar fica na troposfera (até o nível de distribuição da poeira de origem terrestre) e a fronteira inferior corresponde ao nível do lençol freático (incluso). O perfil vertical de uma paisagem elementar, limitado por suas fronteiras, apresenta diferenciações ao longo de sua extensão, pois os elementos químicos migram ao longo do mesmo (MIRLEAN et al., 2006).

Por sua posição no relevo e por seu papel específico na redistribuição de matéria, as paisagens elementares dividem-se em dois grupos principais: autônomas e subordinadas. Paisagens eluviais ocupam os lugares mais altos (autônomo), enquanto paisagens super e subaquáticas são subordinadas. A conexão entre as unidades particulares foi chamada feedback da paisagem (OSTASZEWSKA, 2010). O modo de migração geoquímica é dependente da posição de relevo, das características litológicas de cada paisagem elementar e do regime pluviométrico (CAVALCANTI, 2014)

As paisagens autônomas podem também ser chamadas de eluviais, elas recebem e armazenam matérias provenientes das precipitações atmosféricas. O processo da paisagem eluvial ocorre em elementos de relevo elevado. A entrega da matéria da paisagem é lenta e principalmente de origem atmosférica. A infiltração de água da chuva esgota gradualmente o solo e o manto, elementos facilmente solúveis. Ao longo da evolução da paisagem menos solúvel predominam produtos de intemperismo. As subordinadas foram divididas em transeluvial, transaluvial acumulativa e acumulativa. As paisagens subordinadas formam em áreas onde a superfície do terreno é no alcance dos efeitos do lençol freático e está estritamente ligada ao fluxo lateral de matéria e às qualidades de água da revolta capilar. Essa paisagem acumula uma variedade de elementos lavado longe de terrenos eluviais. (OSTASZEWSKA, 2010).

Terrenos subaquáticos, formados como resultado de fluxo lateral de matéria, os destinatários finais da matéria apresentam vários elementos da paisagem. Apresentam elementos geneticamente ligados aos elementos presentes no eluvial, mas ao contrário que ocorre na paisagem autônoma, recebem diretamente efluentes sólidos e líquidos (GLAZOVSKAYA, 2002). Na figura 8 apresenta o esquema das paisagens elementares proposta por Polynov.

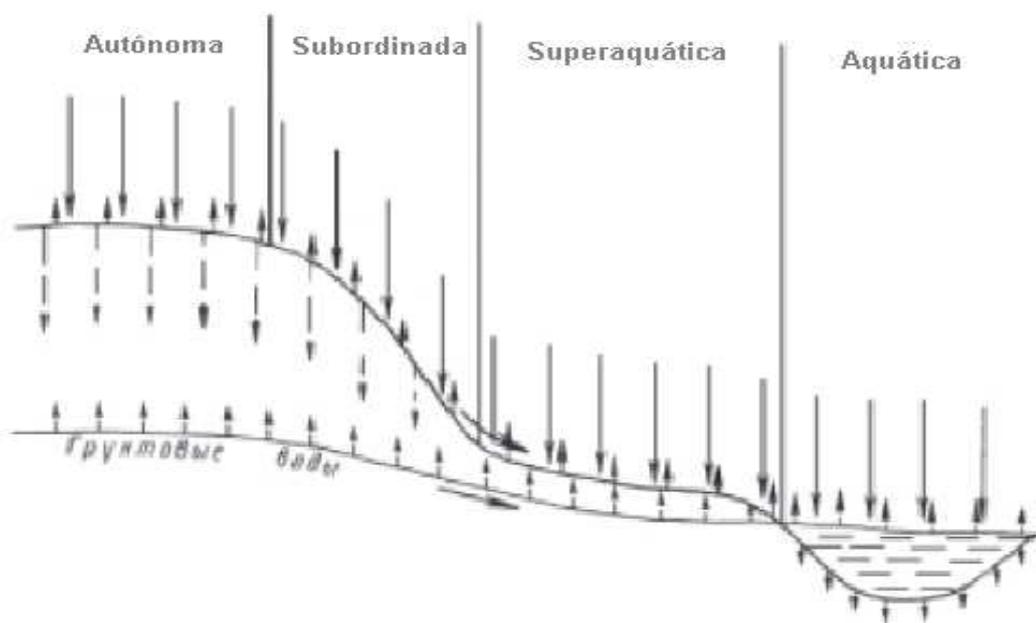


Figura 8: Esquema de paisagens elementares de acordo com B.B Polynov (adaptado).
Fonte: GLAZOVSKAYA, 2002.

As formas de migração, segundo Perelman, podem ser categorizadas em três formas: abiogênicas, biogênicas e antropogênicas. As biogênicas são processos de síntese e de destruição da matéria, sendo que a biomassa e a produção biológica são alguns dos principais parâmetros geoquímicos da paisagem. As paisagens antropogênicas reúnem os índices classificatórios da geoquímica das paisagens e os índices, que são utilizados em ciência de paisagens antropogênicas (SAOUCHKINE, 1946; ISSATCHENKO, 1976). Além disso, os índices que caracterizam a antropogênese ocupam nesta classificação a posição superior. Na mais alta unidade do táxon destacam-se sete principais ordens de paisagens: urbanos industriais, agrícolas, pastoris, explorações florestais, mineração, de tráfego e de recreação. (MIRLEAN et al., 2006).

De acordo com Perelman e Kasimov (1999), as paisagens geoquímicas são classificadas de acordo com seu agente transformador, sendo que as paisagens geoquímicas antropogênicas são as regiões onde as atividades humanas são o principal agente transformador. Atividades tais como indústria, expansão urbana, mineração, existirá fluxo de matéria onde alterarão as dinâmicas dos processos ocorridos no solo, na água, na vegetação e no relevo (SZUCS, 2006), bem como alterar as barreiras geoquímicas. Para Perelman (2016), barreiras geoquímicas são seções da crosta terrestre, onde há uma curta distância, há uma diminuição acentuada nas taxas de migração dos elementos químicos e sua concentração.

A metodologia da geoquímica da paisagem apresenta as diversas ferramentas para o entendimento da dinâmica da paisagem, sendo uma ferramenta tanto para análise de prospecção mineral como na análise da evolução de paisagens alteradas. Em países como a Rússia, essa metodologia é utilizada em áreas de mineração e nos Estados Unidos é mais utilizada para prospecção de elementos químicos (PÄRN; MANDER, 2010). Com o advento das questões ambientais os objetivos voltaram para a compreensão das degradações causadas sobre a natureza, além da mineração, cada atividade altera geoquimicamente a paisagem tal como agricultura de subsistência e criação de gado, cada um no seu nível. Dessa forma essa metodologia pode ser aplicada para medir o grau de alteração do ambiente consoante o uso e ocupação da terra (BRUCH, 2014).

Um exemplo de aplicação dessa metodologia é a tese de doutorado de Bruch (2014), onde são mapeadas, quantificadas e analisadas as paisagens geoquímicas

resultantes dos processos de mineração de minerais metálicos na Subacia Hidrográfica do Arroio João Dias, em Minas do Camaquã em Caçapava do Sul/RS. Bruch (2014) conseguiu individualizar as paisagens geoquímicas, biogênicas, abiogênicas e antropogênicas, bem como a identificação dos depósitos tecnogênicos urbanos e depósitos tecnogênicos de rejeitos e seus impactos na dinâmica da paisagem. O autor ainda ressalta a importância da identificação dessas unidades para gestão de análise ambiental com maximização do uso da terra com práticas conservacionistas e recuperação de áreas degradadas.

Outro exemplo seria o trabalho Paisagens Geoquímicas — Naturais e Antrópicas — no Estado Do Paraná de autoria de Licht e Bittencourt (2013). No trabalho é utilizado o tratamento dos dados geoquímicos com o auxílio e suporte em informações multi-temáticas que descrevam o ambiente natural e o antropizado, permite a decomposição do sinal geoquímico possibilitando equacionar a origem das alterações da paisagem geoquímica. Os dados geoquímicos disponíveis para o território paranaense descritos na distribuição geográfica dos elementos foram usados para suporte para o Projeto Geomedicina que investiga os vínculos e as relações de causa-efeito entre fatores ambientais e moléstias que afetam crianças e adolescentes (LICHT; BITTENCOURT, 2013).

Outra aplicação é o trabalho de Sowiński et al. (2016), que trata do estudo da distribuição de metais pesados em solos de um vale do rio pós-glacial através da abordagem geoquímica da paisagem na Polônia. Foram analisados os teores de metal pesado de acordo com as quatro paisagens geoquímicas, eluvial, transeluvial, transesuperaquática e superaqual. Foi concluído que a disposição das paisagens elementares reflete na retenção de metal pesado no solo, onde o maior teor foi encontrado na zona superaquática, região que de acordo com abordagem da geoquímica da paisagem é propensa a receber matéria das outras paisagens elementares.

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA

A metodologia a ser utilizada nesse trabalho será norteada pelo método de investigação da abordagem sistêmica. Será estudada a funcionalidade, a organização interna e a interação do comportamento geoquímico na paisagem dentro dos enfoques dinâmico-funcionais e antropogênicos, associados à geoquímica da paisagem. O método será realizado por técnicas de caracterização e monitoramento dos elementos químicos nas paisagens elementares, analisando a influência das barreiras geoquímicas e das paisagens tecnogênicas na migração dos elementos químicos e sua influência nas coberturas de alterações superficiais. Serão adotados os planos de investigação abaixo:

a) Elaboração do banco de dados (levantamento de diagnósticos com elaboração dos mapas base de geologia, geomorfologia, relevo, solos, uso e cobertura e posterior mapeamento das unidades de paisagem). Os mapas elaborados estarão sob a base cartográfica de escala 1:50.000 com referencial geodésico SIRGAS 2000.

b) Enfoque estrutural no estudo da paisagem. Levantamento da estrutura da paisagem para posterior compartimentação dinâmico–funcional da bacia inseridos na metodologia da geoquímica da paisagem.

c) Ensaios Laboratoriais: Entender o comportamento geoquímico na paisagem através de ensaios laboratoriais, caracterizando os elementos químicos e associando com a migração química nos fluxos hídricos e de sedimentos.

4.1 ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS

O banco de dados para a pesquisa se deu através do uso de geotecnologia por meio do software ArcGIS 10.3 (ERSI/2010). Dentro dos softwares de geomática, esse foi escolhido adequado as potencialidades de aplicação do Sistema de Informações Cartográficas (SIG) através das suas subdivisões como o *Arc Map*, *Catálogo* e *Arc Tool Box*, que possibilita a criação de banco de dados e mapeamento que atendam ao objetivo da pesquisa, além de comportar diversas estruturas vetoriais e matriciais, elementos essenciais para construção de mapas temáticos. O Sistema de Referência Geocêntrico adotado foi o SIRGAS 2000 e foi utilizado o sistema de coordenadas

planas Universal Transversa de Mercator (UTM), alocado no fuso 23 Sul do globo terrestre.

Em prelúdio à construção do banco de dados, foram adquiridas Cartas Topográficas de escala 1:50.000 dos municípios de Juiz de Fora (SF-23-X-D-IV-1), Ewbanck da Câmara (SF-23-X-C-VI-2) e Matias Barbosa (SF-23-X-D-IV-3), produzidos pela Diretoria de Serviços Geográficos (DSG/IBGE, 1977) já georreferenciadas. Posteriormente as cartas se apresentam no formato *tif*, foram agrupadas e tratadas pelo software *Arcgis* (Figura 9).

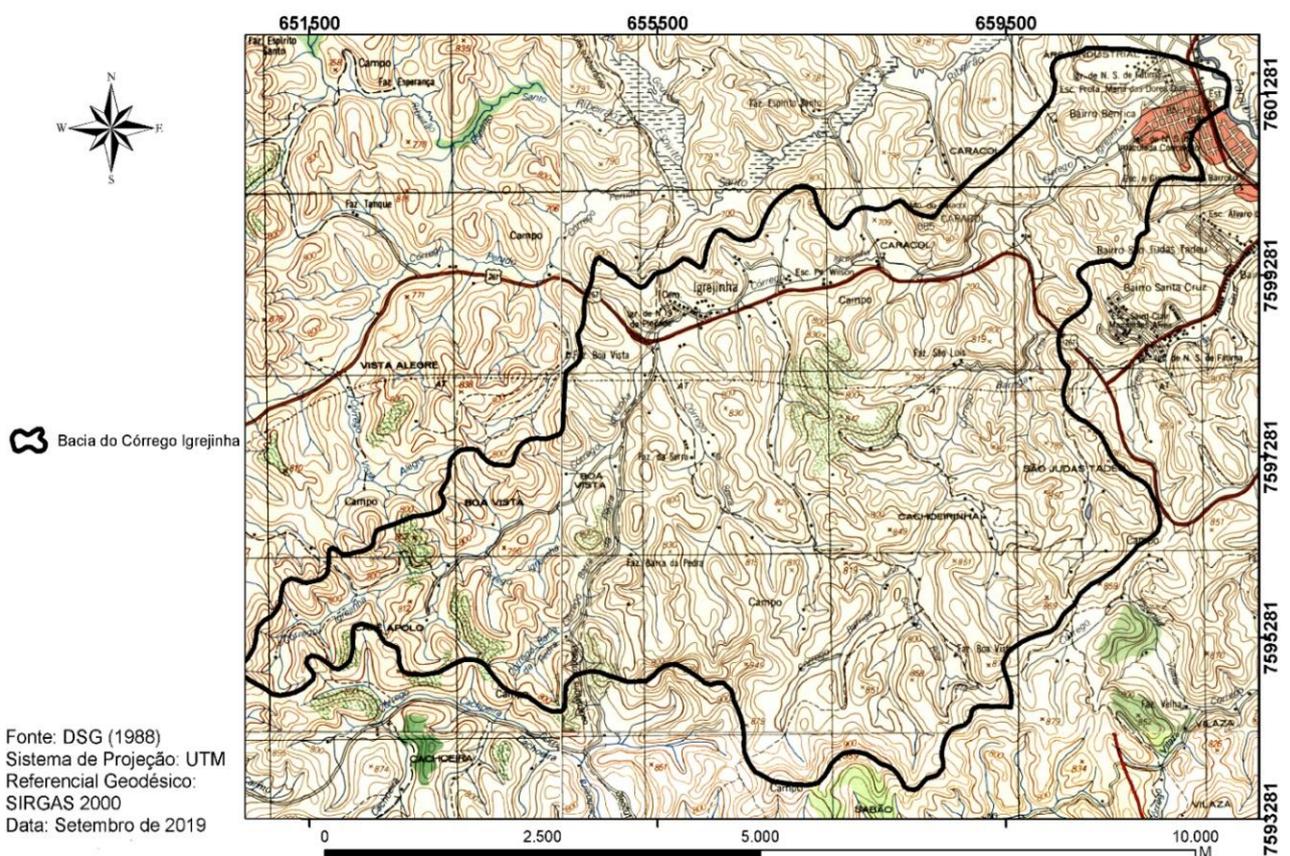


Figura 9: Mosaico das Cartas Topográficas da Bacia do Córrego Igrejinha – MG.

Os modelos digitais de terrenos utilizados foram *ALOS PALSAR (AP_26956_FBS_F6740_RT1)* da *Japan Aerospace Exploration Agency – JAXA*, com resolução 12,5m, obtidos através do site <https://search.asf.alaska.edu>. Para obter esse modelo foi necessário fazer o cadastro no geportal *Alaska Satellite Facility*. Essas imagens são disponibilizadas em formato *rasters*, com Datum *D_WGS 1984*, sendo também necessária a conversão para *SIRGAS 2000*, seguindo o mesmo procedimento das cartas topográficas supramencionadas.

O mapa de Declividade foi executado pelo *software Arcgis 10.3*, tendo como fonte a imagem de radar *ALOS PALSAR (AP_26956_FBS_F6740_RT1)* da *Japan Aerospace Exploration Agency – JAXA*, com resolução 12,5m. A declividade foi definida em 5 classes (Menor que 6%, 6% a 12%, 12% a 30%, 30% a 47% e maior que 47%), valores adequados às legislações brasileiras vigentes.

Para gerar o mapa de curva de nível, foi definido o intervalo de 20 metros e foi utilizado da imagem de radar *ALOS PALSAR (AP_26956_FBS_F6740_RT1)* como base. O mapa de hipsometria foi extraído da imagem de radar *ALOS PALSAR (AP_26956_FBS_F6740_RT1)*, foi definido em cinco classes com valores em metros (Menor que 700, 700 a 750, 750 a 800, 800 a 850 e maior que 850), também tratados pelo *software Arcgis 10.3*.

O mapa de uso e cobertura da terra foi extraído das imagens de satélite Sentinel – 2, com resolução espacial de 10 m. O download foi realizado no site <https://apps.sentinelhub.com/eobrowser/?zoom=10&lat=41.9&lng=12.5&themeld=D_EFAULT-THEME>, foram feitas as identificações das classes de uso com ajuda Bing Maps na função Satélites no ArcGis e do Google Earth Pro que, em conjunto, auxiliaram sobremaneira na definição dos limiares que configuram cada domínio.

A compartimentação do relevo foi realizada através da interpretação conjunta dos dados de radar ALOS e das folhas topográficas correspondentes na escala de 1/50.000. Sobre as imagens radar foram delimitados diferentes sistemas de relevo e as bases planialtimétricas serviram para análise da amplitude altimétrica (em metros) para identificação dos topos e o fundo de vale. Em seguida, foi realizada a inserção dos símbolos pontuais mapeados, correspondentes a padrões de formas identificadas através do reconhecimento destes sistemas de relevo transformados mediante ao uso do dispositivo *Bing Maps* e *Google Earth*.

A carta litológica e pedológica se deu a partir da projeção dos arquivos *shapefile* em consonância com o projeto (SIRGAS 2000). Iniciou-se o procedimento de recorte tendo como finalidade extrair apenas as informações contidas na bacia do Córrego Igrejinha. As informações da litologia foram extraídas Serviço Geológico do Brasil (CPRM) da folha da SF-23 e carta de solos foi realizada com base no Mapa de Solo do Estado de Minas Gerais de escala de 1: 650.000 , elaborado em conjunto pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), o Departamento de Solos da UFV, a Universidade Federa de Lavras (UFLA). A escala das cartas foi adaptada para

1:50.000, mas manteve o detalhamento do Mapa de Solo do Estado de Minas Gerais da escala de 1:650.000.

4.2 COMPARTIMENTAÇÃO DINÂMICO-FUNCIONAL DA PAISAGEM NA BACIA DO CÓRREGO IGREJINHA.

Para entender como se dá a migração dos elementos químicos na paisagem, faz-se necessária a análise morfológica do sistema e definir a delimitação estabelecendo seus limites. Christofolletti (1999) expõe que a identificação e qualificação de um sistema precede a quantificação, que as mensurações só podem ser aplicadas depois que os elementos e as relações já foram definidos. Com base nessa afirmação, a delimitação do sistema terá a bacia hidrográfica do Córrego Igrejinha como área de pesquisa.

Nessa etapa de investigação será proposta uma compartimentação dinâmico-funcional da paisagem na bacia do córrego Igrejinha (Juiz de Fora, MG) e discutir suas relações com a organização geomorfológica local. Essas ações se inscrevem como etapa preliminar para o estudo da geoquímica da paisagem na referida bacia, já visando a interpretação dos padrões de migração das substâncias organo-minerais.

Na Geoquímica de Paisagem, a metodologia proposta por M.A. Glazovskaia, se fundamenta na importância das paisagens elementares pelas peculiaridades da migração e dos níveis de concentração dos elementos químicos nas mesmas (MIRLEAN et al., 2006). Essa metodologia é acompanhada de métodos analíticos e análise cartográfica, em que se faz necessária a identificação dos locais potencialmente emissores de materiais que podem alterar as coberturas superficiais e identificação dos possíveis fluxos de matéria.

O intuito da pesquisa é analisar a dinâmica da mobilidade dos elementos químicos nas coberturas superficiais. Dessa forma, a criação de modelos conceituais descrevendo os fluxos hídricos e de sedimentos será uma ferramenta de suma importância para a análise da mobilidade dos elementos químicos. Os modelos hídricos podem ser usados para descrever em escala global até fluxos nas vertentes e o modelo de fluxo de sedimentos favorece a visualização dos mecanismos de transporte e sedimentação (CHRISTOFOLETTI, 1999).

O modelo de Horton (1945, apud CHRISTOFOLETTI, 1999) sobre o escoamento superficial na escala das vertentes (Figura 10) vem sendo melhorado e incorporado a diversos fluxos na superfície e no regolito. Esse modelo descreve o fluxo superficial e do material em suspensão, relacionando com os setores não erosivos, de erosão ativa e de deposição de sedimentos. Atkinson (1978) aperfeiçoou esse modelo salientando as características dos fluxos no perfil do solo, na zona de percolação e no setor da água subterrânea.

O modelo inicial de fluxo proposto por Horton (Figura 10) descreve a dinâmica do material em suspensão através do escoamento superficial ocasionado por precipitação. De acordo com esse modelo, o material que se encontra em área sem erosão, através da precipitação, sofrera escoamento superficial para as áreas que apresentam erosão ativa e esse material irá depositar na parte inferior da vertente. Esse modelo correlaciona ao modelo das paisagens elementares de Polynov, onde a paisagem autônoma fornece material para as paisagens subordinadas através do escoamento superficial da encosta.

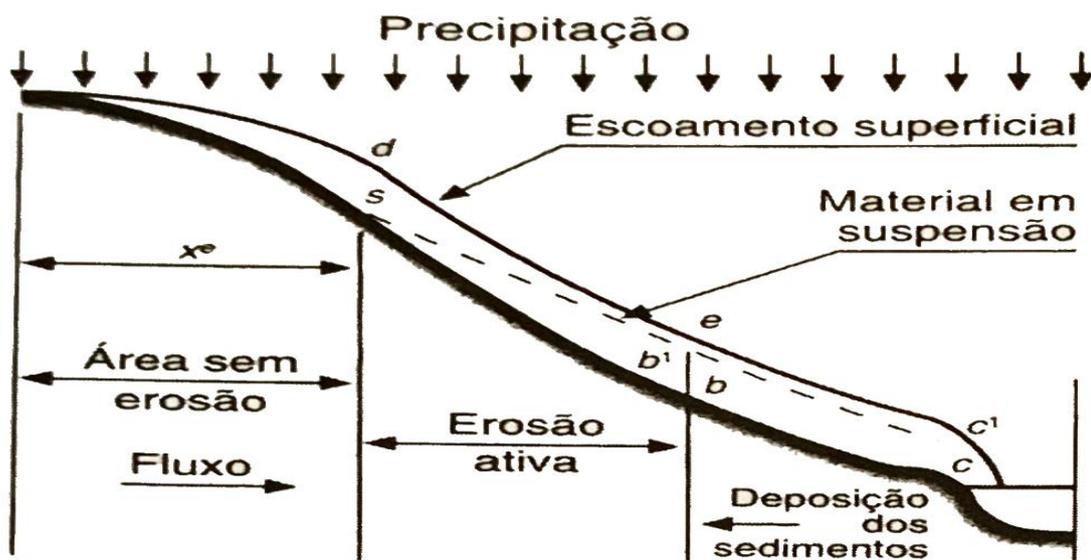


Figura 10: Modelo inicial de fluxo superficial proposto por Horton. Fonte: CHRISTOFOLETTI, Antônio. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Blucher, 1999

Foi elaborada a compartimentação dinâmico-funcional da paisagem da bacia de estudo, esse mapa foi elaborado na escala de 1:50.000, com o referencial geodésico SIRGAS 2000, através do software ArcGIS 10.3 (ERSI/2010). A base

cartográfica utilizada foi o mosaico das cartas topográficas e os modelos digitais de terrenos. Foi proposto um modelo de comportamento geoquímico inseridos nas metodologias de Polynov pautadas no modelo de fluxo de Horton, onde distingue as paisagens autônomas (eluviais), que recebem matéria e energia diretamente da atmosfera e as paisagens subordinadas, transmissoras e receptoras de matéria e energia (transeluviais, transacumulativas e acumulativas).

Primeiramente, foi criado um banco de dados a partir da compilação de arquivos em formato *shapefile*, cartas, arquivos vetoriais e imagens de radar que abrangessem a área de estudo para gerar os mapas base para a compartimentação. Os mapas foram elaborados na escala de 1:50.000, com o referencial geodésico SIRGAS 2000.

Na segunda etapa foram gerados mapas preliminares para a compartimentação dinâmico-funcional. O primeiro mapa gerado foi o de declividade, executado pelo software GIS, através da ferramenta do *Spatial Analyst*, a partir do comando *Slope do Spatial Analysis Tools*, tendo como fonte a imagem de radar ALOS PALSAR (AP_26956_FBS_F6740_RT1) da *Japan Aerospace Exploration Agency* – JAXA, com resolução 12,5 m, disponibilizada pelo site <https://search.asf.alaska.edu>. . A declividade foi definida em 5 classes (< 6%, 6% a 12%, 12% a 30%, 30% a 47% e > 47%), procurando adequar o fatiamento das classes a aspectos inerentes à legislação brasileira que concernem ao uso da terra.

4.3 ENSAIOS LABORATORIAIS

O presente trabalho irá se concentrar na caracterização dos elementos por métodos laboratoriais, onde serão identificados os fenômenos que ocasionaram a migração, bem como a natureza química dos materiais coletadas nas paisagens elementares, comparando se há relação das amostras coletadas nas paisagens transeluviais, acumulativas e os meios de migração existentes nessas paisagens. Para entender os mecanismos de alteração na escala mineral, para identificar os processos de migração e as reações químicas resultantes das coberturas das paisagens elementares foram realizadas as seguintes etapas:

a) Coleta de amostra e tratamento das amostras de solos

As coletas das amostras foram realizadas segundo as metodologias propostas por Hypólito et al. (2011). Foram utilizadas bases cartográficas georreferenciadas e os mapas de planejamento dos pontos para coleta das amostras na escala 1:50.000. Os pontos de cadastramento e coleta de amostra foram planejados após a análise do mapa gerado de compartimentação dinâmico–funcional, coletando amostras nas zonas transeluvial e acumulativa.

O trabalho de coleta de amostras foi realizado no período de junho a setembro de 2021, coletadas no total de 6 amostras de solo. Os locais de coleta das amostras foram georreferenciados com GPS. No quadro 1 estão descritos os locais de coleta, bem com uma descrição sucinta dos arredores da área de coleta. A área de amostragem foi dividida em três áreas: a área 1 é localizada próximo ao alto curso do Córrego Igrejinha, a área 2 localizado no médio curso e área 3 localizado no baixo curso do córrego Igrejinha:

Quadro 1: Descrição dos pontos de coleta das amostras

Área	Descrição do ponto de Coleta	Identificação da amostra	Zona geoquímica	Latitude	Longitude	Altitude
1	Área próximo a nascente. Margem esquerda do córrego. Área rural, sem urbanização próxima.	1T	Transeluvial	7596080	654372	744
	Margem esquerda do córrego, Área com presença de granjas	1A	Acumulativa	7596025	655787	732
2	Margem direita do rio. Dentro do Bairro Igrejinha, área urbanizada próxima a rodovia BR267.	2T	Transeluvial	7598729	656165	763

	Margem direita do rio. Dentro do Bairro Igrejinha, área urbanizada próxima a rodovia BR267.	2A	Acumulativa	7598426	6566186	729
3	Margem esquerda do córrego. Dentro do Bairro Nova Benfica, área urbanizada	3T	Transeluvial	7599929	660869	804
	Foz do córrego. Dentro do Bairro Benfica, área urbanizada, com residência, comércio e indústria	3A	Acumulativa	662259	7601078	783

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As amostras foram coletadas na cobertura superficial numa profundidade de de 20 cm, com auxílio de ferramentas (cavadeira, martelo geológico) . Foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno estéreis no campo para transporte ao laboratório onde foram armazenadas em temperatura ambiente (20 °C — 22 °C). As amostras foram transportadas para o laboratório no mesmo dia da coleta e identificados e devidamente lacrados. Foram coletadas 500 gramas de cada ponto de coleta, visando atender todas as análises laboratoriais.

b) Preparação de amostras no laboratório:

As correções das amostras representativas do solo foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas do Núcleo de Metalurgia do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia do Sudeste de MG. As amostras foram secas em estufa a 100° C durante 24 horas. Após foram maceradas com a utilização de gral e pistilo (Figura 11) com intuito de homogeneizar.

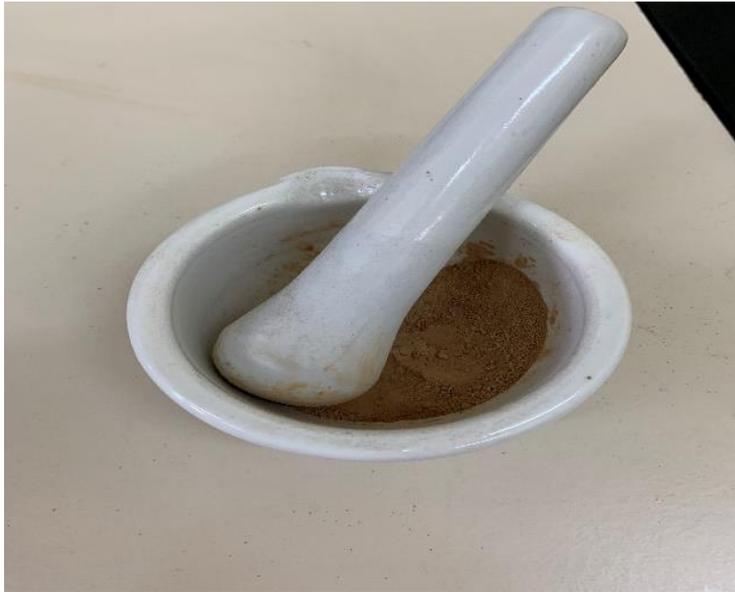


Figura 11: Maceramento das amostras de solo com pistilo e gal.

Como o intuito do trabalho é analisar as coberturas superficiais, foi realizada a separação granulométrica por peneiramento com a fração menor de 2 mm através do agitador de peneiras eletromecânico. As frações menores que 2mm foram divididas e reservadas para os seguintes ensaios:

- I. 20g para pH
- II. 50g para Fluorescência de Raio -X
- III. 50g para Difração de Raio – X

c) Medição de PH

A solubilidade de elementos do solo varia com o pH do meio, portanto, a importância de se obter esses valores. Para isso, a medição do potencial do íon hidrogênio é realizada, através do equipamento chamado pHmetro onde eletrodo combinado é imerso numa suspensão do solo. As suspensões são baseadas na diluição de amostras de solo em água e solução de KCl (cloreto de potássio), após a imersão do eletrodo na suspensão, realiza-se a leitura do pH. O método adotado foi baseado no proposto no Manual de Métodos de Análise do Solo (DONAGEMA et al., 2011). A análise de pH foi realizada no Laboratório de Análises Química do Núcleo de Metalurgia do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais seguido as seguintes etapas:

- Foram pesadas 10 gramas de solo de cada amostra em uma balança analítica de precisão da marca Santorius, modelo ED224S e colocado num béquer de 150 ml.
- Foi feita a solução de KCl 1Mol L⁻¹. Pesou-se 74,5 g de KCl na balança de precisão, acrescentou 25 ml de água destilada e colocou a solução no agitador magnético da marca Solab, modelo FA2104 N até a completa dissolução do KCl.
- Adicionou a solução de KCl no recipiente que contém a amostra de solo, agitou com um bastão de vidro por cerca de 60s e deixou em repouso por 1 hora (Figura 12).
- Após o repouso, foi agitado ligeiramente cada amostra com bastão de vidro, e após mergulhado os eletrodos na suspensão homogeneizada e proceder à leitura do pH, para tal foi utilizado o potenciômetro digital de bancada da marca Methrom.



Figura 12: Suspensão das amostras de solo em solução de KCl.

d) Identificação dos elementos químicos através de técnicas de fluorescência de Raio-X (EDX).

A técnica de fluorescência de Raio-X (EDX) descende de uma técnica analítica empregada para qualificar a composição química dos materiais. Esse método baseia-se na emissão de feixe de raio-x na amostra, onde respeitando a Lei de Beer, uma fração da energia emitida é absorvida na amostra, resultando a geração de um espectro de emissão de raio-x característico para cada elemento químico da amostra (KLEIN; DUTROW, 2012).

O princípio básico é analisar o conteúdo elementar, de uma amostra detectando suas linhas de emissão fluorescentes após a excitação por um feixe primário de raios-X gerado por um tubo que emite elétrons acelerados por descarga de alta tensão entre dois eletrodos ou fios conectados para pólos opostos de uma fonte de alimentação e movendo-se com a velocidade da corrente de descarga, gerando assim um fluxo contínuo de radiação de raios-X direcionado para a amostra em exame e está sendo colocada em uma câmara onde é bombardeada pela radiação proveniente da fonte; a intensidade da radiação primária é modulada segundo a frequência dos pulsos da fonte de alimentação, gerando assim uma série de feixes detectados por detectores, que geram sinais elétricos proporcionais ao nível de energia de cada flash e que podem ser interpretados de modo a identificar os elementos presentes na amostra, sua distribuição e concentração nela.

A análise qualitativa EDX envolve a identificação de todas as linhas espectrais atribuindo aos elementos responsáveis por elas e a análise quantitativa. Os espectros são comparados mediante um padrão de composição conhecida da mesma configuração elementar (KLEIN; DUTROW, 2012). Logo ostentam uma precisão maior nos percentuais do elemento químico. Existe também a análise quali-quantitativa onde a precisão dos teores dos elementos químicos apresenta de forma mediana entre a qualitativa e a quantitativa. O intuito dessa etapa é a identificação dos elementos químicos presentes, a análise quali-quantitativa trará resultados bastante satisfatórios. Através dos resultados será possível identificar as reações químicas que geraram esse elemento e a identificação dos minerais presentes na amostra coletada.

As análises foram realizadas no laboratório de Caracterização de Materiais do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, onde as concentrações dos elementos químicos na forma de metais foram determinadas em espectrômetro de raios-X por

dispersão em energia (Shimadzu EDX-8000), equipado com tubo de ródio (Rh) e detector de Si (Li), e por rotina de análise sem quantitativa (por parâmetros internos fundamentais), implementada por meio do programa EDX-Software. As medidas foram realizadas ao ar, com tempo de aquisição de 100s por canal analítico e feixe de 10 mm de diâmetro.

O preparo da amostra consiste em colocar a amostra em uma porta de amostra específica do dispositivo, colocando um filme de Mylar de 6 μm de espessura (marca Mylar) na parte inferior da porta de amostra, onde a amostra é depositada até que o enchimento seja o mesmo (Figura 13).



Figura 13: Porta – Amostra no espectrômetro de raios-X por dispersão em energia.

e) Análise das feições morfológicas superficiais das amostras

Foram analisadas as características texturais que permitindo a análise das feições e morfologias granulométricas das amostras. Para tal, será utilizada a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Esta técnica consiste em fino feixe focalizado de elétrons que varre uma área específica da amostra, onde são emitidos sinais de radiação que são registrados por detectores acima da amostra (KLEIN; DUTROW, 2012).

O método de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com espectrômetro de dispersão de energia de Raio-X (EDS) tem por finalidade caracterizar a morfologia dos grãos e determinação dos constituintes em caráter pontual qualitativo. O sistema

SEM/EDS consiste em três componentes principais: um microscópio eletrônico de varredura, um analisador EDS e uma estação de trabalho de computador equipada com um pacote de software para processamento de dados e exibição de imagens. Será realizada uma análise química qualitativa de minerais e rochas através da microanálise SEM/EDS.

A primeira etapa corresponde na preparação das amostras de sedimentos incluindo a metalização, processo fundamental para obtenção de imagens digitais da morfologia dos sedimentos com uso da microscopia eletrônica de varredura (MEV). Após a retirada da umidade, as amostras sedimentares na fração total, foram aderidas em fita adesiva de carbono dupla-face sobre suporte de alumínio (stubs).

Por seguinte, foram colocadas dentro de uma câmara realizara a metalização, essa etapa consiste no recobrimento a amostra com uma lâmina de ouro , formando uma fina camada do metal sobre a amostra. Este recobrimento visa tornar as amostras condutoras dos elétrons incidentes emitidos pelo (MEV) , assim sendo possível gerar imagens da morfologia do grão de sedimento com boa resolução, como pode ser observado na figura 14.

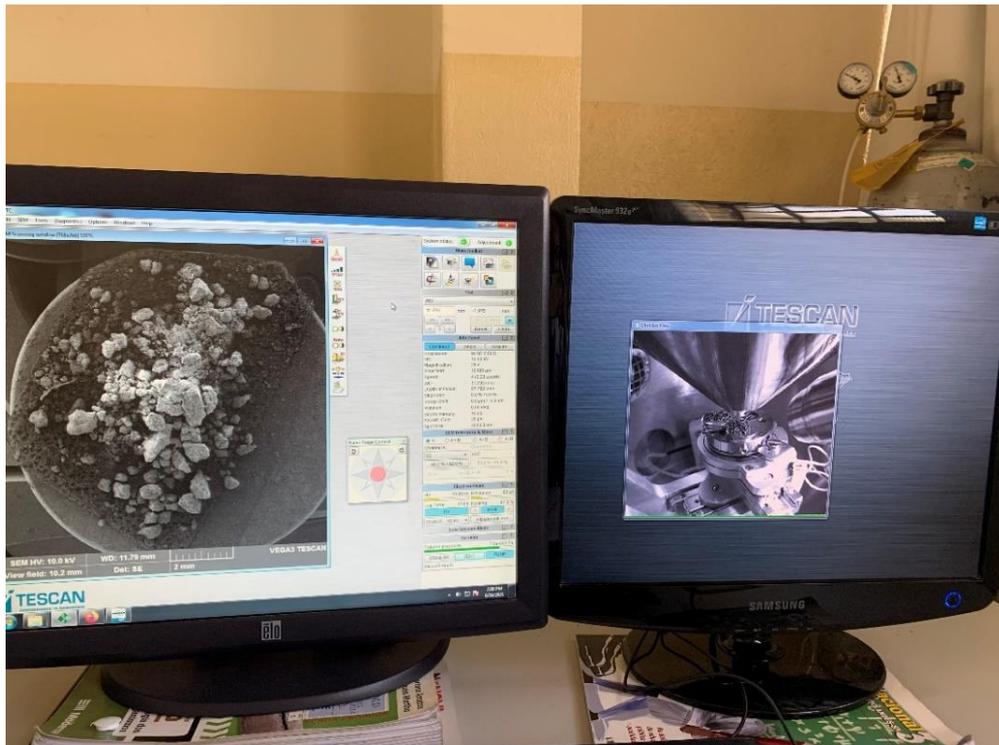


Figura 14: Porta – Análise de microscopia no microscópio eletrônico de varredura.

f) Determinação das estruturas cristalinas através da técnica de difração de raio- x.

A estrutura cristalina fornece informações da localização de todos os átomos, posições, tipos de ligação, composição química e dimensões da cela unitária. Dessa forma, as técnicas de difração de raio-x são geralmente mais utilizadas para a determinação dessas estruturas cristalinas, bem com as dimensões de células unitárias, parâmetros atômicos (KLEIN; DUTROW, 2012) e identificação das fases presentes.

A técnica consiste em emissão de feixe de raio-x a arranjo ordenado tridimensional, fazendo que seus elétrons vibrem na mesma frequência do raio-X incidente (KLEIN; DUTROW, 2012). Esses elétrons vibrantes absorvem parte da energia e se tornam fontes de energia emitindo radiação na mesma frequência e comprimento de onda, produzindo um efeito de dispersão cooperativa chamada de difração (KLEIN; HURLBUT JUNIOR, 1997). O resultado obtido foi através de um difratograma onde a altura dos picos é diretamente proporcional a intensidade dos efeitos de difração, onde identificação das fases presentes são realizadas por meio de técnica de procura em uma base de dados, comparando os picos encontrados com os padrões de difração registrado em um banco de dados.

A preparação da amostra consistiu em depositar amostra no porta-amostra específico do equipamento, após submetida ao ensaio, onde foram obtidas difratogramas específicos, bem como a análise semiquantitativa com a descrição das fases mineralógicas encontradas e seu percentual.

A difratometria de raios-X é a principal técnica utilizada na identificação mineralógica das amostras, o equipamento utilizado foi o da Bruker(Figura 15) através dos parâmetros:

- Radiação Cu-K α ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) ;
- 2θ no intervalo entre 5° a 90° ;
- Taxa de varredura de $2^\circ/\text{min}$;
- Tempo total de exposição de 40 minutos.



Figura 15: Difractometro da marca Bruker , utilizado no ensaio.

Os difratogramas gerados pelo aparelho de raios-x foram tratados no software Difracc.Eva, nele foram realizadas a identificação qualitativa e semiquantitativa. Assim, foram analisadas as informações referentes a identificação dos minerais pertencentes a cada pico, intensidade dos picos background, interferência entre minerais.

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS

5.1 COMPARTIMENTAÇÃO DINÂMICO-FUNCIONAL

A integração das informações estimadas dos mapas gerados com a caracterização da morfologia da bacia subsidiou a compartimentação dinâmico-funcional e possibilitou a espacialização dos modelados de relevo. Através da compartimentação dinâmico-funcional foi possível associar as formas de relevo às paisagens elementares propostas por Polynov e identificar as paisagens elementares descritas na metodologia da geoquímica da paisagem. Foi possível explorar a variabilidade espacial dentro dessas paisagens elementares que permitirá discutir seu papel na dinâmica na mobilidade de fluxos e energia entre suas zonas elementares. Na figura 16 consta a compartimentação dinâmico-funcional da Bacia do Córrego Igreja-MG:

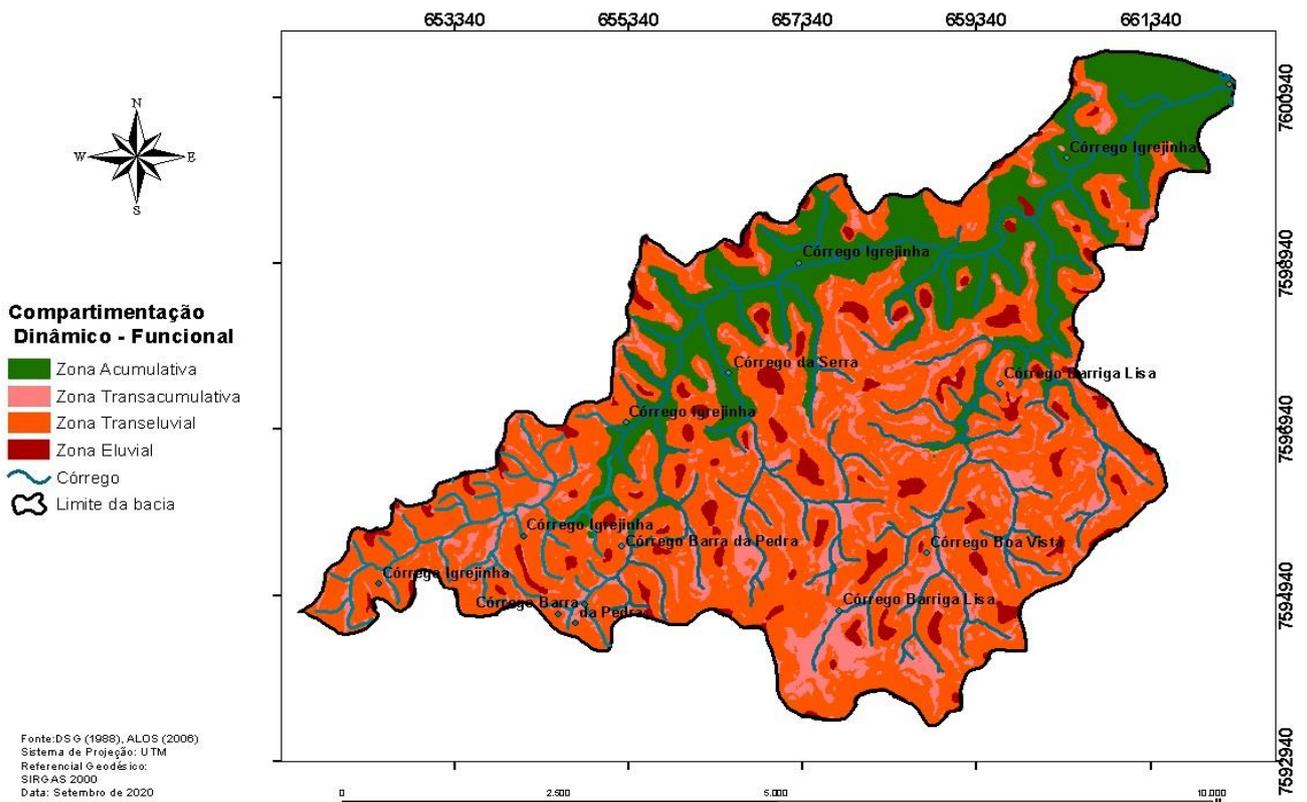


Figura 16: Mapa de Compartimentação Dinâmico-Funcional da Bacia do Córrego Igreja - MG.

O mapa demonstra a conectividade entre as paisagens elementares e subordinadas e a partir delas, a identificação das (quatro) zonas elementares: zona eluvial, zona transeluvial, zona transacumulativa e zona acumulativa. Percebe-se que a zona transeluvial é mais predominante que as demais zonas e as zonas acumulativas equivalem às planícies de inundação do Córrego Igrejinha. Na compartimentação foi possível identificar a zona transacumulativa, áreas com declividades medianas que sua função dinâmico-funcional, tem características tanto das zonas transeluviais e quanto das acumulativas.

Em campo foi possível associar as paisagens elementares as formas de relevo vigentes (Figura 17), o topo pode ser associado a zona eluvial, conforme os aspectos teóricos da geoquímica da paisagem fornece fluxo de matéria e energia para as demais paisagens elementares.

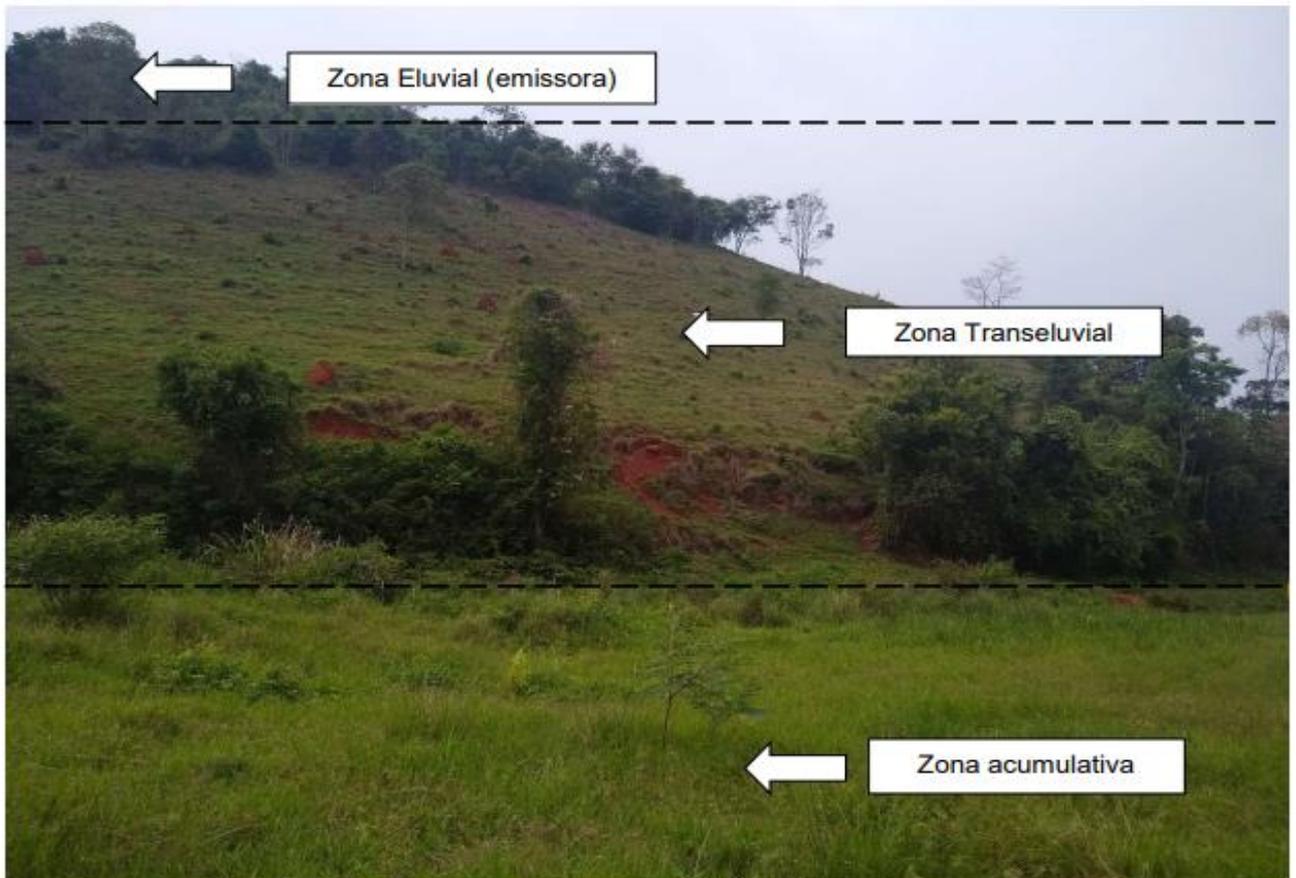


Figura 17: Vertente com a identificação das paisagens elementares – Funcional da Bacia do Córrego Igrejinha - MG. Fonte: A autora, 2020

Nas altas e médias encostas, se consolidam as transeluviais, área com um maior declive, são conhecidas como zonas de alta energia, essas características favorecem transporte transversal de matéria, uma vez que a declividade favorece a mobilidade e direciona o movimento para as áreas de menor potencial gravitacional.

As planícies fluviais do Córrego Igrejinha estão associadas a zonas de acumulação ao longo do leito. Essas áreas apresentam declividade inferior a 6%, definindo um ambiente de baixa energia que retém outros materiais do compartimento.

5.2 RESULTADOS LABORATORIAIS

5.2.1 Medição de pH

De acordo com McBride (1994), o pH é a tem um papel importante em condicionar os parâmetros importantes para ocorrer as principais as reações no solo, tais como troca iônica, dissolução / precipitação, redução / oxidação, adsorção e complexação. Os valores encontrados nas amostras coletadas da área de estudo (Quadro 2) variaram entre 4 e 6.

Quadro 2: Valores de PH encontrados na Bacia do Córrego Igrejinha - MG

Ponto de Coleta	PH
Transeluvial - Área 1	6
Acumulativa - Área 1	5
Transeluvial - Área 2	4
Acumulativa - Área 2	4
Transeluvial-Área 3	4
Acumulativa-Área 3	4

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na área 1, o solo apresentou 6 na zona transeluvial e 5 na zona de acumulativa, enquanto nas áreas 2 e 3 apresentam pH constantes com um caráter extremamente ácido, apresentando valores mais baixos do que na área 1. Solos com pH abaixo de 7 são considerados ácidos.

5.2.2 Identificação dos elementos químicos através de técnicas de fluorescência de Raio-X (EDX)

Na caracterização dos teores de elementos químicos do solo através do EDX, verificou-se a presença de 8 elementos na bacia dentro de sua faixa de detecção .

Sendo este: silício (Si), ferro (Fe), alumínio (Al), titânio (Ti), cálcio (Ca), vanádio (V), e tungstênio (W). No quadro 3 segue o resultado dos percentuais encontrados nas zonas transeluviais (ZT) e zonas acumulativas (ZA) em cada área de estudo.

Quadro 3: Percentuais dos Elementos Químicos encontrados na Bacia do Córrego Igrejinha-MG.

Elemento Químico	Área 1		Área 2		Área 3	
	ZT	ZA	ZT	ZA	ZT	ZA
Al	40.579 %	43.706 %	39.632 %	42.659 %	36.797 %	37.184 %
Si	37.643 %	33.241 %	40.171 %	30.163 %	33.685 %	45.620 %
Ca	0.476 %	0.008 %	0.099 %	0.013 %	0.018 %	0.643 %
Ti	2.286 %	2.155 %	2.253 %	2.506 %	2.022 %	1.798 %
Fe	18.698 %	20.592 %	17.539 %	24.289 %	27.192 %	14.518 %
V	0.302 %	0.283 %	0.293 %	0.349 %	0.279 %	0.225 %
Ni	0.008 %	0.009 %	0.013 %	0.017 %	LD	0.012 %
W	0.009 %	0.006 %	0.000	0.004 %	LD	LD

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A concentração de alumínio encontrada nas áreas 1 e 2 apresentou um aumento de cerca de 3% entre a zona transeluvial e acumulativa, na área 3 aumentou menos de 1%. Inversamente, o teor de silício diminuiu 4,04% na área 1 e 10% na área 2, já na 3 ele apresentou aumento de 11,93%. O ferro teve um aumento no percentual em duas áreas, 1,89% na área 1 e 6,57% na área 3, na área 3 o percentual de ferro diminuiu 12,67%. Os demais elementos apresentaram pouca variação entre as paisagens elementares. Na figura 18, consta o gráfico com a variação das concentrações dos elementos por toda a área de estudo:

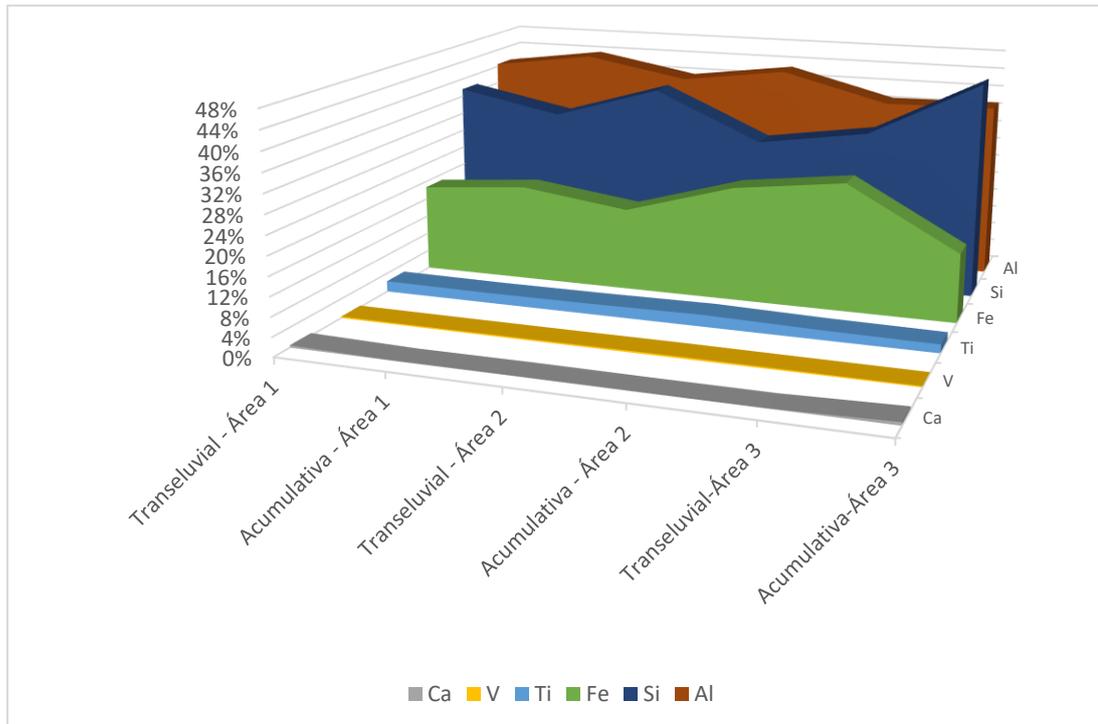


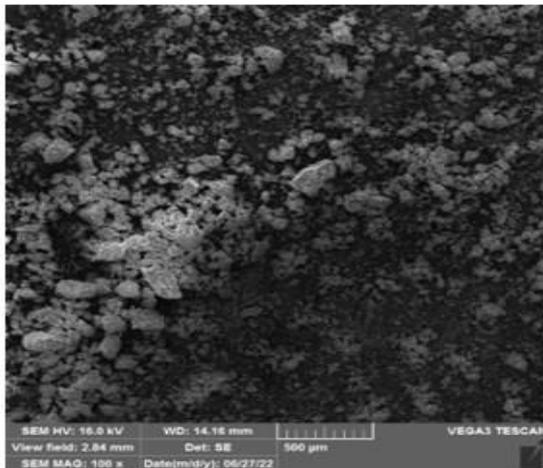
Figura 18: Variação dos elementos químicos na Bacia do Córrego Igrejinha-Juiz de Fora(MG).

Na caracterização da fluorescência de raios-X, analisando a Figura 18, pode-se destacar que o alumínio mantém um teor similar nas três, tendendo a apresentar teores mais elevados na região de acumulação. O silício apresenta comportamento oposto ao alumínio, com seu conteúdo diminuindo na zona de acumulação nas áreas 1 e 2 e aumentando na região 3. A porcentagem de ferro aumenta nas zonas 2 e 3, e na zona 3 diminui sua concentração. O titânio tem um pequeno aumento na zona de acumulação na área 2 e é constante em toda a bacia. A técnica de fluorescência de raio-x demonstrou as variações no ponto de vista elementar conforme a compartimentação dinâmica funcional da Bacia do Córrego Igrejinha.

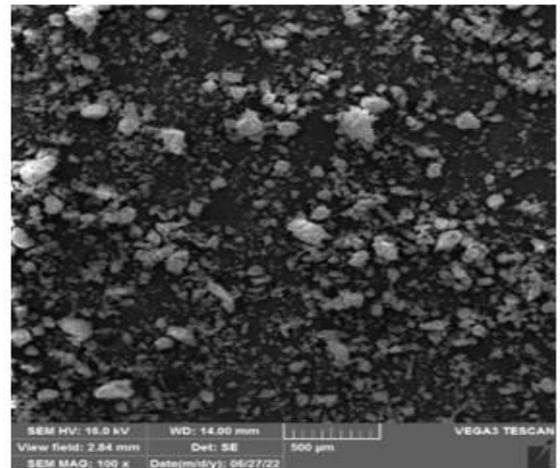
5.2.3 Análise das feições morfológicas superficiais das amostras

A fotomicrografia de Microscopia eletrônica (MEV/EDS), como produto da micromorfologia, demonstrou a análise visual das imagens captadas e explicita a diferença de tamanho de partículas observada em casa área de estudo, bem como suas diferenças em cada zona da paisagem geoquímica .

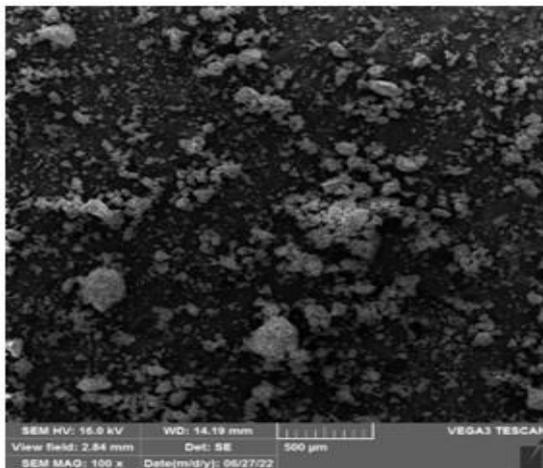
Na figura 19 estão micrografias das amostras coletadas da área de estudo com aumento de 100x, pode se observar que todos as micrografias apresentaram um aglomerado de formas granular e lamelar.



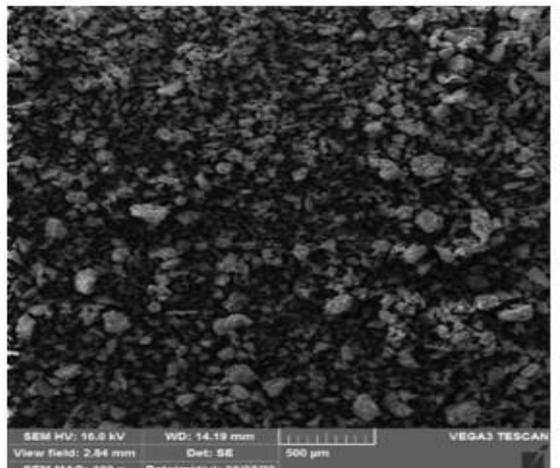
Área 1 – Zona Transeluvial



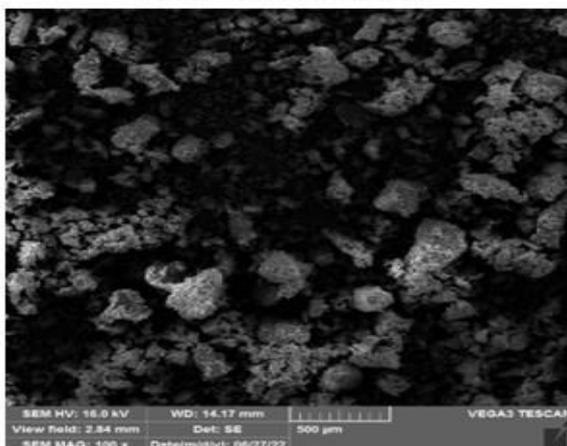
Área 1 – Zona Acumulativa



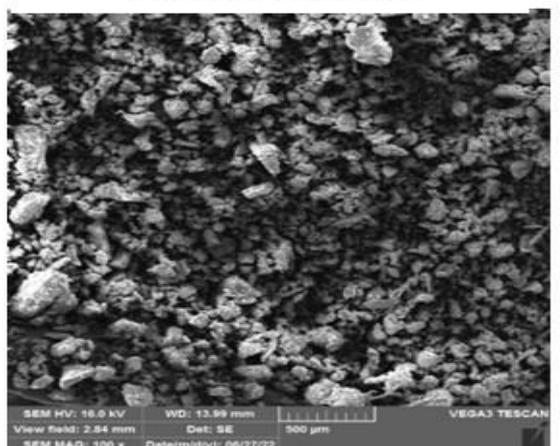
Área 2 – Zona Transeluvial



Área 2 – Zona Acumulativa



Área 3 – Zona Transeluvial



Área 3 – Zona Acumulativa

Figura 19: Micrografia das amostras das três áreas de estudo no aumento de 100x.

A técnica de MEV-EDS, permitiu identificar que a amostras coletadas apresentaram partículas de morfologia distintas, com forma irregular. Em comparação em cada zona transeluvial e acumulativa a morfologia apresentou similaridades, ou seja, em cada área de estudo não apresentou uma diferenciação no formato dos grãos. Em relação ao tamanho do grão, analisando visualmente, na área 1 e área 2 apresentaram tamanhos análogos enquanto na área 3, pode observar que tamanho difere das outras áreas, apresentando grãos mais grosseiros.

Analisando as micrografias com aumento de 500x (Figura 20), confirma a análise visual das micrografias de 100x: as partículas apresentam morfologias distintas e irregular, e o tamanho das partículas, diferem na área 3 em relação às áreas 1 e 2.

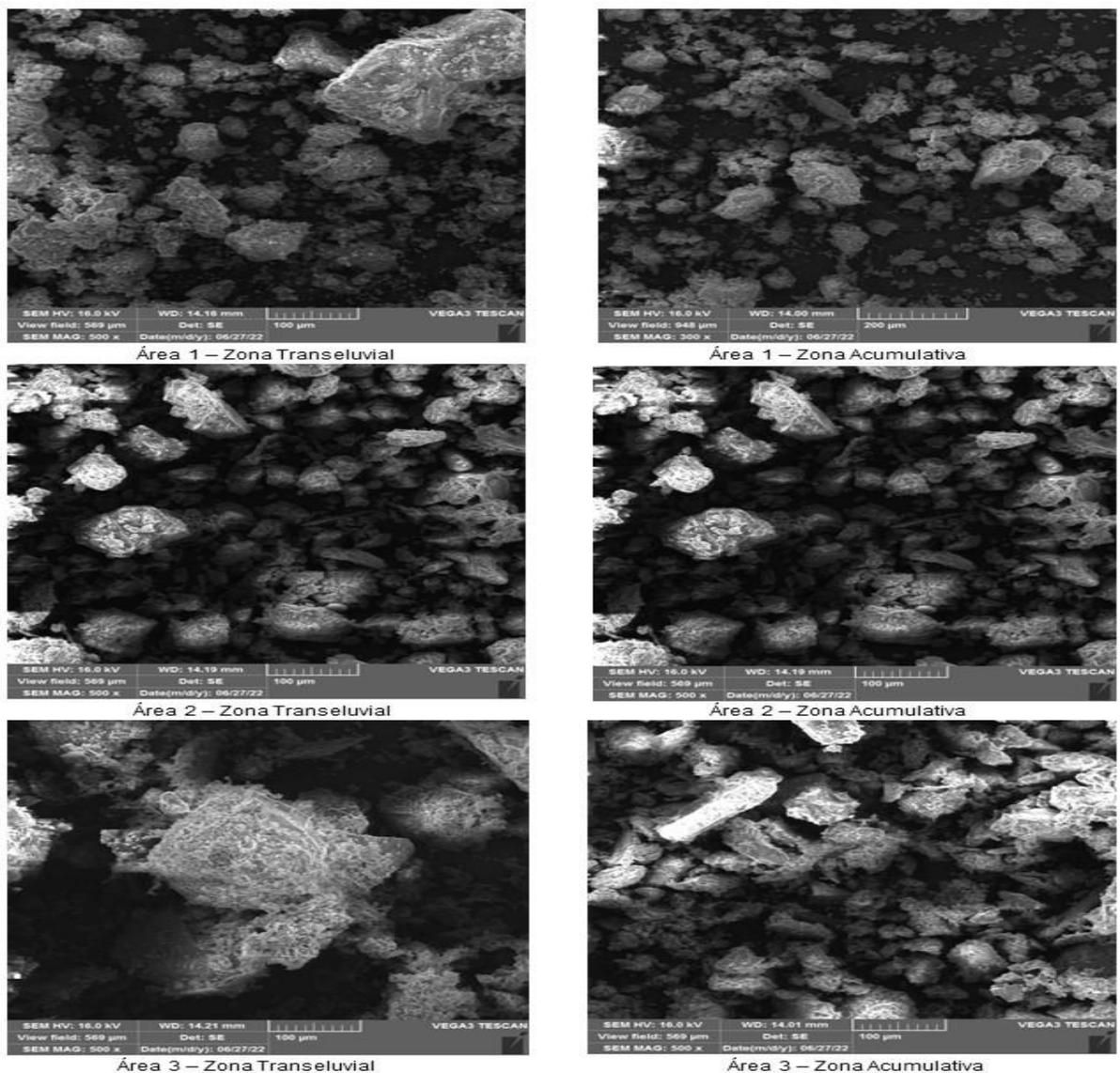


Figura 20: Micrografia das amostras das três áreas de estudo no aumento de 500x.

Nesse aumento é possível notar partículas de tamanhos e formato anguloso, característica da caulinita. Na microanálise obtida com o EDS, foi obtida a composição química pontual. Vale lembrar que essa análise é pontual, num ponto específico das partículas do solo esses elementos foram encontrados, as partículas escolhidas foram de acordo com o tamanho conforme figura 21.

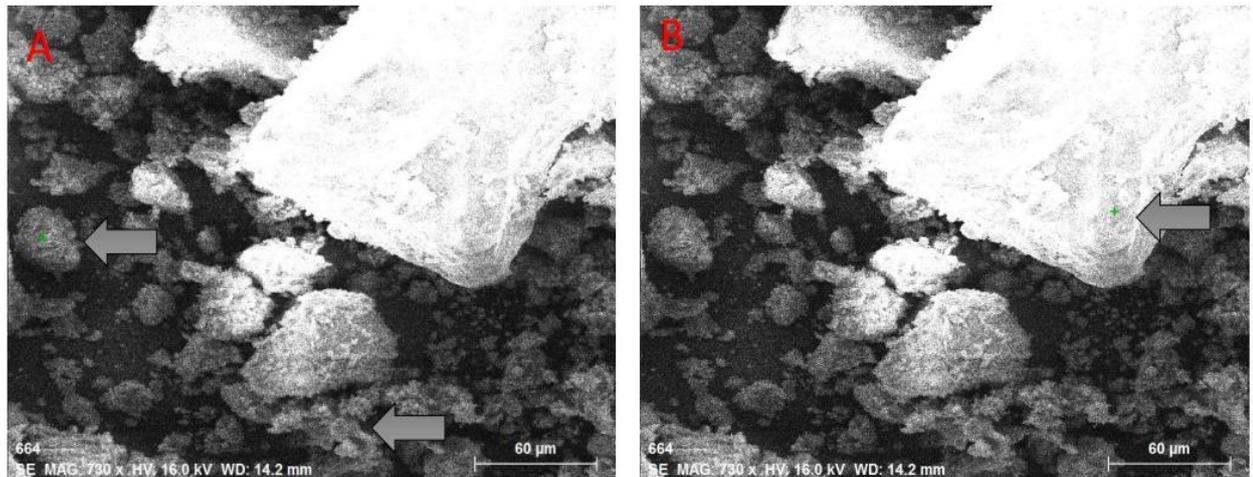


Figura 21: Micrografia das partículas analisadas no EDS.

Nas partículas maiores, de acordo com os espectrogramas, houve a predominância dos elementos ferro, alumínio e silício, mantendo essa constância nas três áreas de estudo. Na figura 22, estão dispostos os espectrogramas de cada área estudada:

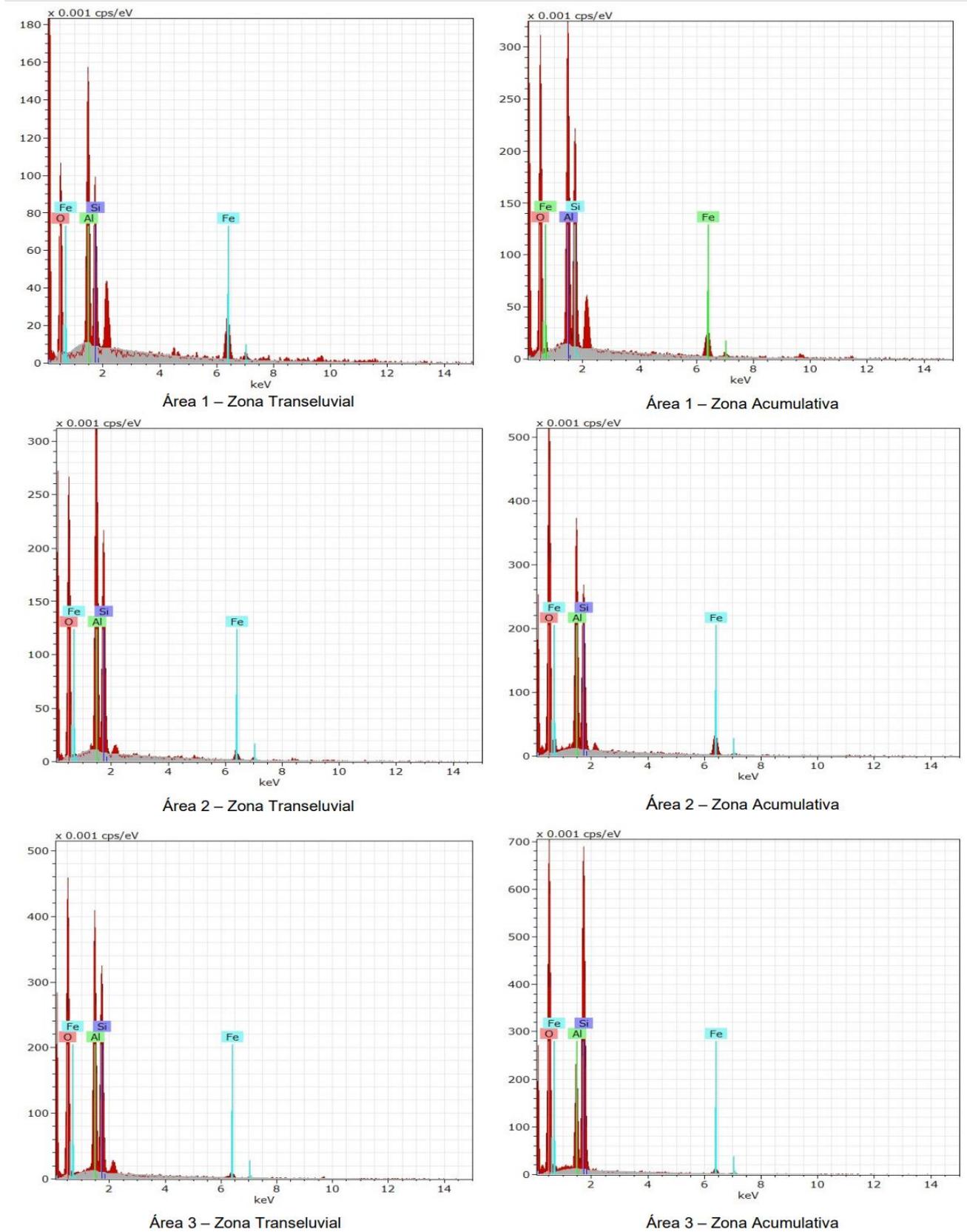


Figura 22: Difractogramas das amostras coletadas analisadas no EDS.

Nas partículas de menores diâmetros, além dos mesmos elementos encontrados nas partículas maiores, foram detectados os elementos de titânio e vanádio. Esse comportamento se estendeu a todas as áreas coletadas.

5.2.4 Determinação das estruturas cristalinas através da técnica de difração de raio x

A interpretação dos difratogramas foi realizada pelo software Difracc-Eva. A identificação das diferentes substâncias cristalinas presentes na amostra é conduzida através da comparação do difratograma obtido com os padrões difratométricos conhecidos de fases individuais (como gabaritos de cada substância cristalina). Existem diversos bancos de dados de padrões difratométricos, e os dois mais conhecidos e utilizados neste trabalho são o do ICDD (*International Center for Diffraction Data*) e o do COD (*Crystallography Open Database*).

Na figura 23, apresentam as análises qualitativas e a identificação das fases mineralógicas pelo DRX da área 1 por meios dos difratogramas gerados no ensaio:

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

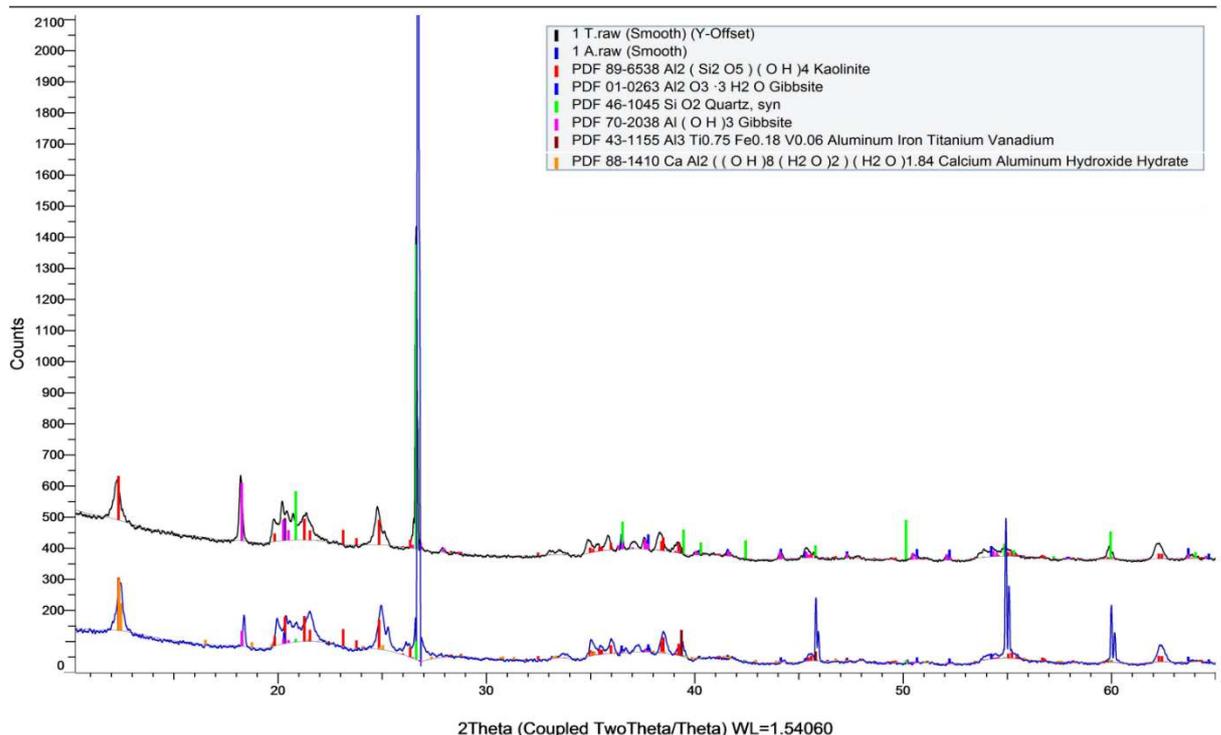


Figura 23: Difratogramas das fases mineralógicas presentes na zona transeluvial e acumulativa da área 1.

Os difratogramas demonstraram picos das fases do quartzo e caulinita em ambas as zonas. Na zona transeluvial a gipsita apresenta em duas formas, uma fase hidratada e a outra não, já na zona acumulativa a gipsita apresenta sem ser na forma hidratada. Nas duas zonas, apresenta a fase de alumínio, ferro, titânio e vanádio. Na zona transeluvial, aparece a fase de hidróxido de alumínio hidratado. O percentual de cada fase encontrada no difratograma, bem como sua fórmula química e o sistema cristalino encontram-se descritos no quadro 4:

Quadro 4: Percentual das fases mineralógicas da área 1.

Fase mineralógica	Fórmula Química	Sistema Cristalino	Zona Transeluvial	Zona Acumulativa
Quartzo	SiO ₂	Hexagonal	42.35%	56.85%
Caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Triclínico	22.25%	11.54%
Alumínio, Ferro, Titânio, Vanádio	Al ₃ Ti _{0,75} Fe _{0.18} V _{0.06}	Cúbico	4.06%	10.05%
Calcio - Alumínio Hidratado	CaAl ₂ ((OH) ₈ (H ₂ O) ₂) (H ₂ O) _{1.84}	Hexagonal	0%	7.76%
Gipsita	Al(OH) ₃	Monoclínico	18.45%	13.81%
Gipsita	Al(OH) ₃ .3(H ₂ O)	Monoclínico	12,89%	-

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Segundo o quadro 6, podemos observar um aumento no teor de quartzo na zona transeluvial para a acumulativa, apresentando um aumento de 14,50%. Já a caulinita teve uma diminuição no teor de 10,71%. A fase de alumínio, ferro, titânio e vanádio apresentou um aumento de cerca de 6%. Já a gipsita hidratada diminuiu 100% da zona transeluvial para acumulativa, a gipsita diminuiu apenas 4,65%. Observando o gráfico da figura 24, podemos observar o comportamento das fases nas duas zonas da área 1 de estudo.

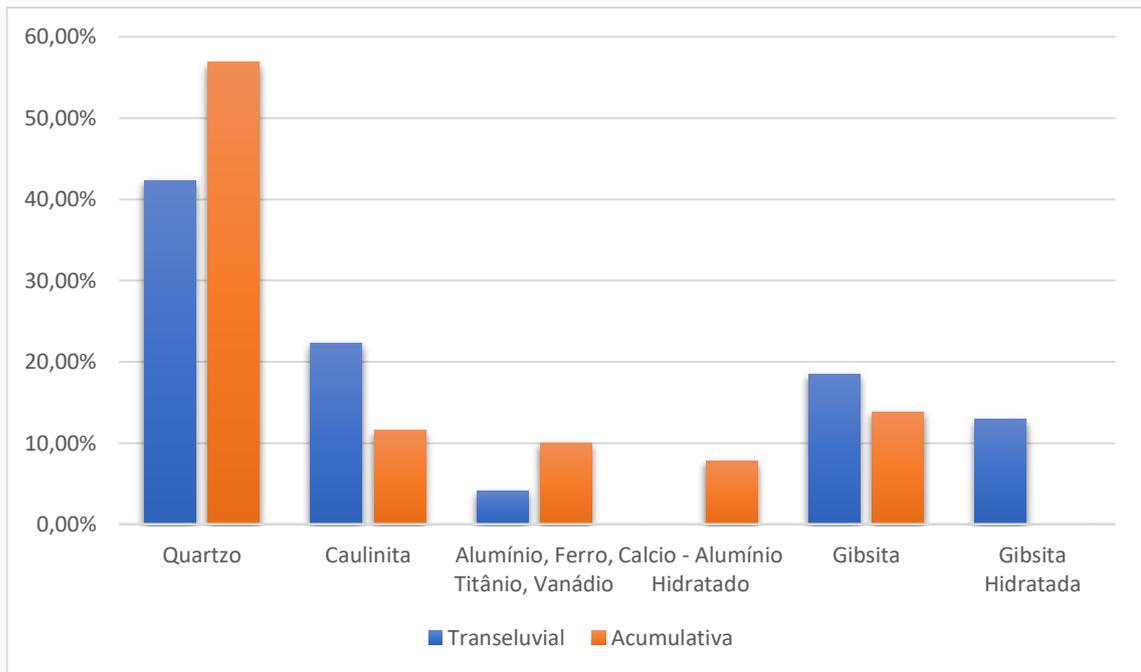


Figura 24: Variação das fases mineralógicas da área 2 na Bacia do Córrego Igrejinha-Juiz de Fora-MG.

O gráfico acima demonstra o comportamento das fases nas zonas transeluvial e acumulativa, o quartzo e fase de alumínio-ferro-titânio-vanádio aumentaram o teor, ou seja, denota-se que houve um acúmulo dessas fases na zona acumulativa enquanto a caulinita, gipsita e gipsita hidratada teve uma diminuição em seus teores, sendo que a hidratada praticamente é inexistente na zona acumulativa. O hidróxido de cálcio alumínio hidratado apresenta apenas na zona acumulativa.

A figura 25 apresentam as análises qualitativas e a identificação dos minerais pelo DRX da área 2, por meio dos difratogramas :

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

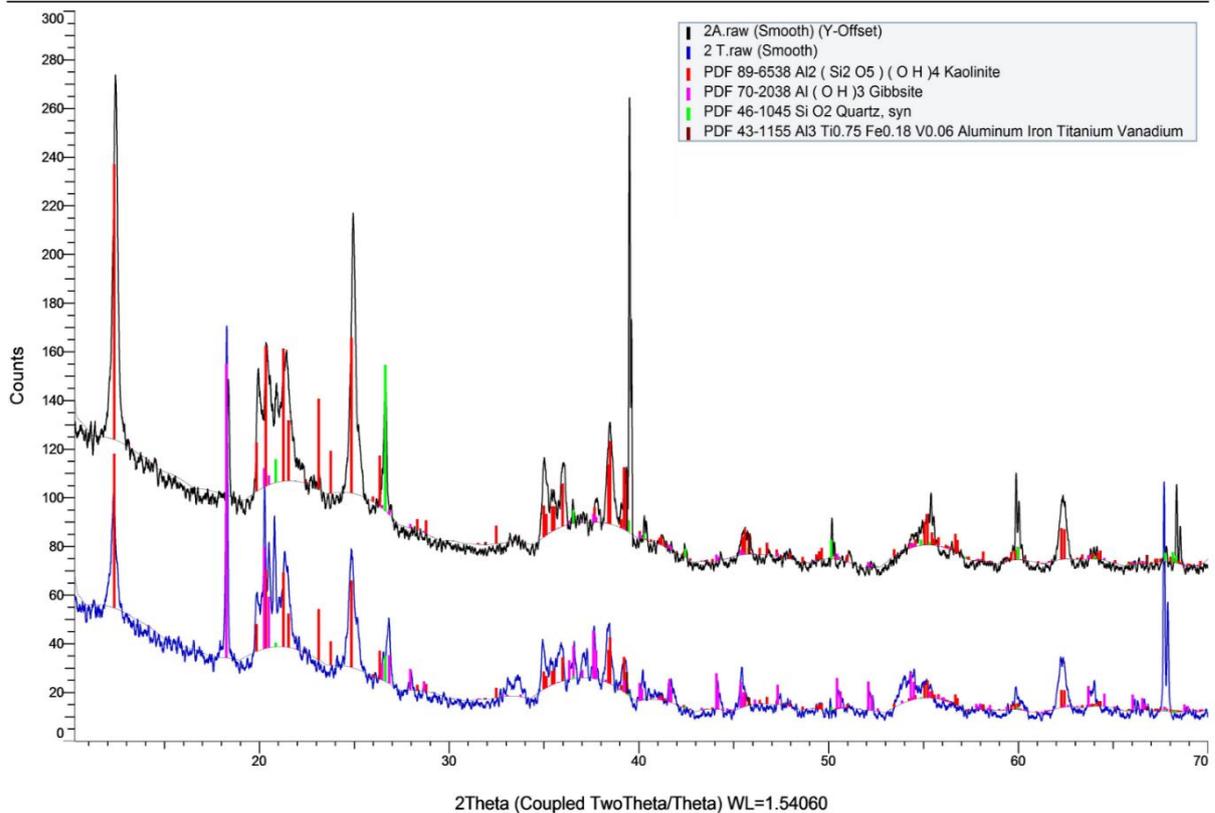


Figura 25: Difratomogramas das fases mineralógicas presentes na zona transeluvial e acumulativa da área 2.

Os difratogramas demonstraram picos das fases de quartzo, caulinita, alumínio–ferro–vanádio, e gibbsite. Sendo que o quartzo foi encontrado em duas formas cristalinas, hexagonal e tetragonal. Na área 2 os percentuais das fases mineralógicas apresentam no quadro 5:

Quadro 5: Percentual das fases mineralógicas da área 2

Fase mineralógica	Fórmula Química	Sistema Cristalino	Transeluvial	Acumulativa
Quartzo	SiO ₂	Hexagonal	10.53%	14,28%
Caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Triclínico	37.45%	61.10%
Alumínio, Ferro, Titânio, Vanádio	Al ₃ Ti _{0,75} Fe _{0.18} V _{0.06}	Cúbico	8.76%	10.69%
Gibbsite	Al(OH) ₃	Monoclínico	43.27%	10.94%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O quartzo apresentou um aumento de 3,75% na zona acumulativa, a caulinita também apresentou um aumento de 23,65%, a fase de alumínio-ferro-titânio-vanádio apresentou um pequeno aumento 1,93%. Já a gibsita apresentou uma diminuição no teor de 32,33%. Na figura 26 apresenta a variação das fases mineralógicas na área 2 de estudo:

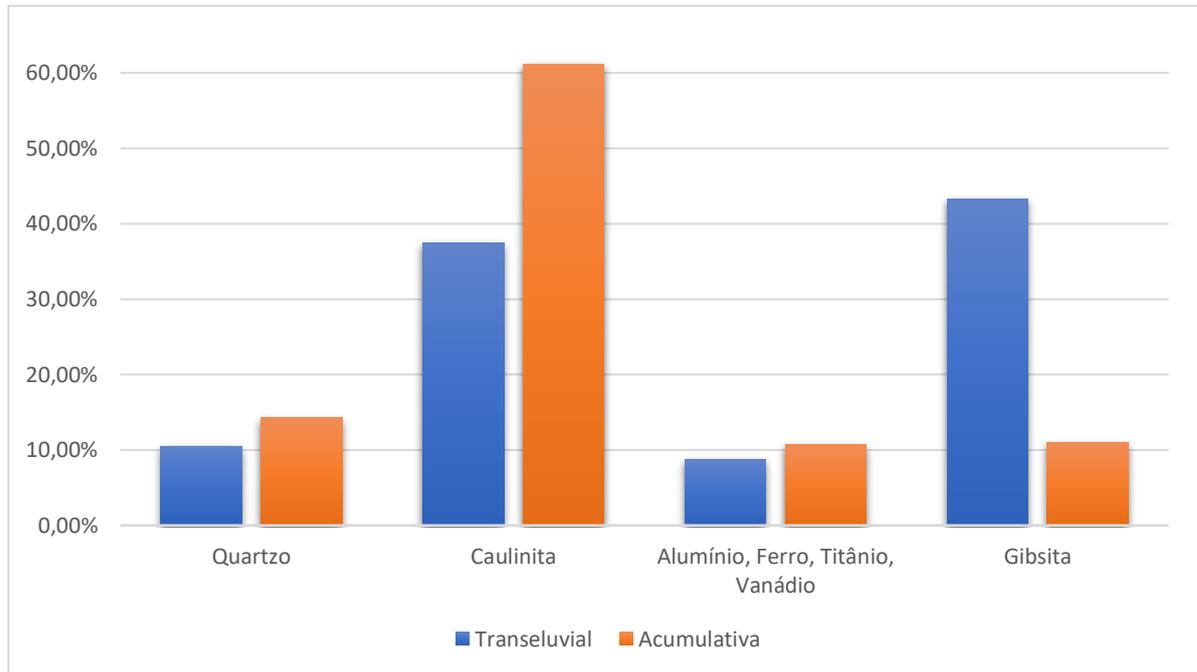


Figura 26: Variação das fases mineralógicas da área 2 na Bacia do Córrego Igrejinha-Juiz de Fora-MG.

Pode se observar no gráfico 3 todas as fases, exceto a gibsita apresentaram um aumento na zona acumulativa, sendo a caulinita apresentou um percentual maior do que as outras fases. A declividade presente em zonas transeluviais facilita o movimento lateral de material para a zona acumulativa. A figura 27 apresentam as análises qualitativas e a identificação dos minerais pelo DRX da área 2, por meio dos difratogramas:

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

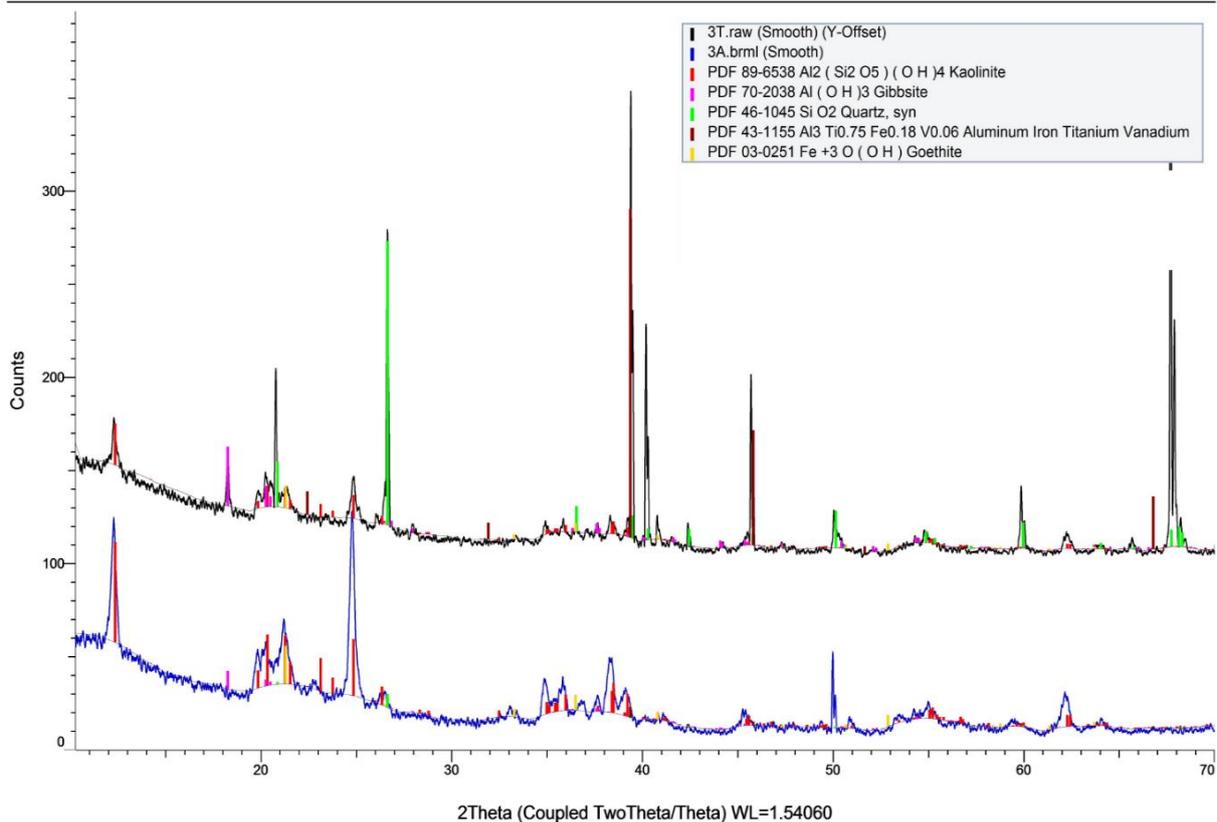


Figura 27: Difratoograma das fases mineralógicas presentes na zona translúvia e acumulativa da área 3.

O difratograma demonstrou picos das fases encontradas as fases do quartzo, caulinita, alumínio–ferro–titânio–vanádio, e gibsita. Na área 3 os percentuais das fases mineralógicas estão dispostos no quadro 6:

Quadro 6: Percentual das fases mineralógicas da área 3.

Fase mineralógica	Fórmula Química	Sistema Cristalino	Translúvia	Acumulativa (Foz)
Quartzo	SiO ₂	Hexagonal	21,58%	3,60%
Caulinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Triclínico	53,94%	8,51%
Alumínio, Ferro, Titânio, Vanádio	Al ₃ Ti _{0,75} Fe _{0.18} V _{0.06}	Cúbico	6,97%	70,08%
Gibsita	Al(OH) ₃	Monoclínico	8,21%	12,54%
Goethita	Fe O (O H)	Ortorrômbico	9,29%	5,26%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O quartzo teve uma diminuição de 17,98%, já a caulinita diminuiu 53% e a goethita diminuiu 4% em percentual na zona acumulativa. Já a fase de alumínio-ferro-titânio-vanádio apresentou um aumento considerável de quase 63,11% e a gibsita apresentou um pequeno aumento 4,33%. Na figura 28 apresenta o gráfico com a variação das fases mineralógicas na área 3 de estudo:

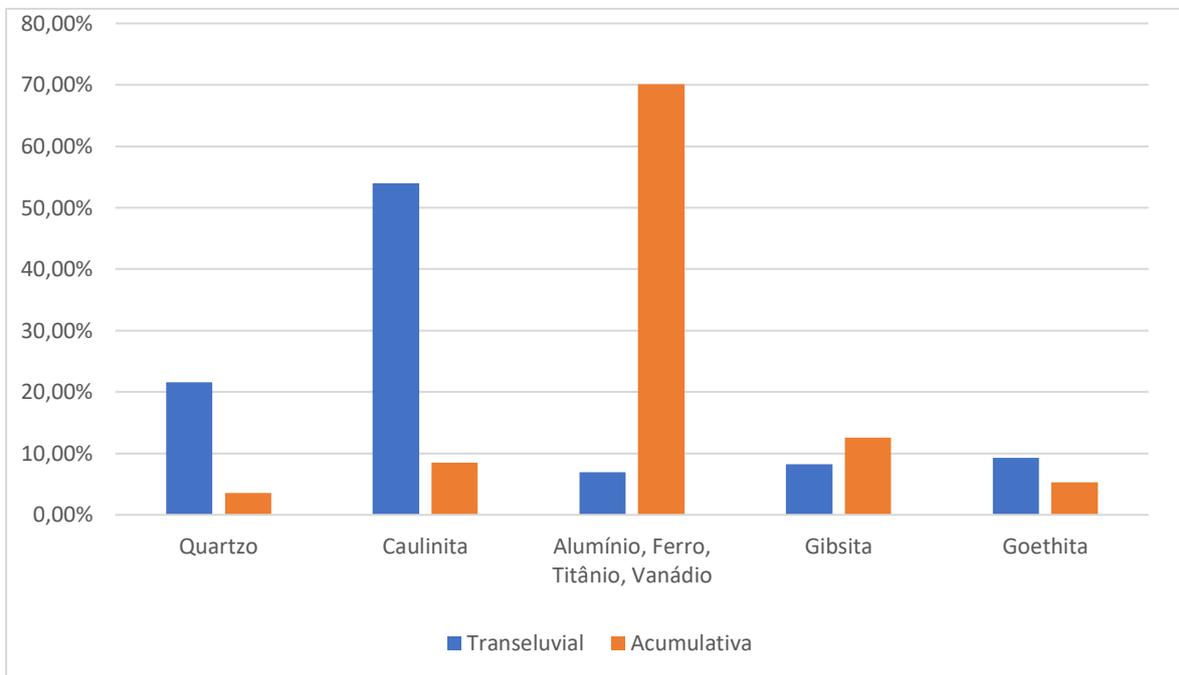


Figura 28: Variação das fases mineralógicas da área 3 na Bacia do Córrego Igrejinha- Juiz de Fora-MG.

É perceptível a mudança das abundâncias das fases mineralógica, variação da zona transeluvial e acumulativa demonstrou uma diferença considerável entre o quartzo, a caulinita e a fase alumínio-ferro-titânio-vanádio, sendo que a gibsita e goethita tiveram pouca variação. Lembrando que a zona acumulativa está localizada na foz do córrego Igrejinha, ou seja, apresentará sedimentos oriundos de paisagens elementares de toda a bacia do córrego Igrejinha e mesmo assim é perceptível o não acúmulo dessas fases.

Na área 3 de estudo foi encontrado a fase de goethita, essa fase consiste num óxido de ferro amplamente distribuído nos solos, confere uma coloração marrom a amarelada coloração marrom aos solos, ela ocorre como agulhas, embora em ambientes altamente intemperizado podem assumir uma aparência mais arredondada (Schwertmann 1984). É formado sob condições de oxidação. Também como mantos

lateríticos residuais, resultantes da intemperização de serpentinas e como precipitado direto inorgânico ou biogênico.

CAPÍTULO 6 – DISCUSSÕES

6.1 COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DAS FASES MINERALÓGICAS

6.1.1 Quartzo

Às três áreas de estudo apresentaram um comportamento díspar em relação à mobilidade de suas fases, analisando o quartzo na figura 29, podemos observar a variação do seu comportamento geoquímico ao longo das três áreas.

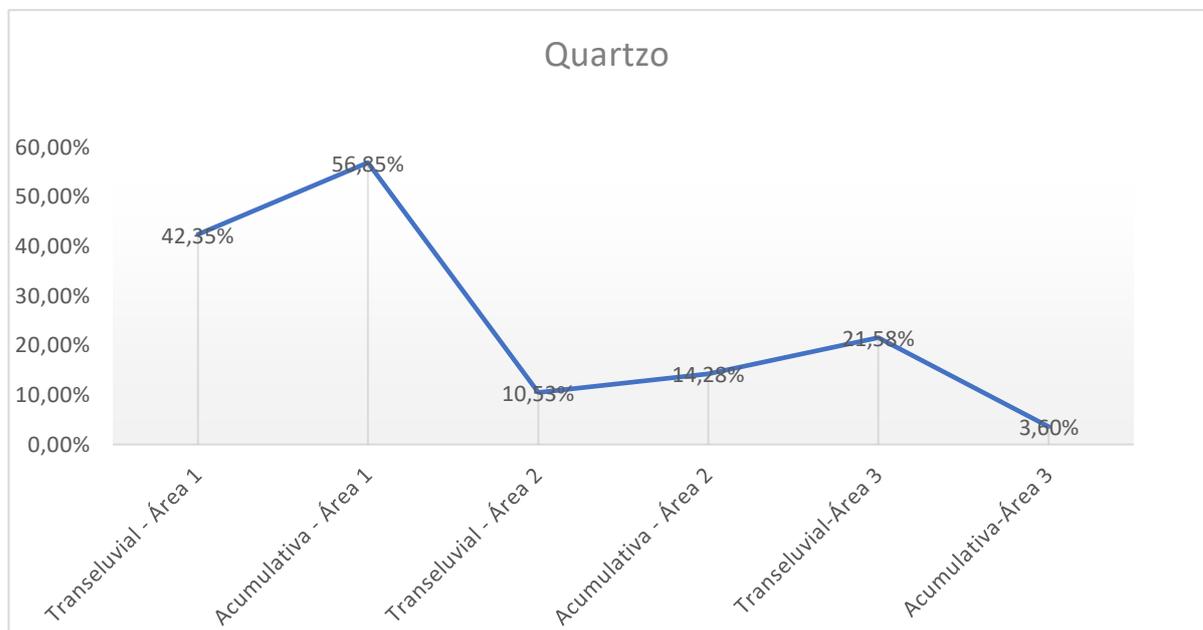


Figura 29: Comportamento Geoquímico do Quartzo das três áreas de estudo na Bacia do Córrego Igrejinha-Juiz de Fora-MG.

O gráfico da figura 29 denota uma diferenciação na abundância do quartzo nas diferentes paisagens geoquímicas. Observa-se que na área 1 e 2 abundâncias aumentam na zona acumulativa e na área 3 diminuem. A área 1 é uma área rural, favorece a circulação de água nas paisagens geoquímicas, com os resultados pode propiciar um ambiente favorável para o acúmulo do quartzo, já na área 2, na zona transeluvial

apresentam áreas com e sem asfalto e sistemas de esgoto, que dificultam a mobilidade natural na paisagem geoquímica, por isso apesar do quartzo aumentar seu percentual, sua variação é baixa se comparando a área 1.

Na área 3, é uma área totalmente urbana, como muitas casas e asfaltamento, dessa forma a mobilidade através de paisagem geoquímica torna-se mais difícil, nível de quartzo que chega na foz é baixíssimo. As paisagens antropogênicas influenciam na abundância de quartzo. O aumento das atividades humanas vai aumentando da área 1 para área 3, contribuindo para uma menor concentração do quartzo, quanto maior a atividade antropogênica menor a abundância do quartzo.

O quartzo é um mineral primário, constituinte do material de origem, e resistente aos processos de intemperismo. Sua presença na mineralogia dos solos tropicais são favorecidas em ambientes altamente intemperizado ricos em óxidos e hidróxidos de Fe (ferro) e Al (alumínio). A estrutura do quartzo, a depender da fração que ele tiver, não favorece as reações de hidrólise ou oxidação, sendo seu intemperismo provocado por dissolução, um processo mais lento, fazendo do quartzo um mineral resistente ao intemperismo. O quartzo não se altera diretamente em outras fases cristalinas. Ele entra lentamente em solução, e pela combinação com outros produtos origina novos silicatos.

Por sua resistência ao intemperismo, o quartzo presente na cobertura superficial da paisagem tende a não mudar sua estrutura e manter sua composição química por toda paisagem elementar, os resultados denotaram o acúmulo na zona acumulativa. Uma hipótese o aumento da abundância do quartzo seria o processo de dessilificação, que seria o processo de remoção do silício durante o intemperismo das rochas. O quartzo pode ser oriundo também da decomposição dos silicatos de alumínio do solo, ela apresentou um comportamento inverso, houve uma diminuição do percentual na zona acumulativa.

A abundância do quartzo tem um comportamento distinto nas três áreas estudadas, em uma análise qualitativa, o que difere é as formas de uso da terra. A abundância muda o comportamento em uma área com uma presença antropogênica mais desenvolvida. Pode-se deduzir que as atividades antropogênicas interferem nas condições ambientais que é necessário para a manutenção da abundância do quartzo numa paisagem geoquímica.

6.1.2 Caulinita

A caulinita apresentou também uma diferenciação do comportamento geoquímico na cobertura superficial da Bacia do Córrego Igrejinha, a variação pode ser observada no gráfico da figura 30:

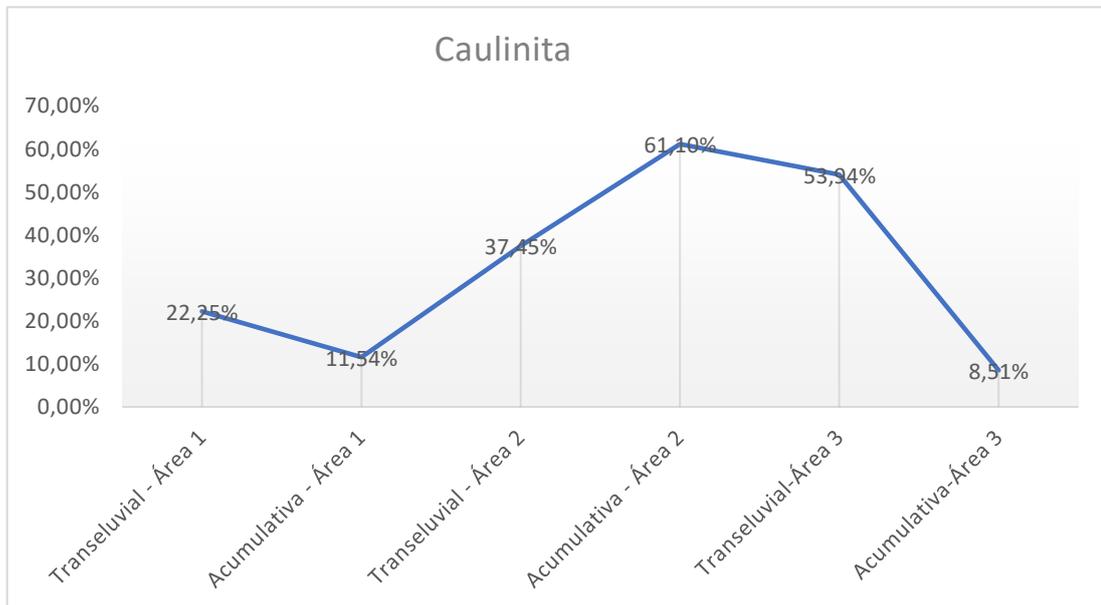


Figura 30: Comportamento Geoquímico da Caulinita nas três áreas de estudo na Bacia do Córrego Igrejinha-Juiz de Fora-MG .

A caulinita tanto na área 1 e 2, praticamente dobra seu percentual entre a zona transeluvial e acumulativa, e seguindo o padrão do quartzo, a caulinita na área 3 diminuiu drasticamente. Pode se observar também que a caulinita apresenta uma maior concentração na área 2 e tanto na área 1 e 2 foi encontrado um indício de teor de cálcio, pode sugerir que a caulinita pode ter se formada.

A caulinita é um mineral secundário formado pelo intemperismo ou alteração hidrotermal de silicatos aluminosos, particularmente feldspato. É encontrado misturado com feldspato em rochas que estão passando por alteração. Como um produto comum da decomposição das rochas, é encontrado em solos, e transportado pela água e depositado, misturado com quartzo e outros minerais.

A caulinita se forma através de uma reação de hidrólise lenta em que o efeito final é a remoção dos cátions e de parte da sílica em solução, enquanto o resto do

alumínio e resto da sílica permanece na forma de mineral argiloso. A formação da caulinita é favorecida por soluções ácidas e boa drenagem. Em áreas tropicais pode haver uma remoção mais completa da sílica deixando óxidos hidratados de ferro e alumínio com principais resíduos inorgânicos no solo (KRAUSKOPF, 1972).

Esse caráter da caulinita citada por Krauskopf denota que ela pode sofrer hidrólise e deixar alumínio hidratado como resíduo inorgânico, retornando ao quadro 6, temos a presença da fase de cálcio alumínio hidratado apenas na zona acumulativa. Sabendo que a formação da caulinita se dá pela pelo acúmulo de elementos em um perfil de intemperismo, pode assim ser expresso como uma série de reações envolvendo água, CO₂ e/ou ácido carbônico com a hidrólise de feldspatos da classe plágio, descrito na reação química abaixo (NASH; MCLAREN, 2007).



Consoante a litologia do local, na zona transeluvial da área 2, há predominância da biotita (Figura 5), o intemperismo da biotita de acordo com Essington (2003) denotam altas concentrações de sílica solúvel e base cátions (exceto K⁺, como Mg²⁺, Ca²⁺, ou Na⁺), baixas concentrações de K⁺, a presença de oxigênio (ou algum outro oxidante adequado) e condições básicas. Isso explicaria o alto teor de caulinita na área 2 em comparação com as outras áreas de estudo.

Na área 2 de estudo, onde apresenta uma ação antropogênica, nessa área está localizada o bairro Igreja, os sedimentos que atingem a zona acumulativa, depositam devido a aumento de declividade e da capacidade de transporte. Essas características podem ter favorecido o acúmulo da caulinita. Mesmo na área 2 com atividade antropogênicas, o perfil analisado favorece o movimento lateral, diferente da zona transeluvial da área 3 onde a organização tecnogênica interfere na mobilidade lateral.

A abundância da caulinita também difere nas três áreas de estudo, a caulinita é propícia sofrer os processos de intemperismo químico. Nesse caso a tendência natural dessa fase é sua diminuição nas zonas acumulativas, que é perceptível na área 1. Na área 2, a abundância da caulinita na zona acumulativa que na zona transeluvial, é pode ser um indicativo que os processos de intemperismo ocorreram com menos intensidade que na área 1.

O comportamento geoquímico da caulinita teve mudanças de acordo com o uso da terra. As áreas com atividades antropogênicas interferiram nas abundâncias dentro da paisagem geoquímica. Na área rural observa-se o comportamento natural que a caulinita apresenta, que é a tendência de sofrer processos de intemperismo. No entanto esse comportamento muda em áreas com atividades tecnogênicas. Ao comparar as abundâncias da caulinita de forma qualitativa, é perceptível a influência das atividades humanas.

6.1.3 Gibbsita

A gibbsita apresenta uma maior concentração na zona transeluvial da área 2. Como visto anteriormente, nessa área apresenta biotita e o intemperismo da biotita tem-se a caulinita e nos processos de intemperismo químico pode haver a quebra da caulinita para formar gibbsita, favorecidas por ambiente com pH baixo. Na figura 31, podemos ver o gráfico que apresenta o comportamento geoquímico da gibbsita:

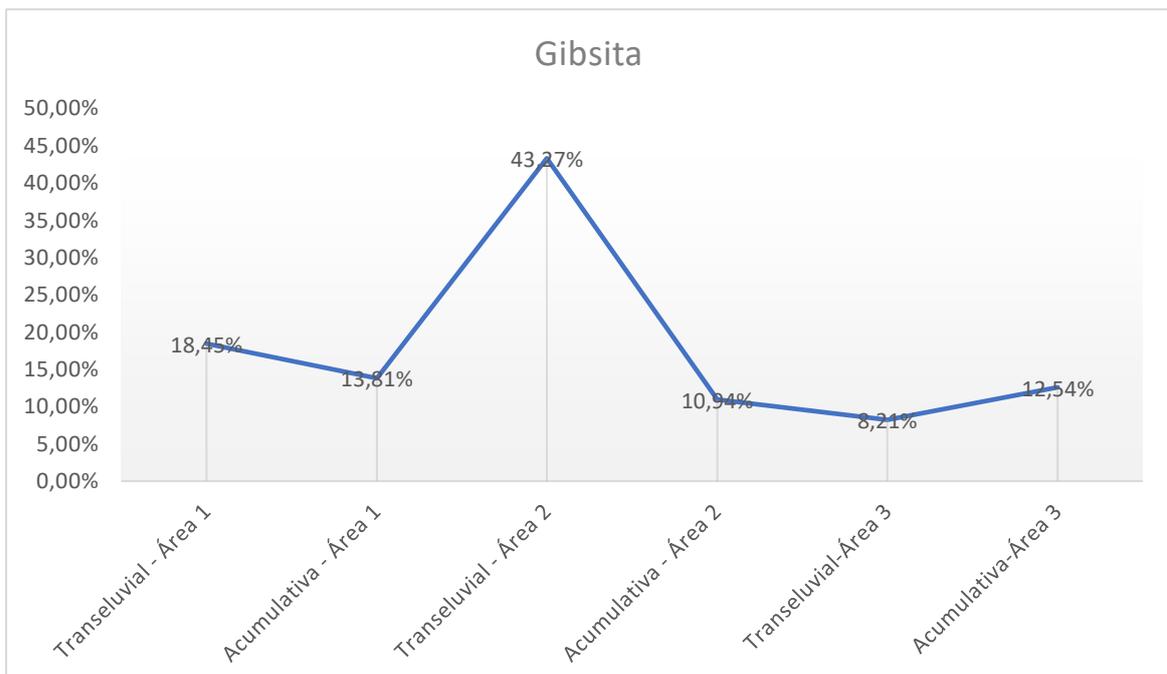
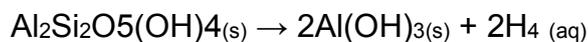


Figura 31 : Comportamento Geoquímico da Gibbsita nas três áreas de estudo na Bacia do Córrego Igreja-Juiz de Fora-MG.

Ao analisar o gráfico nota-se pouca variação entre as zonas transeluviais e acumulativas da área 1 e da área 3. Na área zona transeluvial apresenta um teor acima da média das outras áreas, isso pode ser explicado que nessa área apresenta condições favoráveis tais com o pH para a reação de hidrólise, sendo que na área 1, o pH está acima de 5. Na área 3, apesar do pH está abaixo de 5, não há uma grande diferença nas abundâncias da gibsita entre as paisagens elementares.

A partir da caulinita pode formar a gibsita, o pH favorável para ocorrer essa reação é 5,3.(ESSIGTON, 2003). Retornando aos resultados da difração de raio-x constou também a presença de gibsita, denota-se que pode ter ocorrido a reação de transformação da caulinita em gibsita. Sob condições fracamente ácidas, com água suficiente e drenagem livre, a sílica pode ser removida, permitindo que a gibsita se forme diretamente da caulinita conforme a reação química abaixo:



A gibsita por ser mais estável não será suscetível a mobilidade na paisagem geoquímica, como já dito anteriormente, a mobilidade se dá por afinidade a água. De acordo com Pomerol et al. (2013) a formação da gibsita é o último estágio da hidrólise, todo silício é lixiviado e resta apenas o hidróxido de alumínio.

O comportamento geoquímico da gibsita depende da abundância da caulinita e os meios favoráveis a reações de intemperismo. Na área 1, tem-se um comportamento normal em áreas com pH alto, ou seja, a gibsita tende a não sofrer processo de intemperismo. Já nas áreas 2 e 3 apresenta um pH ácido, no entanto a gibsita apresenta comportamento diferentes.

Na área 3, seguindo os padrões de pH, o comportamento esperado era de mudanças na abundância nas paisagens elementares, e isso não ocorre. Paisagens tecnogênicas tais como asfalto, impede que a água entre em contato com o solo, água favorece as reações de hidrólise. Dessa forma, as atividades humanas interferem novamente nos processos naturais que movimentam a abundância da gibsita no meio.

6.1.4 Fase de Alumínio-ferro-titânio-vanádio

A fase alumínio-ferro-titânio-vanádio aumenta de teor da zona transeluvial para a zona acumulativa 1, no entanto seu percentual diminui na zona acumulativa 2, na zona acumulativa 2. Isso pode ser observado na figura 32, o comportamento dessa fase nas 3 áreas de estudo:

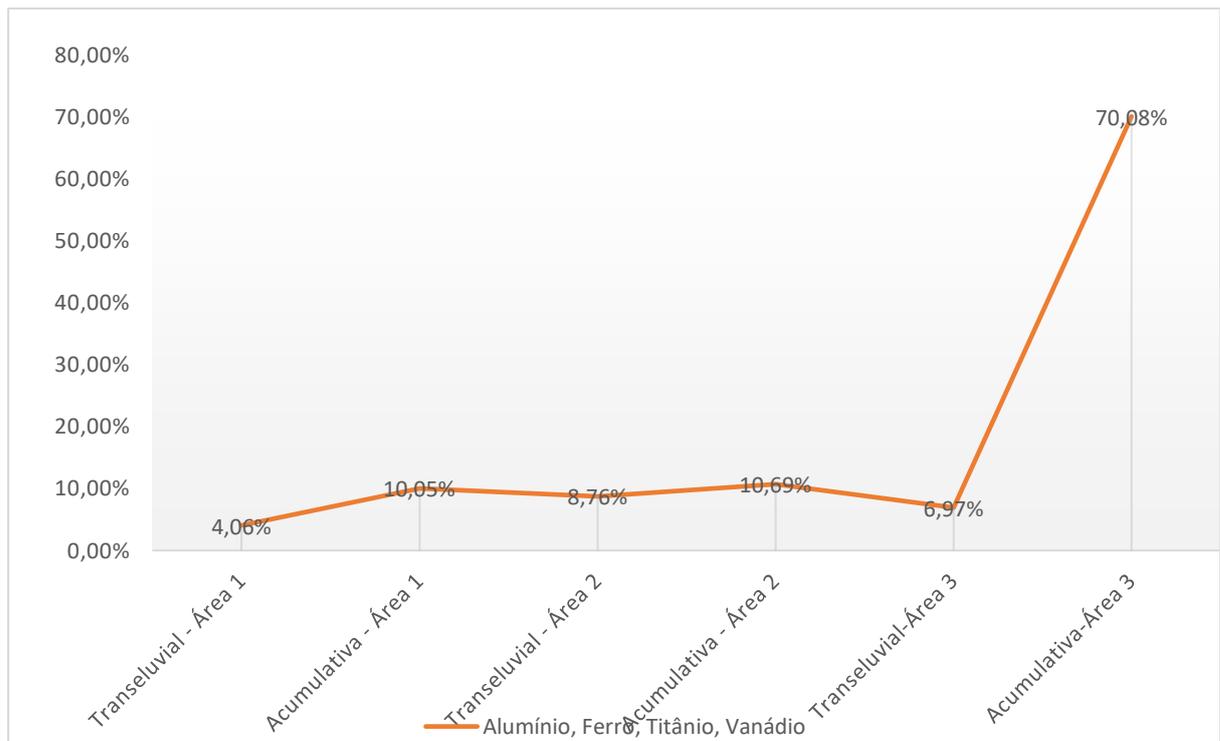


Figura 32: Comportamento Geoquímico da fase alumínio-ferro-titânio-vanádio nas três áreas de estudo na Bacia do Córrego Igrejinha-Juiz de Fora-MG

Durante o processo de mobilidade um composto químico pode haver incorporação íons numa fase de processo de coprecipitação. Por exemplo, na precipitação do hidróxido de alumínio, presentes na fase da gibsita, pode ocorrer a incorporação de metais pesados tais como ferro, titânio e vanádio. O alumínio presente na cobertura superficial da paisagem se associou com esses metais formando essa fase, a barreira geoquímica também não impediu sua mobilidade

Esse fenômeno foi mais intenso na zona acumulativa da área 3, nessa área existe uma intensa atividade antropogênica, a presença desta fase na zona

transeluvial da área 1 que é uma área rural, apresentou um teor baixo, por volta de 4% e ao chegar na foz, o teor chega a 70%. Pode observar que a presença dessa fase nas zonas acumulativas apresenta um percentual maior que na zona transeluvial, sendo quanto mais intensa for a atividade antrópica, seu percentual aumenta.

CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho permitiu relacionar o comportamento das assinaturas geoquímicas com a estrutura superficial da paisagem de acordo com seus aspectos dinâmicos – funcionais. A metodologia da geoquímica da paisagem, alinhada com a geotecnologias e dos materiais cartográficos gerados, proporcionou espacializar os aspectos dinâmicos–funcionais da Bacia do Córrego Igrejinha, bem como identificar suas funções tanto em regolito autóctones como em tratos deposicionais alóctones e como estes podem interferir na abundância dos elementos manto superficial da paisagem.

A abordagem sistêmica da natureza alinhadas a uma metodologia interdisciplinar das ciências geográficas, físicas e químicas permitiram associar o comportamento geoquímicos das principais fases mineralógicas com as funções transmissoras e receptoras de fluxo de matéria da paisagem, bem como as ações antropogênicas podem interferir.

Os resultados do trabalho de laboratório mostraram que todos os espécimes analisados eram típicos da litologia e pedologia da região, as discussões acerca do comportamento dessas fases nas paisagens subordinadas, permitiram concluir que as formas de relevo interferem nos processos de que ocorrem no manto de alteração.

Os elementos químicos liberados pelos processos de lixiviação e intemperismo sofre transformações e conseqüentemente altera a composição química do solo, a geoquímica da paisagem proporcionou relevante ao analisar os processos de transformação que ocorre por meio de mecanismo que variam de acordo com sua localização nas paisagens elementares.

Foi possível relacionar de forma qualitativa, o quadro tecnogênicos vigente da Bacia do Córrego Igrejinha nas formas de migração e como estas alteram reações químicas mineralógicas, os diferentes usos de terra ocasionaram mudança de comportamento em algumas das assinaturas geoquímicas, contribuindo também para os processos de transformações na cobertura superficial.

Para trabalhos futuros, sugere-se uma análise de forma quantitativa nos cálculos das abundancias das fases, usar técnicas de refinamento tais como o método

de Rietveld. Fazer o estudo por fração mineralógica do solo como argila, silte e areia, para um estudo mais criterioso nas mudanças geoquímicas na paisagem. .

Por fim, o relevante o desenvolvimento de estudos geoquímicos de paisagens nessas áreas, paralelamente terão grande valor teórico e aplicativo para a geografia contemporânea. Contribuem para estudos para a agricultura, proteção do meio ambiente, geografia médica, prospecção de minérios entre outros. Entender a dinâmica e a disponibilidade dos elementos, bem como suas concentrações nos ecossistemas naturais, é um grande desafio para muitos estudos envolvendo as questões ambientais, principalmente diante da constatação de que os impactos das atividades humanas sobre esses sistemas têm se intensificado nos últimos anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. A. de. **A TEORIA GEOMORFOLÓGICA E SUA EDIFICAÇÃO: ANÁLISE CRÍTICA**. LG, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 5-23, dez. 1983. Semestral.

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AB'SÁBER, A. N. **Um Conceito de Geomorfologia à Serviço das Pesquisas sobre o Quaternário**. Geomorfologia. São Paulo, n. 18, 1969.

ALBARÈDE, F. **Geoquímica: uma introdução**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011. Tradução: Fábio R. Dias.

ANTROP, M. **Geography and Landscape Science. Belgeo**: Revue Belge de Géographie, Bruxelas, p. 9-36, set. 2000. Acesso em 21 de setembro de 2020.

ANTUNES, P. B. **Dano Ambiental: UMA ABORDAGEM CONCEITUAL**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2015. 224 p.

AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R.. **VULNERABILIDADE AMBIENTAL**. São Paulo: Blucher, 2017. 112 p.

BALLESTEROS, E. M. **Geomorfologia Y Geoquímica Del Paisaje**: Dos ejemplos en el interior de la Meseta Ibérica. Salamanca: Universidad de Salamanca, 1991. 145 p.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1977. 351 p.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global**. São Paulo: USP/IGEOG, 1971. (Cadernos de Ciências da Terra, n.13).

BIGARELLA, J. J. BECKER, R. D.; SANTOS, G.F.. **Estrutura E Origem Das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. 3. ed. Florianópolis: Ufsc, 1994. (Volume 1).

BIRKELAND, P. W.. **Soils and Geomorphology**. New York: Oxford University Press, 1984.

BOHN, H. L.; MCNEAL, B. L.; O'CONNOR, G.A. **Soils Chemistry**. 3. ed. rev. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001. 322 p.

BRASIL. Prefeitura de Juiz de Fora. Lei Municipal nº 9811, de 27 de junho de 2000. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora (PDDU)**. Disponível em: Acesso em 10 set 2020.

BRADY, N. C. **The Nature and Properties of Soils**. 9. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1984. 780 p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R.. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Tradução Igo Fernando Lepsch.

BRASIL. Embrapa. Ministério do Meio Ambiente (Org.). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, 2018. Disponível em: <<
<http://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 18 set. 2018.

BRUCH, A. F. **A mineração e a Paisagem Geoquímica na Sub-Bacia Hidrográfico do Arroio João Dias, Minas do Camaquã, Caçapava do Sul - RS do Sul**. 2014. 303 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BUOL, S. W.; SOURTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; MCDANIEL, P.A. **SOIL GENESIS AND CLASSIFICATION**. 6. ed. Oxford: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 556 p.

CAMARGO, L. H. R. de. **A Geoestratégia da Natureza: A Geografia da Complexidade e a Resistência à possível Mudança de Padrão Ambiental Planetário**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 240 p.

CARVALHO, C. N. **Geoquímica ambiental: conceitos, métodos e aplicações**. Geochimica Brasiliensis. Rio de Janeiro, v.3, n.1, p.17-22, 1989.

CAVALCANTI, A. P. B.; RODRIGUEZ, J.M.I M.; SILVA, E. V. (Org.). **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Edições Ufc, 2017. 222 p. Disponível em:
<http://www.ppggeografia.ufc.br/images/documentos/043710J_MIOLO_Geoecologia.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2019.

CHRISTOFOLETTI, A.. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999. 235 p.

CPRM. **Geologia e recursos minerais da folha Três Rios SF.23-Z-B-I**. Rio de Janeiro, CPRM 2012. Escala 1:100.000.

CRUZ, G. de B.; PEREIRA, L. F.; GUIMARÃES, R. M. F. **Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra**. Journal Of Environmental Analysis And Progress, [s.l.], v. 4, p.122-129, 2019.

DONAGEMA., G. K. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

ESPÍNDOLA, C.R. **Pedogênese em áreas basálticas do reverso de cuevas no médio curso do rio Tietê**. Tese de livre docência. Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, São Paulo. 1979

ESPINDOLA, C. R.. **Respectiva crítica sobre a pedologia**. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. 400 p.

ESSINGTON, M. E. **Soil and water chemistry; an integrative** approach. N. York: CRC Press, 2004. 534 p

EVANGELOU, V. P. **Environmental soil and water chemistry: principles and applications**. N. York: John Wiley & Sons, 1998. 564 p

FANIRAN, A.; JEJE, L.K.. **Humid Tropical Geomorphology**: a study of the geomorphology processes and landforms in warm humid climates. New York: Longman Group Ltda, 1983.

FORTESCUE, J. A. C.. Landscape geochemistry: retrospect and prospectm1990. **Applied Geochemist**, Toronto, v. 7, p. 1-53, fev. 1992.

GAJUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z.. **Geochemical background - an environmental perspective**. Mineralogia, [s.l.], v. 42, n. 1, p.7-17, 26 mar. 2012. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/v10002-011-0002-y>.

GLAZOVSKAYA, M.A. **Base Geoquímica**: tipologia e métodos de pesquisa em paisagens naturais. 2. ed. Smolensk: Oikumena, 2002. (EM RUSSO)

GREGORY, K.J. **A natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992. 367 p.

GOUDIE, A. S.; VILES, Heather A.. **Geomorphology in the Anthropocene**. New York: Cambridge University Press, 2016.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 372 p.

HYPOLITO, R; ANDRADE, S.; EZAKI, S.. **Geoquímica da Interação Água/Rocha/Solo**: estudos preliminares. São Paulo: All Print Editora, 2011.

III SIMBÓCIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PARAIBA DO SUL, 3., 2016, Juiz de Fora. **CARACTERIZAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO IGREJINHA, MG E ANÁLISE DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE CONFORME O USO DA TERRA**. Juiz de Fora: Ufjf, 2016. 7 p.

IBGE, 2012. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. Série Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro. 272 p

KLEIN, C.; DUTROW, B.. **Manual de Ciências dos Minerais**. 23. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 716 p.

Lacerda, M. P. C., Andrade, H. e Quéméneur, J. J. G. **Transformações mineralógicas ao longo de perfis de alteração pedogenética na região de Lavras (MG)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo . 2001, v. 25, n. 4, pp. 799-809. Acessado 26 Junho 2022.

LICHT, O.A. B.; BITTENCOURT, André V. L. **PAISAGENS GEOQUÍMICAS - NATURAIS E ANTRÓPICAS - NO ESTADO DO PARANÁ**. Revista Técnico Científica, Curitiba, v. 1, p. 1-27, 2013.

LINS, C. A. C. et al. **Manual técnico PGAGEM – Brasil**. São Paulo: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2003.

LUZ, L. M. da; MARCAL, M. S. A PERSPECTIVA GEOGRÁFICA DO ANTROPOCENO. **Revista de Geografia (Recife)**, Recife, v. 33, n. 2, p. 143-159, set. 2016. Acesso em setembro de 2020.

MASON, B. H.. **Princípios de Geoquímica**. São Paulo: Editora da Usp, 1971. 381 p. Tradução: Rui Ribeiro Franco.

MARQUES NETO, R.; FERRARO, B. V.. **CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA REGIONAL E MORFOGÊNESE: CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 19, n. 2, p.267-281, jun. 2018. Acesso em agosto de 2020.

MARQUES NETO, R. **Geomorfologia E Geossistemas: Influências Do Relevo Na Definição De Unidades De Paisagem No Maciço Alcalino Do Itatiaia (MG/RJ)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 16, n. 4, p.729-742, out. 2016.

MCBRIDE, M. B. **Environmental Chemistry of Soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 411 p.

MELFI, A.J. ; PEDRO, G. **Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil - parte I - caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica**. **Rev. Bras. Geoc.**, v.7, n.4, pp. 271-286. 1977. Acesso em setembro de 2020.

MIRLEAN, N.; TELLES, R. M.; DUARTE, G. M.. **O que é geoquímica de paisagem?** Geosul, Florianópolis, v. 21, n. 41, p. 107-126, jun. 2006.

MORTATTI J.; PROBST J.L. **Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations**. *Chemical Geology*, 2003, vol. 197, pp. 177– 196

NASH, D. J.; MCLAREN, S. J. **Geochemical Sediments and Landscapes**. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2007. 490 p.

OLIVEIRA, A. M. dos Santos; PELOGGIA, A. U. G.. The Anthropocene and the Technogene: stratigraphic temporal implications of the geological action of humankind. **Quaternary And Environmental Geosciences**, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 103-111, 31 dez. 2014. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v5i2.34828>.

OSTASZEWSKA, K.. **THE GEOCHEMICAL LANDSCAPE CONCEPT AND ITS USEFULNESS IN PHYSICAL GEOGRAPHY**. *Miscellanea Geographica*, Varsóvia, v. 14, n. 5, p. 5-12, dez. 2010. Disponível

em: <https://www.researchgate.net/publication/267295915> The Geochemical Landscape Concept and Its Usefulness in Physical Geography. Acesso em: 17 jul. 2020.

PÄRN, J.; MANDER, Ü.. **Landscape factors of nutrient transport in temperate agricultural catchments**. Tartu: University Of Tartu, 2010.

PAULA, I. F. M.s de; FERREIRA, C. C. M.. **Avaliação e mapeamento da cobertura vegetal da região central da cidade de Juiz de Fora – MG**. Ra'Ega: O Espaço Geográfico em Análise, Curitiba, v. 39, p. 146-166, abr. 2017. Acesso em setembro de 2020.

PELOGGIA A.U.G. 1995. **A dialética da Geologia (temas de Geologia inspirados na obra de Friedrich Engels, e suas aplicações)**. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, 25(2):107:110. isponível em: http://sbgeo.org.br/pub_sbg/rbg/vol25_down/2502/2502107.pdf. Acesso em 22 de setembro de 2019.

PELOGGIA A.U.G. 2005. **A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo**. Revista do Departamento de Geografia (USP), São Paulo, 16:24-31.

PERELMAN, A. I.. **GEOQUÍMICA DE PAISAGEM**: relatórios totalmente russos conferência científica. Moscou: Universidade Estadual de Moscou, 2016. (EM RUSSO)

POLYNOV, B.B. **Selecta**. Moscow: AN USSR, 1956 (EM RUSSO)

POMEROL, C.; LAGABRIELLE, Y.; RENARD, M.; GUILLOT, S.. **Princípios de Geologia**: técnicas, modelos e teorias. 14. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R.; JORDAN, T. H.. **Para Entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROCHA, C. H. B.. **GEOMÁTICA NA PRÁTICA**. Curitiba: Editora Crv, 2019. 296 p.

ROSS, J.L. S.. **Ecogeografia do Brasil**:: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SALVADOR, V. L. R.. **Introdução à Técnica de Espectrometria de Raio - X**. São Paulo: Shimadzu, 2015. 46 p.

SILVEIRA, F. J. ; FERREIRA, R.. **CARACTERIZAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÔRREGO IGREJINHA, MG E ANÁLISE DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE CONFORME O USO DA TERRA**. Juiz de Fora: Uffj, 2016. 7 p.

SHIMADZU (Japão) (Org.). **Instruction Manual Begginer's Book**: Shimadzu Energy Dispersive X - Ray Fluorescence Spectrometer. Kyoto: Shimadzu Corporation, 2010. (EDX Séries).

SHIMADZU (Japão). **Instruction Manual Operation (PCDEX - PRO)**: Shimadzu Energy Dispersive X - Ray Fluorescence Spectrometer. Kyoto, 2013.

SHIMADZU (Japão). **Instruction Manual Operation (PCDEX - PRO)**: Shimadzu Energy Dispersive X - Ray Fluorescence Spectrometer. Kyoto: Shimadzu Corporation, 2013.

SOWÍNSKI, P.; GLÍNSKA-LEWCZUK, K.; KALISZ, B.; ASTEL, A. DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN SOILS IN A POSTGLACIAL RIVER VALLEY - A GEOCHEMICAL LANDSCAPE APPROACH. **Environmental Engineering And Management Journal**, Bucareste, v. 15, p. 1323-1335, jun. 2016. Acesso em setembro de 2020.

SPOSITO, G.. **The Chemistry of Soils**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 2008. 342 p.

STAICO, J. 1976. **A bacia do rio Paraibuna: a natureza**. Juiz de Fora: Ed. UFJF. 246 p.

STEFFEN, W.; CRUTZEN, P.J.; MCNEILL, J.R. The Anthropocene are humans now overwhelming the great forces of nature. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, vol.36, n.8, p. 614-621. Acesso em agosto de 2020.

SZABÓ, J. **Anthropogenic geomorphology: subject and system**. In: Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-Made Landforms. SZABÓ, J. DÁVID, L. LÓCZY, D. (Orgs.). SPRINGER. Dordrecht Heidelberg London New York, 2010. p. 3-10.

SZUCS, A. **Geochemical Landscape Analysis for the Risk Assessment of Acid Mine Drainage in a Wetland Environment**. 2006. 49f. Tese (Doutorado) - Curso de Philosophy, Uppsala University, Uppsala, 2006.

TAN, K. H. **Principles of soil chemistry**. Ed.2. N. York: Marcell Dekker, s.d. 362 p

TER-STERPANIAN, G. **Begining of the Technogene**. Bulletin I.A.E.G., n.38, p.133-142. 1988.

THOMAS, M. F.. **Geomorphology in the tropics**: a study of weathering and denudation in low latitudes. New York: John Wiley & Sons, 1994. 443 p.

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

VITTE, A. C.. A CONSTRUÇÃO DA GEOMORFOLOGIA NO BRASIL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s.l.], v. 12, p.91-108, 1 fev. 2012. Trimestral. Revista Brasileira de Geomorfologia. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v12i0.262>.

VITTE, A. C.. **Considerações sobre a teoria da etchplanação e sua aplicação nos estudos nas formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas**. **Terra Livre**, São Paulo, v. 16, p.11-24, 2001. Disponível em:

<<http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/view/347>>. Acesso em: 22 set. 2019.