

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - MG

Instituto de Ciências da Natureza

Curso de Geografia – Bacharelado

ALINE DA SILVA XAVIER MARCOS

**MAPEAMENTO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL DA
BACIA DO RIBEIRÃO DO ESCALVADO - MG**



Alfenas - MG

2021

ALINE DA SILVA XAVIER MARCOS

**MAPEAMENTO DE FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA
DO RIBEIRÃO DO ESCALVADO - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em
Geografia pelo Instituto de Ciências da
Natureza da Universidade Federal de
Alfenas - MG, sob orientação do Prof. Dr.
Felipe Gomes Rubira

Alfenas – MG
2021

Banca Examinadora

Prof. Dr. Felipe Gomes Rubira, UNIFAL/MG (Orientador)

Prof. Msc. Vinícius Borges Moreira, UNICAMP (Avaliador 01)

Prof. Dr. Rodrigo José Pisani, UNIFAL/MG (Avaliador 02)

Alfenas (MG), 16/09/2021

Dedicatória

Dedico esse trabalho à minha pessoa, a qual com pouca crença de si se provou forte e viu que era capaz de estar aqui.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço ao meu anjo da guarda por toda sua proteção nesses anos de vida e, principalmente, em meu tempo de graduação, por ele me manteve forte e cheguei até aqui.

Sou imensamente grata à minha família, sendo meus pais Francisco e Geny e, meu irmão Wendel, ambos pilares de tudo, meus grandes companheiros, sempre me dando apoio em qualquer ocasião.

Do fundo do meu coração, agradeço especialmente ao Felipe, meu orientador. Uma pessoa magnífica, tanto no pessoal quanto no âmbito científico. Sou muito grata a partilha de conhecimento e de sua orientação excelente.

A todos meus amigos que fiz em Alfenas, Andreza, Eduardo, Fernanda, Henrique, Juliana, Mariana e Nathana, agradeço por toda experiência de vida que podemos viver juntos, a companhia de todos foi essencial em meu crescimento pessoal. Vocês sempre estarão guardados com carinho e respeito em meu coração.

Ademais, agradeço a todo corpo docente da Geografia da Unifal, pela partilha de seus vastos conhecimentos e por sempre serem cordiais aos seus alunos.

Resumo

Fatores genéticos do ambiente físico-natural podem apresentar características frágeis, suscetíveis a ocorrência de processos de degradação. Tal fato, associado à ocupação humana desordenada, agrava consideravelmente a fragilidade desses ambientes naturais. Na sua historicidade, a bacia do ribeirão do Escalvado (MG) passou por problemas de desmatamento em detrimento ao ciclo do ouro e avanço da agropecuária, acarretando modificações em seu regime hídrico. A partir dessas premissas, esta pesquisa objetivou classificar, mapear e analisar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão do Escalvado (MG) a partir da proposta metodológica de Ross (2012). Para tanto, foram realizados mapeamentos de variáveis relacionadas à declividade, hipsometria, drenagem, classes de solo, substrato geológico, dissecação do relevo e uso da terra da bacia. Alguns destes parâmetros foram sobrepostos por meio de análise ponderada associada a processo hierárquico analítico (AHP), procedimento pelo qual foi possível mapear, identificar e diagnosticar os setores de maior fragilidade ambiental na bacia (potencial e emergente). A correlação das variáveis naturais resultou em dados que evidenciam relevos potenciais à ocorrência de processos erosivos, com declividade predominantemente forte ondulada (59,77%). A classificação supervisionada relativa ao mapeamento do uso da terra, evidenciou predomínio de pastagem (66,21%) com pouca vegetação nativa (29,18%), fato que aumenta a fragilidade da área frente à ocorrência dos processos erosivos nas vertentes íngremes desprotegidas, constantemente dissecadas por incisões fluviais (elevado padrão de dissecação). Os resultados provenientes da sobreposição ponderada entre as variáveis naturais resultaram na distinção de classes de média fragilidade potencial (86,49%), forte fragilidade potencial (11,38%) e baixa fragilidade potencial (2,13%). Com relação à fragilidade emergente, a partir do cruzamento envolvendo as classes de uso da terra, obteve-se resultados que evidenciaram predomínio de classe de fragilidade emergente forte (64,85%), fraca (21,47%), muito forte (8,11%), média (4,69%) e muito fraca (0,88%). A partir dos resultados obtidos concluiu-se que os ambientes frágeis da bacia do ribeirão do Escalvado apresentaram-se condizentes tanto com sua historicidade relacionada à ocupação da sociedade, quanto à evolução geocronológica do sistema natural.

Palavras-chave: Sobreposição ponderada; Fragilidade potencial; Fragilidade emergente.

Abstract

Genetic factors of the physical-natural environment can present fragile characteristics, susceptible to the occurrence of degradation processes. This fact, associated with disordered human occupation, considerably aggravates the fragility of these natural environments. Historically, the Ribeirão do Escalvado (MG) basin has experienced deforestation problems to the detriment of the gold cycle and advances in agriculture, causing changes in its water system. Based on these premises, this research aimed to classify, map and analyze the environmental fragility of the Escalvado river basin (MG) based on the methodological proposal of Ross (2012). Therefore, mapping of variables related to slope, hypsometry, drainage, soil classes, geological substrate, relief dissection and land use in the basin were carried out. Some of these parameters were superimposed through weighted analysis associated with an analytical hierarchical process (AHP), a procedure through which it was possible to map, identify and diagnose the most fragile environmental sectors in the basin (potential and emerging). The correlation of natural variables resulted in data that show potential reliefs for the occurrence of erosive processes, with a predominantly strong undulating slope (59,77%). The supervised classification relating to land use mapping showed a predominance of pasture (66,21%) with little native vegetation (29,18%), a fact that increases the fragility of the area against the occurrence of erosion processes on unprotected steep slopes, constantly dissected by fluvial incisions (high dissection pattern). The results from the weighted overlap between the natural variables resulted in the distinction between classes of medium potential frailty (86,49%), strong potential frailty (11,38%) and low potential frailty (2,13%). With regard to emerging fragility, from the crossover involving the land use classes, results were obtained that showed a predominance of the strong (64,85%), weak (21,47%), very strong (8,11%), medium (4,69%) and very weak (0,88%). From the results obtained, it was concluded that the fragile environments of the Escalvado river basin were consistent both with its historicity related to the occupation of society, as well as the geochronological evolution of the natural system.

Keywords: Weighted overlap; Potential fragility; Emerging fragility.

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de localização da bacia do ribeirão do Escalvado.....	15
Figura 2: Representação de uma bacia hidrográfica	17
Figura 3: Comarcas de Minas Gerais, 1821.	20
Figura 4: (A) MDE invertido; (B) Picos elevados sob o MDE Altimétrico	33
Figura 5: Perfis dos vales da matriz de dissecação do relevo	35
Figura 6: Fragilidade de dissecação do relevo	35
Figura 7: Litologia da bacia.....	39
Figura 8: Afloramento de ortognaisse ao leste da bacia	40
Figura 9: (A) Entalhamento da Bacia; (B) Dimensão interfluvial da bacia.....	41
Figura 10: Índice de dissecação do relevo da bacia	42
Figura 11: Fragilidade da dissecação do relevo presente na bacia	43
Figura 12: Relevo característico à jusante da bacia.	44
Figura 13: Declividade da bacia	45
Figura 14: Presença de ravinas sob a vertente do córrego do quilombo.....	45
Figura 15: Terracetes presente sob a vertente do córrego do quilombo.	46
Figura 16: Mancha urbana sob o fundo de vale	47
Figura 17: Inundação ocorrida sob a mancha urbana de Santa Cruz do Escalvado em 2017.	47
Figura 18: Pedologia da bacia	48
Figura 19: Ponto de erosão laminar.....	49
Figura 20: Uso do da terra da bacia	50
Figura 21: Grande área de pastagem e presença de planície de inundação	50
Figura 22: Pequeno fragmento de mata encontrado sob o leito do córrego do quilombo	51
Figura 23: Fragilidade Potencial da bacia	52
Figura 24: Fragilidade Emergente da bacia.....	54

Índice de Tabelas

Tabela 1. Classes hierárquicas de declividade	24
Tabela 2: Classes hierárquicas das formas de relevo.....	24
Tabela 3: Matriz dos índices de dissecação do relevo	25
Tabela 4: Categorias hierárquicas da morfometria	25
Tabela 5: Classes hierárquicas de pedologia.....	26
Tabela 6. Categorias hierárquicas do uso da terra.....	26
Tabela 7: Categorias hierárquicas de precipitação	27
Tabela 8: Categoria hierárquica de fragilidade da Litologia	30
Tabela 9: Classes de declividade	31
Tabela 10: Valores de interpretação do Índice de Kappa.	37
Tabela 11: Características litológicas e atribuição de fragilidade	39
Tabela 12: Grau de fragilidade da dissecação do relevo e sua distribuição territorial na bacia.	42
Tabela 13: Características de relevo e distribuição da declividade da bacia.....	44
Tabela 14: Grau de fragilidade da Pedologia e sua distribuição territorial na bacia.	48
Tabela 15: Grau de fragilidade do uso da terra e a sua distribuição territorial na bacia.	49
Tabela 16: Distribuição da fragilidade potencial no território da bacia.....	53
Tabela 17: Distribuição territorial da fragilidade emergente na bacia.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1 Bacia Hidrográfica e sua importância como unidade de avaliação ambiental.....	16
4.2 Síntese do histórico de ocupação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Escalvado	19
4.3 Utilização dos SIG's para avaliações ambientais	21
4.4 O modelo de fragilidade ambiental.....	22
5. MATERIAIS E MÉTODOS	27
5.1 Materiais	27
5.2 Métodos	28
5.2.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica	29
5.2.2 Litologia	29
5.2.3 Pedologia.....	31
5.2.4 Declividade.....	31
5.2.4 Índice de Dissecação do Relevo.....	32
5.2.5 Classificação do Uso da Terra.....	35
5.2.6 Análise multicritério para o mapeamento de fragilidade	37
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
6.1 Litologia.....	38
6.2 Índice de Dissecação do Relevo	40
6.3 Declividade	44
6.4 Pedologia	47
6.5 Uso da Terra.....	49
6.6 Fragilidade potencial.....	51
6.7 Fragilidade emergente.....	53
7 CONCLUSÕES.....	55
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

Do ponto de vista histórico a estruturação da sociedade no território brasileiro ocorreu de forma desordenada e, conseqüentemente, inúmeros impactos negativos afetaram o meio ambiente. Comumente, observa-se que a conservação dos recursos naturais fica delegada em segundo plano frente aos interesses econômicos, ocasionando conturbações nos sistemas ambientais. A exploração predatória inerente aos sistemas econômicos capitalistas possui destaque no processo de ocupação e ordenamento territorial, acarretando na maioria das vezes, a supressão dos recursos naturais. Dinâmica que também propaga efeitos conflituosos nos aspectos sociais, políticos e econômicos das sociedades contemporâneas.

A análise quantitativa e qualitativa das características físicas-ambientais precisa do vínculo interdisciplinar, portanto, tratar os problemas de forma isolada é negar relações sistêmicas que envolvem o espaço. Nesta linha de raciocínio, Coelho (2018) elucida que para investigar os processos que originam impactos ambientais é necessário problematizar a realidade. Assim, nota-se que a análise dos impactos deve ser investigada sob o olhar dos processos ambientais em conjunto com as questões sociais e políticas. Portanto, pesquisas científicas que objetivam analisar criticamente às relações antrópicas com o ambiente, devem sempre que possível, procurar resignar os acontecimentos de ocupação vinculados aos recortes espaciais estudados.

Nesta perspectiva, Felipe et al. (2016) contextualizam a historicidade conturbada relativa ao avanço populacional no território brasileiro. Para os autores, as ocupações humanas sempre priorizaram a busca por espaços com disponibilidade hídrica para a população. Conseqüentemente, bacias hidrográficas (constituídas por rios, ribeirões, córregos e nascentes) sofreram atos críticos de degradação ambiental no decorrer do tempo, seja por despejo de resíduos sem tratamento, desmatamento das matas nativas, implementação de atividades agropecuárias, ocupação ilegal, entre outros fatores.

Nesta discussão, Lemos Filho et al. (2017) apontam que a busca e extração dos recursos naturais se encontram em uma linha crescente e, em virtude disso, observa-se atualmente a intensificação e agravamento dos processos de degradação ambiental em bacias hidrográficas. Os autores salientam a escassez hídrica, que nas últimas décadas configura-se como realidade, de modo que o avanço da ocupação do solo se consolida de maneira contínua e, a escassez, analisada sob essa perspectiva, pode ser atrelada ao problema de oferta (HOEKSTRA, 1998).

Tamanha procura, entretanto, com o mal gerenciamento das reservas dos mananciais, acaba acarretando déficit hídrico, traduzido em crises e conflitos pelo uso da água.

Fundamentada nestas concepções teóricas, esta pesquisa objetiva classificar, mapear e analisar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão do Escalvado (MG) a partir da proposta metodológica de Ross (2012). Para tanto, utilizar-se-á da sistematização e correlação de variáveis vinculadas à declividade das vertentes, substrato geológico, grau de dissecação do relevo, classes pedológicas e uso da terra com apoio de ferramentas de geoprocessamento em ambiente *Geographic Information System* (GIS) (álgebra de mapas e sobreposição ponderada).

Com base nesta problemática esta pesquisa se justifica, uma vez que o atual estado da área de estudo remete às condições supracitadas nesta introdução e, portanto, cabe a investigação para compreensão das condições físico-naturais da bacia hidrográfica do Ribeirão do Escalvado. Do mesmo modo, justifica-se em razão dos produtos cartográficos desenvolvidos serem capazes de auxiliar possíveis intervenções públicas no gerenciamento da área de estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Classificar, mapear e analisar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão do Escalvado (MG) a partir da proposta metodológica de Ross (2012).

2.2 Objetivos específicos

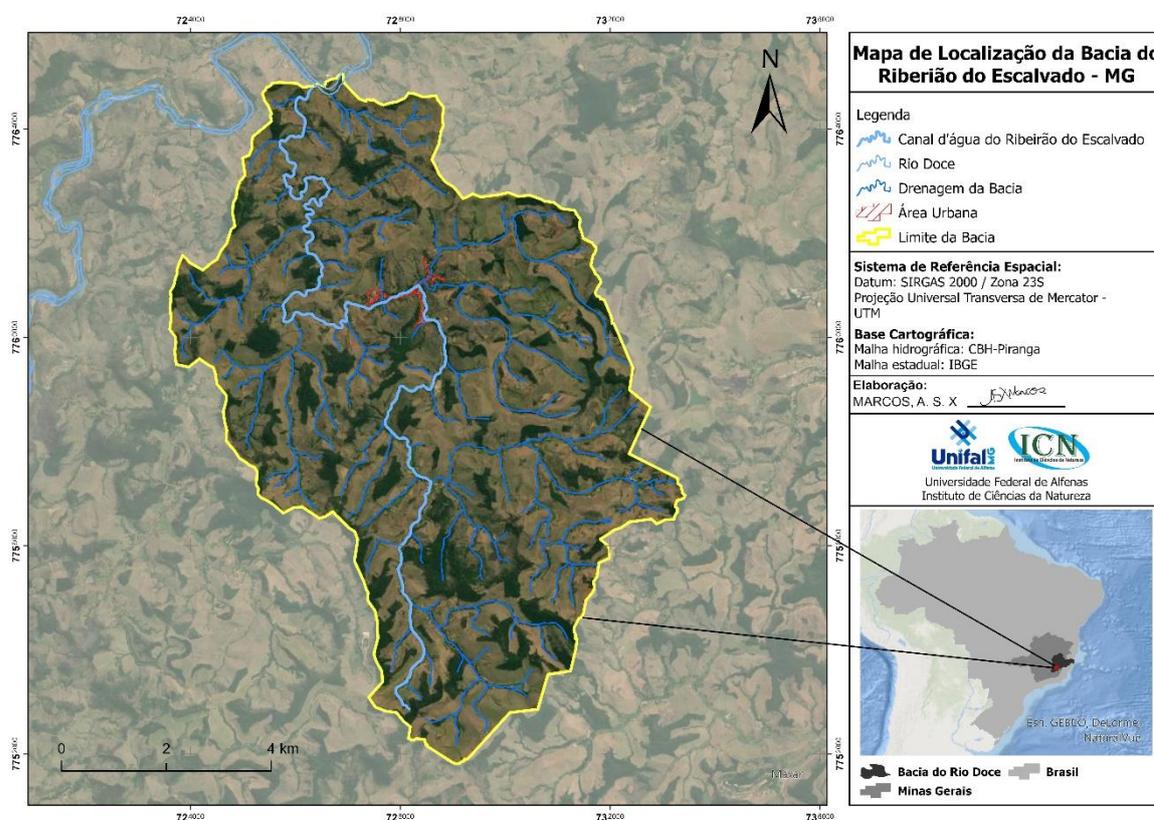
- Caracterizar o sistema ambiental por meio do mapeamento da declividade, hipsometria, drenagem, classes de solo e o substrato geológico da bacia;
- Gerar o índice de dissecação do relevo da bacia;
- Realizar a classificação supervisionada do uso da terra da bacia;
- Realizar a sobreposição ponderada de variáveis ambientais a partir de análise multicritério;
- Identificar e diagnosticar os setores de maior fragilidade ambiental na bacia.

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O objeto de estudo do trabalho é definido como bacia do ribeirão do Escalvado (Figura 1), situada no município de Santa Cruz do Escalvado (MG), limítrofe aos municípios Ponte Nova, Urucânia, Rio Doce, Sem Peixe e Piedade de Ponte Nova, respectivamente, pertencentes a mesorregião da zona da mata mineira.

A bacia do ribeirão do Escalvado caracteriza-se por ser uma sub-bacia do Rio Doce (Figura 1), sendo sua área de 71,11 km² e sua hipsometria apresentando valores entre 300 a 678m acima do mar. Do ponto de vista vegetal a bacia é pertencente ao bioma da mata atlântica e, regionalmente, é composta por florestas ombrófilas e florestas estacionais semidecíduais e decíduais (SOUZA; TOLEDO; FILHO, 2009).

Figura 1: Mapa de localização da bacia do ribeirão do Escalvado



Fonte: Autora, 2021

Ao se tratar do relevo, a região da bacia, sendo ela inserida nas serras e planaltos do leste e sudeste mineiro, apresentam aspectos geomorfológicos com alta ação de processos

morfogenéticos, onde as feições geradas na região condizem com aspectos litológicos e oscilações climáticas mesozóicas e cenozóicas (ACHÃO, 1991).

Limitando-se ao clima da bacia do Rio Doce, Coelho (2009) caracteriza essa variável como tropical úmida de uma grande heterogeneidade climática, fato este predisposto a partir de sua localização, relevos e da relação e encontro de massas de ar do Sistema Tropical Atlântico ocorrido em maior parte do ano e, o Sistema Equatorial Continental, este que ocasiona Linhas de Instabilidade a Tropical com maior frequência no verão, gerando forte chuvas.

Se tratando da ocupação antrópica da bacia, a economia da população que habita a bacia baseia-se na atividade agropecuária, como a produção de culturas temporárias como cana-de-açúcar, mandioca, milho feijão e amendoim, já cultura permanente se dá pelo plantio de bananas (IBGE Cidades, 2020). A pastagem ocorre em detrimento da criação de gado onde há produção de leite para empresas de laticínios de cidades vizinhas, já no comércio prevalece algumas mercearias, lojas de roupas e utilidades, bares e consultórios médicos.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Bacia Hidrográfica e sua importância como unidade de avaliação ambiental

A água, caracterizada como elemento fundamental na dinâmica dos processos morfogenéticos, é o instrumento estrutural de maior importância para compreensão e análise da dinâmica ambiental em determinada localidade. Destaca-se, principalmente, por ser o meio mais eficiente de erosão da superfície terrestre a partir da capacidade de remoção, transporte e deposição de partículas sedimentares dos sistemas ambientais.

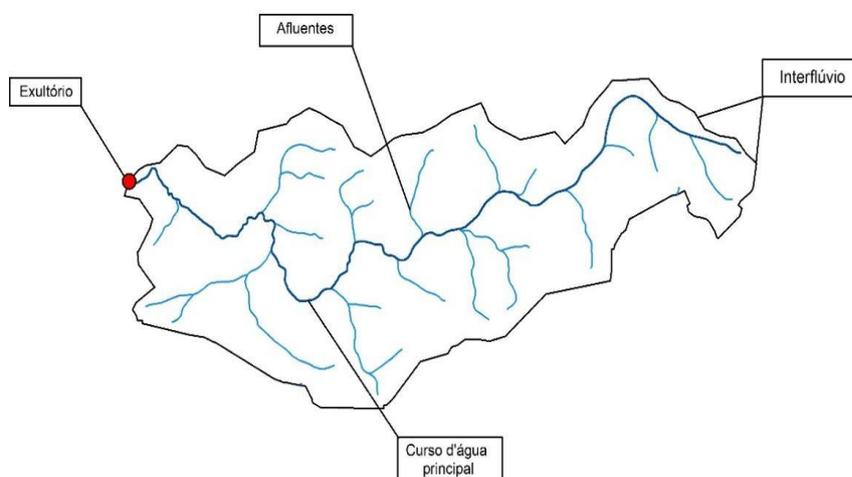
Na Geografia, a discussão dos recursos hídricos descreve uma área de potencial hídrico como uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem. Na prática, a bacia apresenta-se como unidade primordial para o monitoramento e avaliação da quantidade de água presente na superfície terrestre. Isso porque a concepção da bacia como unidade de avaliação configura-se como um meio para investigação de processos que alteram o ciclo hidrológico, uma vez que envolve inúmeros processos de troca mútua de matéria e energia. Dentro desse quadro, Christofolletti (1988) afirma que:

Todos os acontecimentos que ocorrem na bacia de drenagem repercutem, direta ou indiretamente, nos rios. As condições climáticas, a cobertura vegetal e a litologia são fatores que controlam a morfogênese das vertentes e, por sua vez, o tipo de carga detrítica a ser fornecida aos rios. O estudo e a análise dos cursos de água só podem

ser realizados em função da perspectiva global do sistema hidrográfico (CHRISTOFOLETTI, 1988, p.65).

Neste íterim, o conceito de bacia hidrográfica apresentado por Tucci (2004) a classifica como uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída (exutório). Sob a perspectiva da Geomorfologia fluvial, Stevaux e Latrubesse (2017) delimitam a área de uma bacia a partir dos divisores de água, também denominados de interflúvios, caracterizados por serem as áreas mais elevadas da bacia, responsáveis pela captação da água em suas vertentes. Tais divisores também exercem função perante a delimitação de sub-bacias menores, presentes numa principal (Figura 5).

Figura 2: Representação de uma bacia hidrográfica



Fonte: CBH-Piranga. Elaboração: Autora, 2021.

Nesta linha de raciocínio, Teodoro et al. (2007) demonstram como a conceituação de bacia hidrográfica entre diversos autores se correlacionam, principalmente pela notória igualdade em classificá-la como um recorte espacial em detrimento de análises ambientais.

Verifica-se que o conceito de bacia hidrográfica é similar entre diversos autores de outras vertentes científicas, uma vez que também é utilizada como parâmetro de análise/avaliação ambiental. Assim como a Geografia, ciências interdisciplinares buscam por meio deste recorte espacial, compreender a dinâmica sistêmica de determinada área.

Neste contexto, Teodoro et al. (2007) destacam a importância de subsídios morfométricos das bacias aplicada aos estudos que objetivam a distinção de ambientes relativamente homogêneos. Tais análises morfométricas são capazes de evidenciar padrões ou variabilidades físicas que ali podem ocorrer, indicando ao mesmo tempo os processos, vulnerabilidades e fragilidades ambientais da área.

Nessa perspectiva, cabe ressaltar a investigação e a inserção do debate ambiental ao longo dos últimos anos, que cada vez mais vem sendo discutida entre o meio acadêmico/científico. Pesquisadores de diversas áreas buscam analisar os fatores que influenciam o ambiente hídrico, visto que a escassez hídrica e inundações urbanas encontram-se em crescente ocorrência, acarretando inúmeros problemas à sociedade. O fato é que a estrutura urbana mal planejada, presente em quase todo território brasileiro, exerce grande influência agravante frente ao desencadeamento dos processos de degradação ambiental. Devido a intensificação e recorrência dos impactos ambientais atuais, observa-se cada vez mais o desenvolvimento de pesquisas e métodos que objetivam analisar o processo de deterioração dos sistemas ambientais. A preocupação perante a minimização dos impactos antrópicos tornou-se corriqueira no espaço mundial (GUERRA; CUNHA 2000).

Complementando os autores supracitados, Tucci e Bertoni (2003) também traz ao debate a influência antrópica sob a perspectiva de atuação do ciclo hidrológico, envolvendo múltiplos processos/elementos que podem sofrer influência direta da ação humana:

O ciclo hidrológico natural é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Quando o homem entra dentro deste sistema e se concentra no espaço, produz grandes alterações que modificam dramaticamente este ciclo e trazem consigo impactos significativos (muitas vezes de forma irreversível) no próprio homem e na natureza (TUCCI e BERTONI, 2003, p.12).

Neste contexto, torna-se imprescindível ressaltar a importância da Teoria Geral dos Sistemas desenvolvida por Bertalanffy (1977), para teorização dos processos e desenvolvimento de avaliações ambientais por meio da inter-relação entre os elementos físicos/naturais da paisagem. Sotchava (1977) elabora o conceito de “geossistemas” como categoria de análise sistêmica para Geografia Física. Na teoria de Sotchava (1977) o estudo da paisagem não deve se restringir somente à sua morfologia e subcategorias. Para o autor torna-se necessário também a análise de sua estrutura funcional e conexões inerentes.

Diante do cenário exposto e sob a ótica geossistêmica de Sotchava (1977), as numerosas influências antropogênicas impõem modificações nos mais diversos componentes naturais das bacias hidrográficas (substrato rochoso, recursos hídricos, vegetação, solos, relevos e variáveis

climáticas). Deste modo, à medida que o homem se apodera e explora os elementos de determinada unidade da paisagem, cabe a análise integrada em busca dos efeitos postos a tais variáveis. Torna-se válido ressaltar a relevante contribuição de Sotchava (1977) que por meio da teoria geossistêmica, deixa claro a importância da adoção da unidade de bacia hidrográfica para análises que objetivam realizar avaliações ambientais. Constituído-se importante ferramenta para o subsídio do planejamento de desenvolvimento socioeconômico de diversos territórios.

Neste viés, considerando que a ocupação territorial da sociedade se consolidou a partir da expansão e ocupação em áreas adjacentes aos recursos hídricos, exercendo interferências a este meio, se concretiza a necessidade de planejamento e gestão política das águas, sendo uma forma de promover a gestão sustentável das águas de rios e lagos (BRAGA et al., 2005).

Sob à perspectiva legislativa associada à gestão dos recursos hídricos do Brasil, observa-se que as bacias foram enquadradas como unidade de gestão e planejamento territorial a partir lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 que “Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentado no inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989” (BRASIL, 1997).

Assim, legitimado pelo jurídico do Estado brasileiro, afirma-se que as análises quantitativas e qualitativas se inserem de fato, como parâmetros dos estudos hidrológicos. Sendo assim, torna-se necessário investigar ações territoriais físicas-biológicas, sociais, econômicas e políticas das bacias objetivando a mais correta avaliação ambiental, buscando revelar, analisar e prevenir impactos que surgiram em curto e longo prazo, contribuindo assim com a gestão e planejamento ambiental dos recursos hídricos.

4.2 Síntese do histórico de ocupação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Escalvado

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Escalvado (MG) constitui-se como uma sub-bacia do rio Doce (MG), portanto, compartilha uma série de heterogeneidade relativas às paisagens encontradas, as quais vinculam-se com o histórico de ocupação. Na ausência de trabalhos exclusivos sobre a territorialização à bacia do Escalvado, utilizaremos a do rio Doce.

A espacialização da bacia do rio Doce, como visto em totalidade no território brasileiro, partilha da tomada da terra em função dos recursos hídricos e, ademais, ao ciclo do ouro em Minas Gerais. Felipe et al. (2016) afirmam que as ações vinculadas à ordenação territorial

durante o período colonial e século XX, no decorrer da expansão das atividades socioeconômicas, tinham como referência a hidrografia regional, em razão da utilização como meio de navegação e abastecimento humano, exportação e importação de matérias-primas.

Neste ínterim, Strauch (1955) reflete sobre o processo de ocupação da bacia do rio Doce:

orientou-se em dois sentidos diversos em épocas diferentes: do planalto na direção do litoral, sem, contudo, atingi-lo; e desse para o interior. O primeiro corresponde à antiga corrente povoadora, consequência do ciclo minerador, enquanto o último é mais recente (STRAUCH, 1955, p. 45).

Referente à antiga ocupação, a área de estudo, situada na zona da mata mineira, configurava-se como uma comarca de Vila Rica (Figura 3), região minerária ao leste da bacia do Rio Doce. Inicialmente, a ascensão da sociedade neste território foi caracterizada por conflitos entre a coroa e contrabandistas que praticavam roubos durante o ciclo do ouro. Em razão disso, neste período do século XIX, a coroa buscava manter a floresta preservada devido sua grande densidade, com o objetivo de dificultar e minimizar riscos associados ao contrabando e roubos (VALVERDE, 1958).

Figura 3: Comarcas de Minas Gerais, 1821.



Fonte: Adaptado e extraído de “Acervos documentais da Comarca do Rio das Mortes” – UFMG e UFSJ

Porém, essa estratégia perdurou até o declínio das jazidas auríferas, dando espaço à grande produção cafeeira. Novos impostos criados sob essas áreas levaram a coroa, em detrimento do ganho econômico, o afrouxamento da proteção perante a floresta até então

preservada (BLASENHEIM, 1982). Junto ao café, outros meios agropecuários avançaram sobre a região, acarretando o desmatamento de grande parte das matas nativas.

Passando alguns anos de exploração, a decadência das lavouras instituía novas derrubadas, procedimento que inviabilizava a cafeicultura da forma como era conduzida (CORRÊA, 1984). Conforme as lavouras se tornavam improdutivas, novas áreas eram abertas para aproveitamento da qualidade do solo das terras ainda não cultivadas. A grande disponibilidade de terras permitia o avanço de novos plantios, onde a queda, queima e plantio do café se faziam sempre em consórcio com alguma cultura. As terras enfraquecidas pela cafeicultura eram transformadas em pastagem de capim-gordura (RESENDE e RESENDE, 1996).

Hoje, após anos de desmatamento, a região se sustenta pela cultura de cana-de-açúcar, que deu lugar ao café após a crise de 1929 (SOUZA; TOLEDO; FILHO, 2009). Consequentemente, nos tempos atuais essas florestas encontram-se extremamente fragmentadas, devido aos diversos tipos de perturbações, como fogo, agropecuária, retirada seletiva de madeira e a crescente expansão das áreas urbanas.

4.3 Utilização dos SIG's para avaliações ambientais

O constante avanço da humanidade nos sistemas naturais carece de monitoramentos em tempo real dos espaços ocupados, seja para minimizar impactos ou analisar qual área apresenta-se mais suscetível a ocupação. A demanda imediata de resposta se faz necessária a cada dia.

Nesta ótica, as geotecnologias exercem um papel fundamental para investigações e respostas imediatas. As técnicas promovidas pelo Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) permitem a análise das interrelações das variáveis ambientais de modo eficiente e complexo.

Neste sentido, o Geoprocessamento é definido por (FITZ, 2008, p.108) como uma “técnica que utiliza um SIG para realizar levantamentos, análises e cruzamentos de informações georreferenciadas, visando à realização de planejamento, manejo e/ou gerenciamento de um espaço específico”. Nesta linha de raciocínio, Zaidan (2017) destaca que o maior uso de computadores para grandes cálculos introduziu possibilidades satisfatórias e de melhor manuseio para as pesquisas, especialmente para os dados espaciais, o que alavancou o armazenamento e tratamento de dados. O autor ainda destaca que no Brasil, desde a década de

30, os estudos ambientais através de análises conjuntas do ambiente físico, biótico e socioeconômico tem sido registrado pelos mais diversos profissionais.

Em relação às aplicações de Geoprocessamento para análises ambientais, destacam-se mapeamentos temáticos, diagnósticos ambientais, avaliações de impacto ambiental, planejamentos para ordenamentos territoriais e prognósticos ambientais. Aplicações estas que auxiliam principalmente o planejamento territorial, indicando ações e gerenciamentos a serem tomados, evitando conflitos a longo e curto prazo.

A partir desse cenário, as geotecnologias cumprem um papel importante perante os estudos vinculados à fragilidade e vulnerabilidade dos sistemas ambientais, pois são capazes de elaborar produtos cartográficos responsáveis por identificarem pontos de destaque altamente eficientes para a gestão do território, imprescindíveis para a promoção da qualidade ambiental. Cabe salientar que a intensificação da utilização das técnicas de geoprocessamento vem sendo largamente difundida no Brasil, evitando por vezes a ocupação de locais indevidos e auxiliando a resolução de problemas socioambientais (RODRIGUES et al., 2001).

4.4 O modelo de fragilidade ambiental

A modelagem de fragilidade e vulnerabilidade ambiental, no contexto atual, é contemplada por dois métodos. Inicialmente, Ross (1994) propõe o método de “*análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados*” e, posteriormente em 2012, o autor publica uma nova versão do método, intitulada “*landforms and environmental planning: potentialities and fragilities*”. Em relação a vulnerabilidade ambiental destaca-se o método idealizado por Crepani et al. (2001), a partir da publicação intitulada “*sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*”.

Ambos os métodos propostos pelos autores se baseiam na publicação de *Ecodinâmica* de Tricart (1977). O conceito preconizado por Tricart (1977) aborda o equilíbrio dos ambientes. Para o autor, quando o ambiente se encontra em equilíbrio dinâmico são estáveis e, quando em desequilíbrios são instáveis. Neste sentido, Tricart (1977) condiciona o estado do ambiente a partir das influências antrópicas, havendo necessidade da análise geral do espaço para entender às interferências e comportamentos inerentes aos ecossistemas. Segundo o autor, os seres humanos participam ativamente dos ecossistemas onde vivem, gerando modificações nas paisagens e, conseqüentemente, afetando seu estado natural:

A ótica dinâmica impõe-se em matéria de organização do espaço. Com efeito, esta não consiste na intervenção em um meio inerte, que leva em consideração dados imutáveis [...]. A ação humana é exercida em uma natureza mutante, que evolui segundo leis próprias [...]. Não podemos nos limitar à descrição fisiocrática, do mesmo modo que o médico não pode contentar com a anatomia. Estudar a organização do espaço é determinar como uma ação se insere na dinâmica natural, para corrigir certos aspectos desfavoráveis e para facilitar a exploração dos recursos ecológicos que o meio oferece. (TRICART, 1977, p.35).

Ross (1994), ao utilizar-se das ideias de Tricart (1977), esclarece que a fragilidade natural dos ambientes pode ser menor ou maior face às intervenções humanas. Seguindo as aceções do autor, certos ambientes se encontram em equilíbrio dinâmico até o momento de ações antrópicas sob a área.

Nas últimas décadas o aumento exponencial da exploração dos recursos naturais correlaciona-se à progressão tecnológica e humana. Tal fenômeno evolutivo gerou inúmeras mudanças globais, Santos (1997) data esses acontecimentos a partir da Revolução Industrial, para o autor, o espaço habitado se tornou um meio geográfico completamente diverso do que fora na aurora dos tempos históricos. As questões geradas após esse marco no tempo foram agravadas diante do aumento demográfico, uma vez que a busca por dominação e progresso geraram situações críticas ao meio natural devido à necessidade exploratória cada vez maior.

Com base nestas premissas, Ross (1994), através da elucidação sobre as práticas predatórias e nocivas ao ambiente, busca analisar às fragilidades naturais dos ambientes com o objetivo de auxiliar o planejamento físico territorial, no intuito de minimizar impactos em curto e longo prazo. Impactos esses que não só podem ser sentidos pelo ambiente natural, mas também ao meio econômico-social.

Na metodologia atual, Ross (2012) busca aplicar em classes, graus potenciais de instabilidade. As classes/variáveis em que o autor se utiliza para geração da fragilidade são: declividade, uso da terra, classes de solo, dissecação do relevo, formas das encostas e precipitação. Cada uma destas variáveis foram subdivididas em 5 classes, objetivando estabelecer critérios quantitativos e qualitativos associados a maior ou menor fragilidade (muito fraco, fraco, médio, forte e muito forte).

Para obtenção da variável declividade (Tabela 1), o autor sugere a utilização de escalas menores (maior grau de detalhamento) de mapeamento como 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000 e 1:2.000. Tal variável, além de oferecer auxílio para avaliação de fragilidade, oferece indicadores de erosão, áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações (ROSS, 2012).

Tabela 1. Classes hierárquicas de declividade

Hierarquia	Valores de declividade
Muito fraco	0% a 2% ou 1°
Fraco	3% a 15% ou 8°
Médio	16% a 30% ou 17°
Forte	31% a 50% ou 25°
Muito forte	50% ou acima de 25°

Fonte: Adaptado e traduzido de Ross (2012, p. 46).

A variável vinculada às formas de relevo (Tabela 2), pode indicar a ocorrência de dinâmicas históricas e atuais associadas às múltiplas interferências submetidas aos demais componentes do estrato geográfico (ROSS, 2019). Entender a gênese das formas de relevo pode evidenciar fragilidades ou anomalias capazes de auxiliar direcionamentos estratégicos para conservação do ambiente natural. Para o mapeamento desta variável, Ross (2012) também sugere a utilização de escalas grandes como 1: 5.000, 1: 10.000, 1: 20.000, mas também indica a possibilidade de mapeamento a partir de média escalas (1:50.000).

Tabela 2: Classes hierárquicas das formas de relevo

Hierarquia	Formas do relevo
Muito fraco	Topos planos de colinas, terraços e colinas residuais
Fraco	Topos convexos de colinas e montanhas
Médio	Encostas convexas de colinas e montanhas
Forte	Encostas retilíneas de colinas e montanhas
Muito Forte	Encostas côncavas na drenagem de cabeceira

Fonte: Adaptado e traduzido de Ross (2012, p. 46).

Para a análise morfométrica do relevo (Tabelas 3 e 4), Ross (2012 p. 46,) utiliza-se da “relação de drenagem densidade/dimensão média interfluvial para dissecção no plano horizontal e em graus de entalhe os canais de drenagem para dissecção no plano vertical”. Simplificando, é a métrica entre interflúvios e a dissecção/rugosidade dos vales. Em relação a escala de mapeamento, o autor sugere a utilização de escalas médias e grandes (1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000). Tal variável também pode ser utilizada para compreensão da atuação dos processos morfogenéticos (GUIMARÃES et al., 2017).

Tabela 3: Matriz dos índices de dissecação do relevo

Graus de entalhamento dos vales (classes)	Muito baixa 3750m	Baixa 1750 a 3750m	Média 750 a 1750m	Alta 250 a 750m	Muito alta <250m
Muito fraco (<20m)	11	12	13	14	15
Fraco (20 a 40m)	21	22	23	24	25
Médio (40 a 80m)	31	32	33	34	35
Forte (80 a 160m)	41	42	43	44	45
Muito forte (>160m)	51	52	53	54	55

Fonte: Adaptado de Ross (2012, p. 47).

Complementando a tabela acima, as matrizes morfométricas (Tabela 4) na análise de fragilidade têm seus resultados para demonstrar padrões de drenagem e grau de entalhamento do relevo, como exposto Crepani et al. (p. 73, 2001) “a intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha”, ou seja, a proposta dessa classificação morfométrica auxilia na caracterização do compartimento geomorfológico, onde possa vir evidenciar além de vulnerabilidades, processos erosivos e dinâmica morfogenética da área.

Tabela 4: Categorias hierárquicas da morfometria

Hierarquia	Categorias morfométricas
Muito fraco	da matriz 11
Fraco	da matriz 21,22,12
Médio	da matriz 31,32,33,13,23
Forte	da matriz 41,42,43,44,14,24,34
Muito forte	da matriz 51,52,53,54,55,15,25,35,45

Fonte: Adaptado de Ross (2012, p. 47).

Para a avaliação da fragilidade das classes de solos, Ross (2012) leva em consideração a análise de suas características texturais, estruturais, plasticidades, nível de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes pedológicos. Tais características são constantemente modificadas pela dinâmica do clima, geologia, relevo e fatores químico-físicos pedogenéticos inerentes a atuação da pedogênese no solo (Tabela 5).

Tabela 5: Classes hierárquicas de pedologia

Hierarquia	Categorias pedológicas
Muito fraco	Terras profundas, bem drenadas, latossolos arenosos e argilosos porosos
Fraco	Solos profundos, solos bem drenados, oxissolos arenosos de textura média
Médio	Solos moderadamente profundos, textura média, argiloso, ultissolos, nitossolos
Forte	Solo raso com horizonte B muito espesso, cambissolos de transição acentuada
Muito forte	Solos orgânicos, com alto hidromorfismo Gleissolos e espodossolos tiomórficos

Fonte: Adaptado de Ross (2012, p. 48).

Ross (2012), vincula-se ao uso da terra (Tabela 6), caracterizada pelo autor como uma das variáveis de maior peso e capacidade de interferência sob a perspectiva de fragilidade. O mapeamento dessa variável deve ser realizado com o auxílio de imagens de satélite, a partir de classificação metodológica supervisionada ou não-supervisionada. O mapeamento e análise das classes de uso da terra pode oferecer indicadores importantes relativos ao desmatamento, hidrografia, estruturas urbanas, áreas de conflitos em APP's, entre outros fatores.

Tabela 6. Categorias hierárquicas do uso solo

Hierarquia	Categorias do uso da terra
Muito fraco	Muito alta proteção de solos, florestas primárias e secundárias com um alto estágio de regeneração
Fraco	Alta proteção de solos, densa savana florestal, silvicultura com cobertura herbácea
Média	Proteção média dos solos de culturas de ciclo longo com curvar e terraceamento para forragem entre ruas de café, citros, mamão, silvicultura, pasto de baixo pisoteio de gado
Forte	Fraca proteção de solos de culturas de ciclo longo sem forragem entre ruas e de ciclo curto com terraços e em curvas
Muito forte	Proteção do solo muito fraca, terra desmatada com práticas de queimadas, solos expostos para cultivo e terraplanagem, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas

Fonte: Adaptado de Ross (p. 49, 2012).

A precipitação caracteriza-se como um importante fator a ser observando quando relacionada a fragilidade ambiental de uma área. De acordo com a quantidade de precipitação de uma região, os processos morfogênicos podem ser ainda maiores, principalmente a processos erosivos e, indicadores de anomalias climáticas que podem estar ligadas ao processo de

desmatamento da área, devido a interferência sob o ciclo hidrológico. Esta variável (Tabela 7), segundo a proposta por Ross (2012), se hierarquiza da seguinte maneira:

Tabela 7: Categorias hierárquicas de precipitação

Hierarquia	Categorias de Precipitação
Muito fraco	Situação com distribuição regular de chuvas ao longo do ano, com volumes anuais, não muito acima de 1000 mm / ano
Fraco	Situação com distribuição regular de chuvas ao longo do ano, com volumes anuais não muito mais que 2.000 mm / ano
Média	Situação com precipitação anual distribuída de forma desigual, com períodos de seca entre 2 e 3 mesmo inverno; no verão com maiores intensidades de dezembro a março, com volumes de 1300 a 1600 mm / ano
Forte	Situação com distribuição anual de chuvas desigualmente, com período de seca, entre 3 e 6 meses, e forte concentração de chuvas no verão entre novembro e abril, quando há 70% a 80% do total de chuvas, com volumes de 1600 a 1800 mm / ano
Muito forte	Situação com distribuição regular de chuvas, ou não, durante todo o ano, com volumes superiores a 2500 mm / ano, ou mesmo comportamentos irregulares de precipitação ao longo do ano, com episódios de alta intensidade de chuva e volumes anuais fracos geralmente abaixo de 900

Fonte: Adaptado de Ross (2012, p. 49).

A análise de fragilidade ambiental realizada a partir da correlação entre essas variáveis proporcionam o melhor reconhecimento dos eventos que podem estar interferindo no ambiente. Assim, cada variável possui um peso a ser considerado mais ou menos frágil, dependendo das características físicas da área, a qual pode apresentar vulnerabilidade à interferência antrópica e, conseqüentemente, perder seu equilíbrio.

O cruzamento dessas variáveis se realiza pela AHP (*Analytic Hierarchy Process*), no português refere-se à análise multicritério. A metodologia consiste em um conjunto de procedimentos indicadores para tomada de decisão. As escolhas das variáveis e sua hierarquização a serem cruzadas devem-se equiparar à genética da área, assim, escolhendo as melhores alternativas para solucionar tal adversidade com diferentes critérios, pesos e pontos de vista (JANNUZZI, MIRANDA, SILVA, 2009). Assim a fim de prevenir degradação atuais ou futuras, com o fim, de auxiliar no planejamento/zonamento ecológico-econômico e na preservação dos ambientes naturais.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Foram utilizados para o trabalho as seguintes bases cartográficas:

- Imagens de radar provenientes da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros, disponibilizado da base de dados da United States Geological Survey (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>);
- Imagens de satélite Sentinel-2 (bandas 8, 4, 3, 2 e 1), datadas do dia 11/08/2021 com resolução espacial de 10m, disponibilizadas pelo *plugin “Living Atlas”* do ArcGis Pro 2.8.1;
- *Shapefile* da Geologia (escala 1:1.000.000), disponibilizadas na base de dados conjunta da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemig) e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>);
- *Shapefile* da Hidrografia (escala 1:50.000), disponibilizado pela Consórcio de Bacia Hidrográfica do Piranga (CBH-Piranga);
- *Shapefile* das classes de solos (escala 1:5.000.000), disponibilizado na base de dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006) ([Mapa de solos do Brasil — geoinfo.cnps.embrapa.br](http://Mapa%20de%20solos%20do%20Brasil%20-%20geoinfo.cnps.embrapa.br));
- *Software* ArcGis Pro 2.8.1 distribuído pela empresa Esri e *Software* QGis 3.16.9;

5.2 Métodos

A metodologia selecionada para obtenção dos índices de fragilidade potencial e emergente baseou-se na publicação de Ross (1994, 2012), que utiliza como variáveis a declividade, dissecação do relevo, pedologia, precipitação, litologia e uso e ocupação da terra. Como supracitado, o grau de fragilidade para cada classe das variáveis varia entre muito fraco, fraco, médio, forte e muito forte.

Para o presente estudo, ocorrerá três adaptações: 1) a variável de precipitação não será inserida no cruzamento de dados, uma vez que ao longo da bacia não há nenhuma alteração significativa; 2) a declividade foi classificada a partir da metodologia proposta pela EMBRAPA (2006); 3) as classes de fragilidade de litologia foram adaptadas a partir da proposta de Crepani et al. (2001).

Para realização do cruzamento de dados das variáveis foi utilizado o método de *Analytic Hierarchy Process* (AHP), feito por meio do *software ArcPro 2.8.1*. Os tópicos seguintes elucidam os procedimentos metodológicos adotados para a obtenção de cada variável utilizada para o cálculo do índice de fragilidade ambiental.

5.2.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica

A área de estudo foi delimitada no *software ArcPro 2.8.1* por meio do modelo digital de elevação (MDE), derivado de imagens de radar com resolução espacial de 30 metros, provenientes da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Para tanto, utilizou-se as ferramentas/opções de delimitação da bacia encontradas na seleção das janelas *Analysis – Tools – Geoprocessing*. Assim sendo, a sequência de comandos adotada consistiu em *Fill > Flow Direction > Basin*. Tais processamentos objetivam, respectivamente, corrigir as imperfeições do MDE, direcionar o escoamento hídrico e delimitar as bacias hidrográficas presentes no MDE. As camadas únicas criadas por cada desses três comandos foram adicionadas na opção subsequente.

Nesse sentido, após finalizar o processamento de dados descrito no parágrafo anterior, converteu-se a camada raster recém-obtida para o formato vetorial poligonal, objetivando a atribuição de dados. Este processamento foi obtido utilizando a sequência de ferramentas e comandos *Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon*. Gerado os polígonos, selecionou-se a bacia de interesse e exportou-se a camada de arquivo *shapefile*.

Por fim, foi atribuído o sistema de coordenadas vinculado à de estudo, o SIRGAS 2000 zona 23S. A partir da definição da área, iniciou-se o processo de atribuição e criação de dados das variáveis utilizadas para desenvolvimento do índice de fragilidade ambiental.

5.2.2 Litologia

Para caracterização dos litotipos da bacia, foram utilizados dados disponibilizados pelo projeto Portal da Geologia (<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>), com escala 1:1.000.000 (CPRM; CODEMIG, 2014). Salienta-se que nesta base de dados foi realizada uma modificação, vinculada à adição de outro componente litológico (Granulito Pedra Dourada) identificado por Brandalise (1991) e mapeado por esta pesquisa. A litologia não está presente no dado disponibilizado pela CODEMIG e CPRM em razão da escala de menor detalhe de mapeamento (1:1.000.000).

Assim, foi realizado o *download* dos dados vetoriais associados aos litotipos e posteriormente utilizou-se a ferramenta *clip* para proceder o recorte dos dados *shapefile* de geologia sob a área da bacia. Feito o recorte, os dados centralizados sob o local de interesse

foram classificados através de determinadas simbologias e rotulados de forma a exibir nitidamente as litologias da bacia do ribeirão do Escalvado.

Posteriormente, para a classificação de fragilidade de cada litotipo usou-se a escala de vulnerabilidade proposta por Crepani et al. (2001), onde correlacionou-se com a hierarquia proposta por Ross (2012) (Tabela 8). Salienta-se que a metodologia de classificação proposta por Crepani et al. (2001) não envolve variações de gnaisses que estão presentes na bacia do Ribeirão do Escalvado, portanto, foi-se necessário adaptações.

A primeira corresponde ao ortognaisse e ao granulito pedra dourada, sendo classificados com peso 1 (muito fraca), devido a sua composição mineralógica oferecer maior resistência ao intemperismo. Enquanto os Paragnaisses foram classificados com peso 2 (fraca) em razão de possuírem intercalações ricas cálcio, vulneráveis à dissolução química a partir do contato com a água. As áreas onde esse litotipo se espacializa apresenta relevos mais dissecados e declivosos.

Tabela 8: Categoria hierárquica de fragilidade da Litologia

Litotipos	Vulnerabilidade Crepani et al. (2001)	Fragilidade (Ross 2012)
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	1
Riólito, granito, dacito	1,1	1
Granodiorito, quartzo diorito, granulitos	1,2	1
Migmatitos, gnaisses	1,3	1
Fonólito, nefelina, sienito, traquito	1,4	2
Andesito, diorito, basalto	1,5	2
Anortosito, gabro, peridorito	1,6	2
Milonitos, quartzo, muscovita, biotita, clorita xisto	1,7	2
Piroxenito, anfíbolito, kimberlito, dunito	1,8	3
Hornblenda, tremolita, actinolita xisto	1,9	3
Estaurolita xitos, xisto granotíferos	2,0	3
Filito, metassiltico	2,1	3
Ardósia, metargilito	2,2	3
Mármore	2,3	4
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4	4
Conglomerados, subgrauvacas	2,5	4
Grauvacas, arcózios	2,6	4
Siltitos, argilitos	2,7	5
Folhetos	2,8	5
Calcários, dolomitos, margas, evaporitos	2,9	5
Sedimentos inconsolidados: aluviões, colúvios, etc	3,0	5

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

Na proposta de Crepani et al. (2001) os autores salientam que em casos como estes (dissecação intensa e interflúvios menores), deve-se atribuir graus maiores de vulnerabilidade ao litotipo, uma vez que a capacidade de erosão através do *runoff* das águas pluviais será maior.

5.2.3 Pedologia

Para o desenvolvimento do mapa das classes pedológicas da bacia, foi utilizado a base de dados disponibilizada pelo mapeamento realizado pela EMBRAPA (2006) com escala 1:5.000.000 (http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_solos_5m_20201104).

O procedimento de recorte dos dados seguiu o mesmo método descrito na seção da litologia, com posterior seleção de simbologia adequada aos tipos de solos presentes na bacia.

5.2.4 Declividade

Para obtenção das classes de declividade utilizou-se MDE gerado a partir de imagens de radar STRM obtidas na plataforma de dados da USGS. O processamento deste arquivo raster no ArcPro 2.8.1 foi realizado utilizando-se as ferramentas do *3D Analyst*, sendo o comando “*slope*” realizador do cálculo de declividade. A unidade de medida que a ferramenta disponibiliza para configuração das classes consiste na opção de graus ou porcentagem. No caso deste estudo, a opção escolhida foi a segunda, condizendo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (2006), a qual esta pesquisa se baseia (Tabela 9).

Tabela 9: Classes de declividade

Classes de relevo	Intervalo da declividade	Fragilidade
Plano	0 – 3%	(1) Muito Fraca
Suavemente ondulado	3 – 8%	(2) Fraca
Ondulado	8 – 20%	(3) Média
Fortemente ondulado	20 – 45%	(4) Forte
Montanhoso	45 – 75%	(5) Muito forte
Escarpado	> 75%	(5) Muito forte

Fonte: EMBRAPA (2006).

A reclassificação dos dados gerados pelo “*slope*” foi realizada por meio do comando “*reclassify*”, onde atribuiu-se a seis classes acima evidenciadas pela tabela 9, modificando assim as 11 classes que o comando gerou automaticamente. A reclassificação adicionou cada intervalo a uma determinada paleta de cor gradiente, pontos de menor declive foram

representados pelo tom verde, os pontos médios pela cor amarela, enquanto os maiores valores por laranja e vermelho.

5.2.4 Índice de Dissecação do Relevo

A elaboração do índice de dissecação do relevo foi produzida a partir da metodologia de Guimarães et al. (2017). Estes autores, a partir de uma revisão do método de Ross (1994, 2012), publicam uma proposta de automatização do índice de dissecação do relevo, utilizando-se de MDE's para a caracterização morfométrica do relevo. Segundo Guimarães et al. (2017, p. 158) “o procedimento de criação do índice é feito a partir de 4 principais etapas: tratamento e preparação do MDE; mapeamento do grau de entalhamento dos vales; mapeamento da dimensão interfluvial média e cálculo dos valores de dissecação do relevo [...]”.

Com relação à primeira etapa, vinculada ao tratamento do MDE, indicado pelos autores, foi necessário aplicar uma margem de segurança da área a partir de um raio de 2 km, procedimento realizado a partir da ferramenta “*buffer*”. Posteriormente, objetivando realizar correções topográficas em vista de prevenir conflitos de fluxos da drenagem do arquivo, utilizou-se o comando “*fill*” no MDE.

Quanto a segunda etapa, associada à determinação do grau de entalhamento do relevo, foram calculadas as diferenças altimétricas entre as superfícies de referência e o valor de cada pixel. No caso, as superfícies de referências utilizadas consistiram nos setores com maiores e menores elevações de distintas partes da bacia. Assim, a determinação do grau de entalhamento, ocorreu por meio da relação altimétrica entre o pixel de referência que está abaixo (fundo de vale/incisão fluvial) com o pixel de referência do pico mais alto do mesmo morro e/ou vertente (interflúvios). Deste modo, por meio do cálculo da amplitude altimétrica, os valores correlacionados ao grau de entalhamento do relevo da bacia foram obtidos (GUIMARÃES et al., 2017).

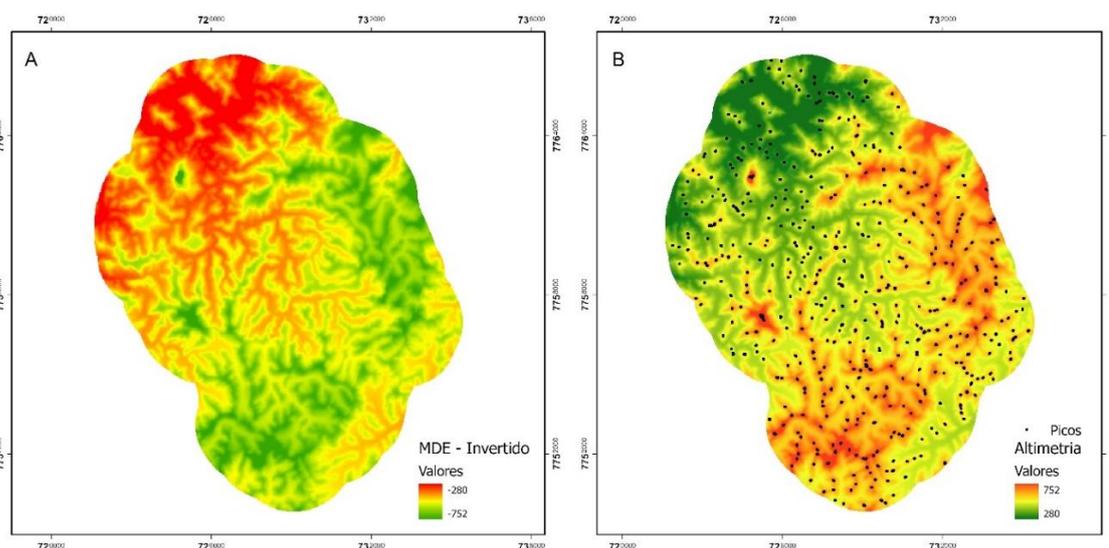
Na prática, isso ocorreu por meio da “inversão” do MDE a partir da camada gerada pelo “*fill*”. Para tanto, utilizou-se a ferramenta “*raster calculator*”, multiplicando-se o MDE por -1. O resultado gerado (Figura 4A) é um novo *raster* de valores negativos com picos altimétricos invertidos. Nesse sentido, as cotas altimétricas mais rebaixadas foram representadas por tons avermelhados enquanto as maiores elevações por tons esverdeados.

Posteriormente, identificou-se a direção em que a drenagem segue, para isso utilizou-se a ferramenta “*flow direction*” e, a partir dessa camada, para identificação das depressões (picos

invertidos) aplicou-se a função “*sink*”. O raster gerado (Figura 4B) por esta função espacializou pontos vinculados aos picos elevados. Posteriormente, converteu-se essa camada gerada em um *shapefile* de pontos por meio do comando “*raster to point*”. A figura 4 evidencia o buffer da bacia com a resultante do MDE invertido e os picos altimétricos gerados pelo “*sink*” no MDE. Nota-se pouco picos no setor norte da bacia (exutório) em razão de constituir área de menores elevações, com oposição ao setor sul, onde situam-se as maiores elevações correlacionadas às cabeceiras de drenagem.

Após proceder à conversão da camada gerada pelo “*sink*”, foram atribuídas cotas aos pontos, para isso utilizou-se o comando “*add surface information*”, com posterior conversão da camada homônima para raster. Destaca-se que para caracterizar as regiões onde os picos foram alocados, utilizou-se a função “*basin*” a partir do raster de direções dos fluxos de drenagem obtidos pelo MDE invertido. O resultado gerado por meio desse comando foi transformado, novamente, em polígono, para atribuição máxima dos valores altimétricos das superfícies de referências. Para tanto, utilizou-se da função “*zonal statistics*”.

Figura 4: (A) MDE invertido; (B) Picos elevados sob o MDE Altimétrico



Fonte: Autora, 2021.

Por fim, a geração dos valores de entalhamento foi definida por meio do método de álgebra de mapas, utilizando-se no cálculo o MDE altimétrico corrigido pelo “*fill*” e o *raster* com os valores de superfície atribuídos. Deste modo, utilizando-se o “*raster calculator*” foi realizada a subtração entre as duas camadas, revelando assim os valores grau de entalhamento do relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão do Escalvado.

Na terceira etapa, referente à determinação da dimensão interfluvial da área, apresentou-se necessário delimitar todas as sub-bacias, uma vez que o cálculo da dimensão é realizado pela distância média euclidiana entre os divisores d'água.

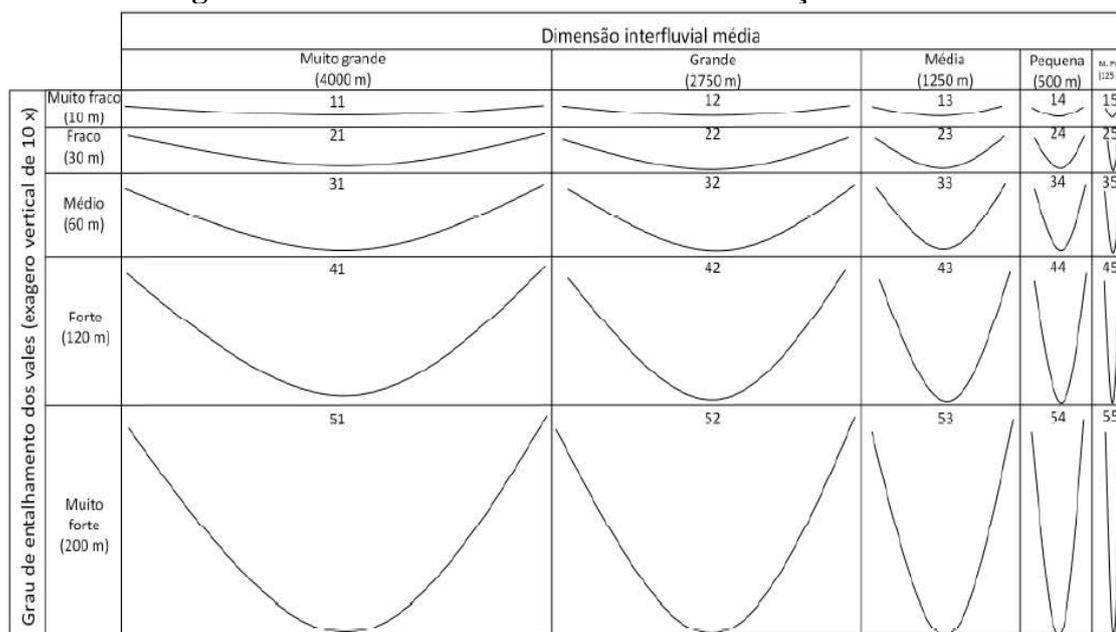
Assim, a princípio, calculou-se a direção de fluxo sob o MDE original corrigido e, em seguida, aplicou-se o comando “*flow accumulation*” para gerar a acumulação dos fluxos hídricos superficiais. A partir da camada gerada pelo “*flow accumulation*” foram delimitadas as sub-bacias do Ribeirão Escalvado utilizando-se a função “*r.watershed*” e “*half-basins*” no *software* QGis 3.16.9. (valor igual a 300). Por fim, converteu-se a camada raster em vetor poligonal, transformando-o em seguida em *shape* de linha.

Após a delimitação das sub-bacias no QGis 3.16.9, voltou-se ao *software* ArcPro 2.8.1 para a continuação da metodologia proposta por Guimarães et al. (2017). O próximo passo consistiu em adicionar aos limites das sub-bacias, representados por linhas, valores da distância euclidiana entre elas. Para isso foi utilizada a função “*euclidean distance*”, transformando os valores em números inteiros a partir função “*int*” do “*raster calculator*”.

Deste modo, para encontrar as maiores distância entre os interflúvios, inverteu-se a camada da distância multiplicando-a por -1. O resultado da operação seguiu para determinação da direção de fluxo e novamente aplicou-se o comando “*sink*”. O produto resultante deste processamento foi convertido em vetor do tipo ponto. Os pontos gerados referem-se ao centro das sub-bacias, pelos quais pôde-se calcular os “raios” de distância inerentes, por meio da função “*add surface information*”. Por fim, transformou-se a distância interfluvial média em diâmetro a partir da multiplicação da última camada gerada por 2 e, para adicionar os valores finais da dimensão interfluvial média, utilizou-se o comando “*zonal statistics*”.

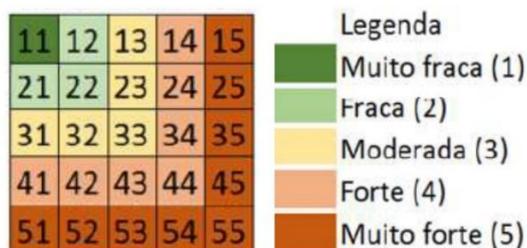
Na quarta e última etapa, referente a determinação do índice de dissecação do relevo, foi realizado cálculo responsável por correlacionar os valores do grau de entalhamento com os valores obtidos pela análise da dimensão interfluvial média. Para o entalhamento, considerou-se um exagero vertical de 10 vezes, conforme estabelecido por Guimarães et al. (2017).

Seguindo estes procedimentos, o grau de entalhamento foi reclassificado em: 0 a 20 m (10); 20 a 40 m (20); 40 a 80 m (30); 80 a 160 m (40); > 160 m (50). Enquanto para a dimensão fluvial média procedeu-se a reclassificação da seguinte forma: 0 a 250 m (5); 250 a 750 m (4); 750 a 1750 m (3); 1750 a 3750 m (2); > 3750 m (1). A figura 5 evidencia os detalhes da reclassificação com base no perfil de dissecação (Figura 5).

Figura 5: Perfis dos vales da matriz de dissecação do relevo

Fonte: Guimarães et al. (2017).

Por fim, ao gerar o produto cartográfico que representa o índice de dissecação do relevo, seguiu-se representação das classes conforme proposta por Ross (2012) (Figura 6).

Figura 6: Fragilidade de dissecação do relevo

Fonte: Guimarães et al. (2017).

5.2.5 Classificação do uso da terra

O mapa de uso da terra da bacia foi elaborado por meio do método de classificação supervisionada, que condiz à coleta de amostras previamente reconhecidas sob a imagem de satélite, com posterior processamento de dados realizados de acordo com o algoritmo optado pelo idealizador (PEREIRA et al., 2011).

Dentro da classificação supervisionada existem alguns métodos de processamento destas amostras, sendo a escolhida para o trabalho a de Máxima Verossimilhança. Esta se destaca como o método mais utilizado em imagens de sensores remotos, em que, seu algoritmo

distribui e classifica classes com composição espectral que possuem valores semelhantes (RIBEIRO; BAPTISTA; BIAS, 2007).

Definido o método, a obtenção das imagens de satélite Sentinel-2A foi por meio do *plugin “Living Atlas”* do ArcGis Pro 2.8.1. O Sentinel-2A na verdade faz parte de um conjunto de outros satélites de mesmo nome, sendo eles um projeto criado pela Agência Espacial Europeia (ESA). A missão criada para o lançamento de tais foi nomeada de *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES). Os objetivos das imagens feitas pelo Sentinel era justamente monitorar o uso e ocupação da terra e, além disso, clima, os ambientes marinhos e os desastres naturais.

O referido satélite porta uma câmera multiespectral de resolução de 10 m e, ainda possui 12 bandas espectrais. No caso, para o mapeamento de uso da terra a composição escolhida foi a falsa cor, as bandas necessárias para isso foram a 8 (NIR – Infravermelho próximo), 4 (Vermelha) e a 3 (Verde). Em respeito a data das imagens, ambas foram feitas no dia 11/08/2021.

Quanto as classes de uso da terra escolhidas, que foram seis ao total, salienta-se aqui que três delas foram feitas através da classificação supervisionada, sendo elas: solo exposto, pastagem e vegetação. No método de classificação, utilizou-se o algoritmo de máxima verossimilhança para atribuir informações aos pixels, procedimento realizado por meio da ferramenta *“imagen analysis”* do ArcPro 2.8.1. Enquanto para determinação das outras três classes (mancha urbana, agricultura e corpos d’água), optou-se o método de vetorizá-las manualmente, devido ao conflito e confusão de classificação entre os *pixels*, uma vez que as áreas eram muito pequenas e o *software* apresentou erros durante a distinção. Com a imagem classificada e as classes vetorizadas, converteu-se a imagem do uso da terra em polígono para anexar os vetores à sua tabela e assim unificar as informações.

Afim de verificar a acurácia do uso da terra foi feito o índice de kappa, sendo este necessário a análise entre referências e mapeamentos produzidos, o resultado da exatidão do mapeamento é estabelecido por matrizes de confusão ou matrizes de erro, em que se é calculado o índice (RODRIGUES; ROCHA; FILHO, 2007).

As referências supracitadas se desrespeitam a pontos gerados através da função *“Create Accuracy Assessment Points”* na camada *raster* do uso da terra. No total foram gerados 136 pontos que foram analisados e comparados manualmente com apoio da imagem de cor natural do Sentinel-2A (11/08/2021), assim, verificando se ali o ponto corresponde a classes mapeadas. Feito a comparação, gerou-se a matriz de confusão e calculou-se o índice de kappa através da

função “*Compute Confusion Matrix*”. A interpretação dos valores a fim de verificar a acurácia foi feita através da proposta de Landis e Koch (1977), sendo ela detalhada na Tabela 10.

Tabela 10: Valores de interpretação do Índice de Kappa.

Índice de Kappa	Classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

5.2.6 Análise multicritério para o mapeamento de fragilidade

Para geração de mapas fragilidade e/ou quaisquer análises sob problemas em que envolvam múltiplas variáveis, necessita-se de da definição de critérios para tomadas de decisões. O estudo de fragilidade do ambiente depende da avaliação de cada característica que venha compor seu estado, por exemplo, caso uma rocha venha ou não sofrer mais intemperismo o seu valor sob a análise de fragilidade tende ser menor ou maior. O mesmo se aplica para as classes pedológicas (susceptibilidade a erosão), classes de declividade (acumulação de fluxos hídricos concentrados) entre outras variáveis que se venha a se utilizar, onde será atribuído um peso de interferência de acordo com sua influência no ambiente.

Neste íterim, a técnica de “balança” em que se investiga problemas como o citado, é realizada pelo método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), preconizado por Saaty (1988). A AHP, portanto, consiste em uma relação matemática das informações do objeto de análise, onde as variáveis utilizadas são organizadas hierarquicamente e comparadas entre si, gerando assim, resultados que evidenciam conflitos e associações entre os elementos estudados (SILVA; BELDERRAIN, 2005).

Nesse sentido, para elaboração dos mapas de fragilidade potencial e emergente da bacia hidrográfica do Ribeirão do Escalvado a partir do método AHP, foi utilizada a função “*weighted overlay*” no ArcPro 2.8.1, atribuindo pesos para cada variável no intervalo de 0 a 100.

Neste contexto, para a determinação da fragilidade potencial considerou-se apenas a características físicas-naturais da bacia, sendo: declividade (peso 30), dissecação do relevo (peso 30), classes de solo (peso 20) e litologia (peso 20); obtendo o valor 100 no somatório total. Enquanto para a determinação da fragilidade emergente, utilizou-se o resultado da

fragilidade potencial correlacionado com aspectos derivados das intervenções antrópicas, representadas neste caso, pela variável do uso da terra. O peso atribuído para o cruzamento das duas variáveis que geraram o mapa de fragilidade emergente foi de 50 para cada.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Litologia

A interpretação da litologia em relação à fragilidade da bacia influencia diretamente no entendimento na formação do relevo, desenvolvimento das características das classes de solos e incidência dos processos de erosão/movimentos de massas (associados a grandes volumes de chuvas em encostas sem vegetação), que agravam a degradação das encostas das bacias hidrográficas (GUERRA; CUNHA, 2000).

A bacia do ribeirão do Escalvado possui três variações de litotipos, pertencentes ao Complexo Mantiqueira (CM), a Suíte Metamórfica de São Sebastião do Soberbo e a terceira que é a junção desta segunda com às supercrustais do Grupo Dom Silvério (Figura 7).

De maneira geral, a CM (simbolizada na cor azul do mapa) é composta por ortognaisses cálcio-alcálicos que derivam composições graníticas, quartzo sienítica, granito-tonalítica, intercalados por anfibolitos, dentre outros; a Suíte São Sebastião do Soberbo (cor rosa) tem em sua composição conjunto de gnaisses bandados, com algumas intercalações de xistos, quartzitos moscovíticos e corpos tabulares de anfibolito; e a Grupo Dom Silvério conta com rochas granulíticas associadas aos paragnais da Suíte São Sebastião do Soberbo, com presença de ortopiroxênio, granada, sillimanita e espinélio (SILVA, 2000; MARINHO, 2014).

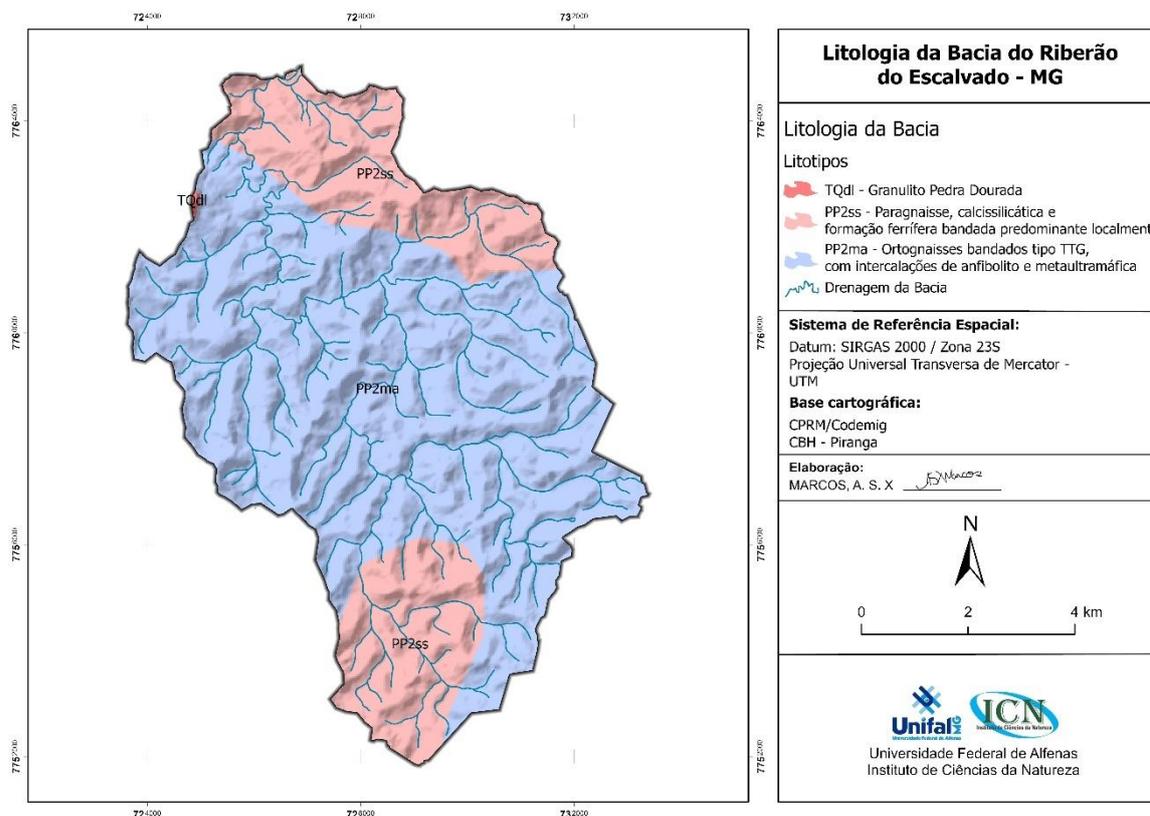
A Tabela 11 e a Figura 7 detalham, ilustram e localizam às unidades geológicas da bacia com os litotipos, tamanho da área abrangente e o grau de fragilidade atribuído a cada uma. Dentro dos litotipos, os paragnais foram classificados com o peso que diferem dos outros dois encontrados na bacia, isso deve-se ao fato que sua gênese apresenta características mais suscetíveis à processos de intemperismo, conseqüentemente, gerando feições geomorfológicas, pedológicas e padrões de drenagem que divergem do restante da bacia. Observa-se adiante que a área em que ele se especializa apresentam relevos mais dissecados e com menor rugosidade, tipos de solos diferentes e, também abrigam áreas hídricas que representam tanto o deságue do canal do ribeirão do Escalvado no curso d'água do Rio Doce quanto áreas de nascentes de determinadas canais que integram a bacia.

Tabela 11: Características litológicas e atribuição de fragilidade

Unidade	Tipo de Rocha	Litotipo	Fragilidade	Área (km ²)	Área (%)
São Sebastião do Soberbo	Metamórfica	Paragnaisse, calcissilicática e formação ferrífera bandada predominante localmente	2 (Fraca)	20,9	28,9%
Complexo Mantiqueira	Metamórfica	Ortognaisses bandados tipo TTG, com intercalações de anfibolito e metaultramáfica	1 (Muito fraca)	51,4	71%
São Sebastião do Soberbo Grupo Dom Silvério	Metamórfica	Rochas granulíticas associadas à paragnaisses, com presença de ortopiroxênio, granada, sillimanita e espinélio	1 (Muito fraca)	0,12	0,2%

Fonte: Adaptado de Codemig e CPRM (2001).

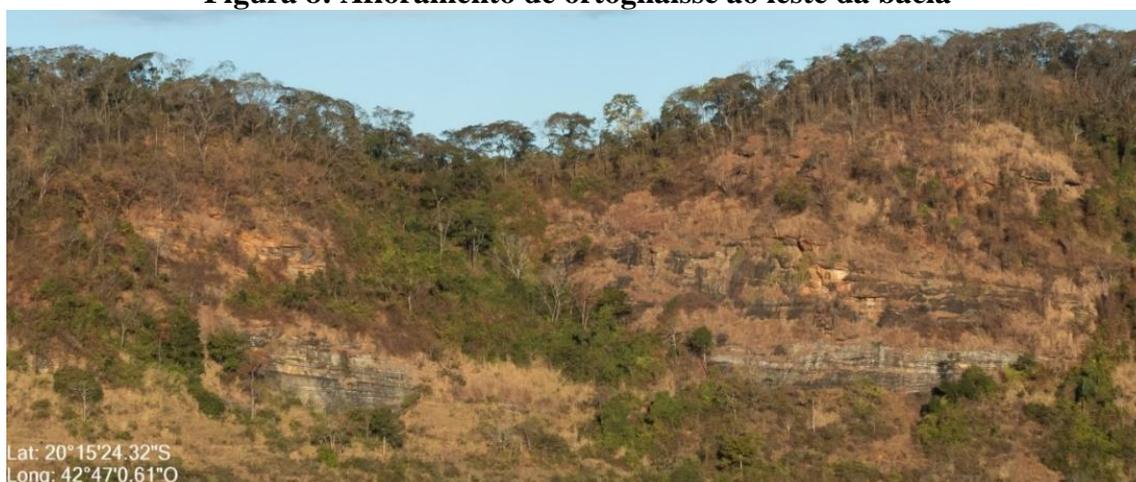
Figura 7: Litologia da bacia



Fonte: Elaborado e adaptado pela autora, 2021.

É possível visualizar em certos pontos da bacia do ribeirão do Escalvado alguns afloramentos rochosos de gnaisses (presentes em maioria no Complexo Mantiqueira). A figura 8 evidencia a estrutura em camadas composicionais definida pela alternância de bandas félsicas e máficas (MARINHO, 2014).

Figura 8: Afloramento de ortogneisse ao leste da bacia



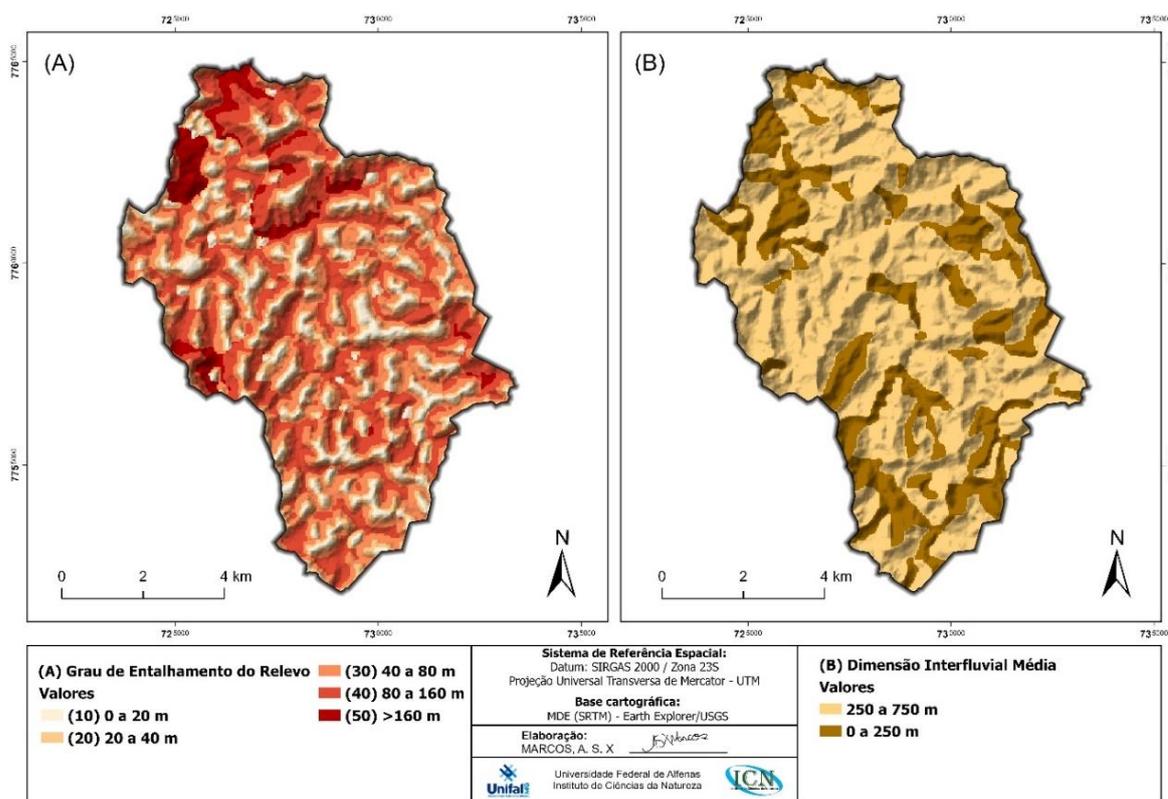
Fonte: Autora, 2021.

6.2 Índice de Dissecação do Relevo

Conforme exposto na metodologia, a dissecação do relevo foi obtida por meio da automação proposta por Guimarães et al., (2017), envolvendo o grau de entalhamento e a dimensão interfluvial.

O entalhamento da bacia é representado por valores consideráveis (acima de 40 a 80 m), atingindo 160 m em alguns setores (Figura 9A). Tal resultado se relaciona à forte ondulação que é presente no relevo da bacia, que junto ao mapa de declividade expõe a morfologia local e o entalhamento suscitado pela rede de drenagem. Com relação à dimensão interfluvial (Figura 9B), verifica-se morfologia representada por vales encaixados, com distância euclidiana dos interflúvios entre 0 e 250 m e 250 e 750 m, típicos de terrenos mais declivosos com rugosidades significativas.

Figura 9: (A) Entalhamento da Bacia; (B) Dimensão interfluvial da bacia



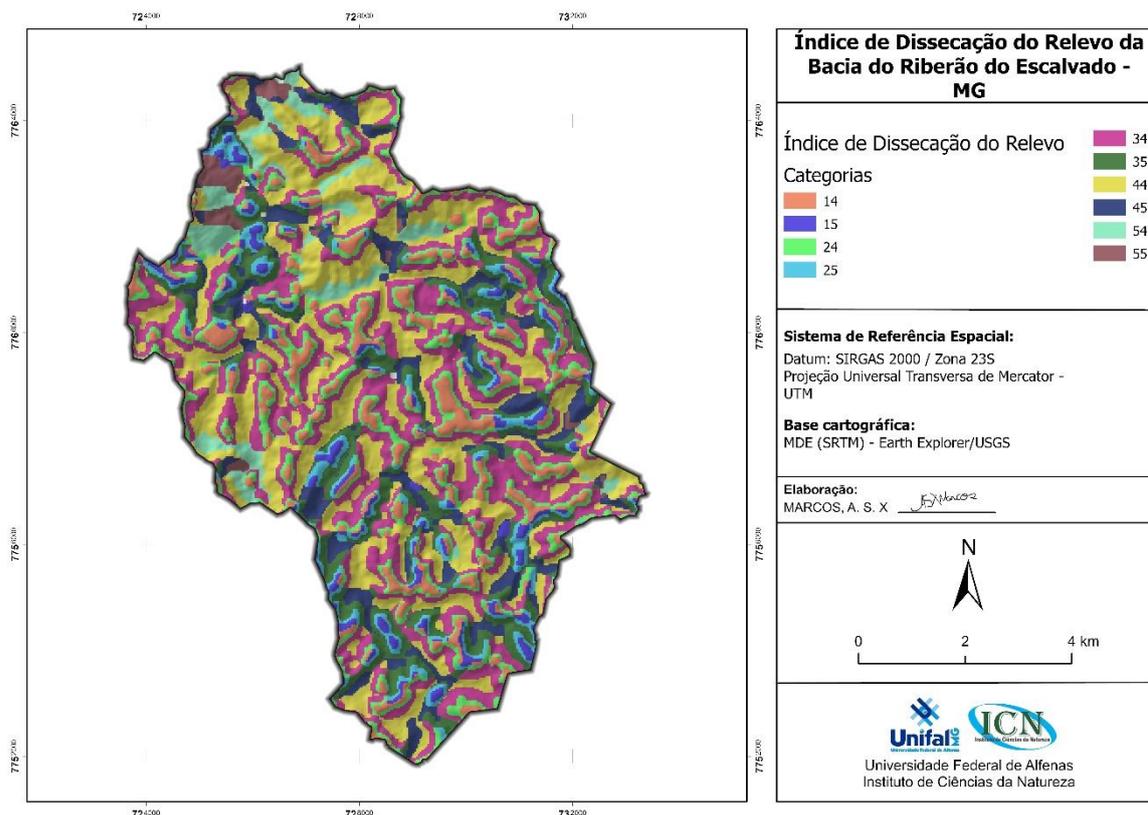
Fonte: Autora, 2021.

Por meio das variáveis de entalhamento e dimensão interfluvial foi possível classificar o índice de dissecação do relevo da bacia hidrográfica do ribeirão do Escalvado (Figura 10). A área apresenta valores de alta fragilidade que variam entre 14 e 55, representativos de vales encaixados e profundos, conforme elucidado por Guimarães et al. (2017).

Como discutido anteriormente, a litologia da bacia interfere diretamente no tipo de relevo que a caracteriza, nota-se que o entalhamento e a dimensão interfluvial apresentam valores destoam da bacia, em grande parte, em áreas que há ocorrência dos paragnaisse que, lembrando, é um litotipo mais suscetível a processo de intemperismo.

Outro detalhe a ser elucidado, é que essas duas variáveis de valores que destoam (> 160m entalhamento e 0 a 250m dimensão interfluvial) também, se encontram em áreas de maior drenagem.

Figura 10: Índice de dissecação do relevo da bacia



Fonte: Autora, 2021.

Assim, de acordo com a classificação proposta por Ross (1994; 2012), a bacia apresenta padrão de dissecação de forte (4) para muito forte (5), com predomínio de vales em “V” encaixados e profundos. Neste sentido, a fragilidade relativa a esta variável constitui-se como muito forte para 28,4% da área da bacia e forte para o restante dos setores (71,6%) (Tabela 12).

Tabela 12: Grau de fragilidade da dissecação do relevo e sua distribuição territorial na bacia.

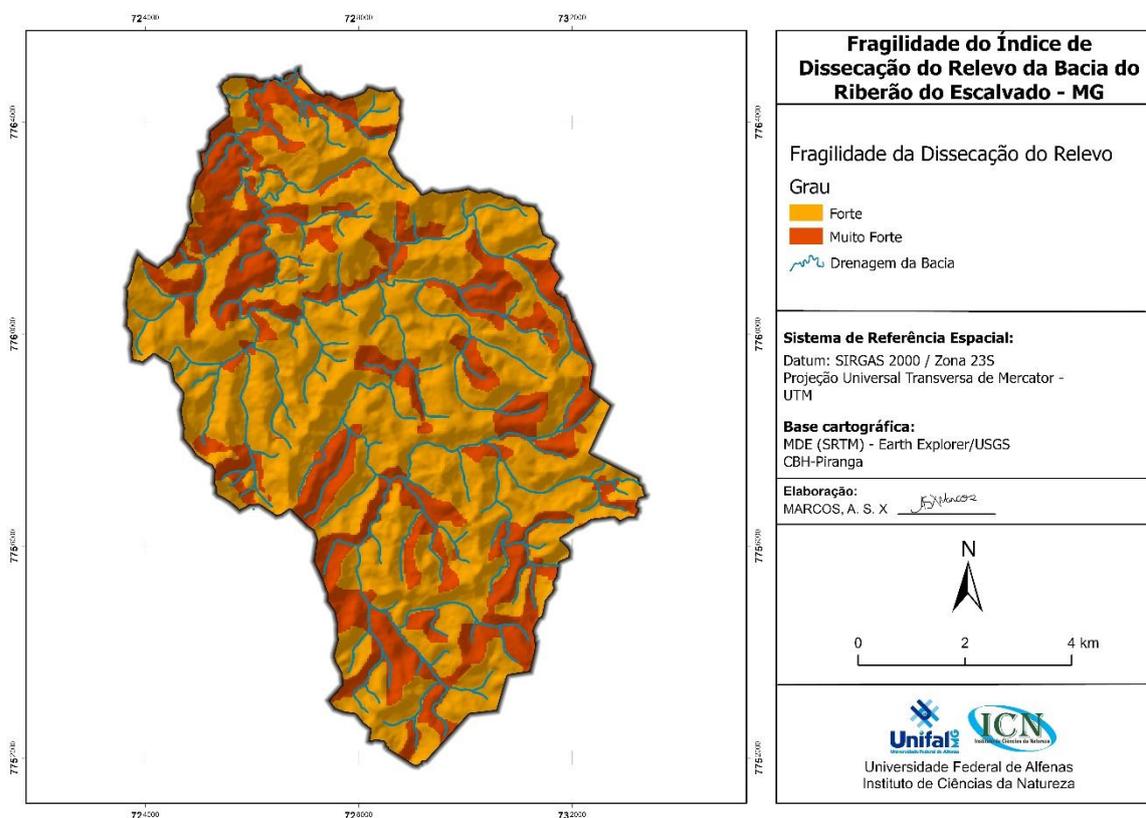
Categorias Agrupadas	Fragilidade	Área km ²	Área (%)
14, 24, 34, 44, 54	(4) Forte	51,0	71,6%
15, 25, 35, 45, 55	(5) Muito forte	20,3	28,4%

Fonte: Autora, 2021.

Na Figura 11 destaca-se o predomínio da espacialização da dissecação muito forte em áreas que estão concentradas os paragnaisses, estes como supracitado serem mais suscetíveis ao intemperismo, gerando relevos menos rugosos. Também algumas áreas centrais da bacia, onde se concentram os ortoganaisses, apresentam a dissecação muito forte, que caracterizam relevos mais rugosos.

De modo geral, os locais que apresentam essas características possuem rede de drenagem associada à jusante, na confluência do ribeirão com o Rio Doce e, a montante, nas cabeceiras de drenagem dos principais afluentes.

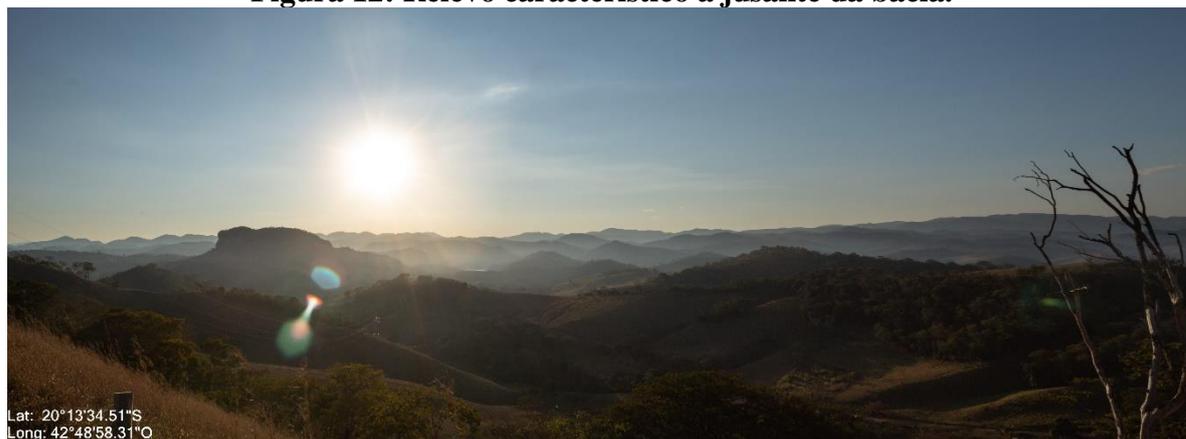
Figura 11: Fragilidade da dissecação do relevo presente na bacia



Fonte: Autora, 2021

O predomínio de uma vasta ondulação e dissecação do relevo segue em conformidade com o que a literatura indica para a bacia do rio Doce, onde a área de estudo está inserida (Figura 12). Tal unidade é caracterizada por situar-se em ambiente com atividade tectônica ativa em clima úmido, dinâmica que propicia o desenvolvimento de relevos íngremes a partir da elevada capacidade hidrográfica e atuação conjunta dos processos de intemperismo, erosão e denudação (LEÃO et al., 2012).

A referida forma geomorfológica é apresentada na Figura 12. A exemplo de toda bacia, observa-se vales profundos/dissecados à jusante do ribeirão do Escalvado, onde segundo o mapeamento realizado é uma área em que a apresenta fragilidade muito forte, consequentemente, com maiores riscos de desenvolvimento de processos erosivos.

Figura 12: Relevo característico à jusante da bacia.

Fonte: Autora, 2021.

6.3 Declividade

A declividade calculada por meio do MDE e reclassificada com base na proposta da EMBRAPA (2006), exibe predominância de encostas e vertentes com relevo fortemente ondulado (59,77%), seguida por morfologia ondulada (25,22%), montanhosa ou escarpada (7,55%), suavemente ondulada (6,12%) e plana (1,34%) (Tabela 13).

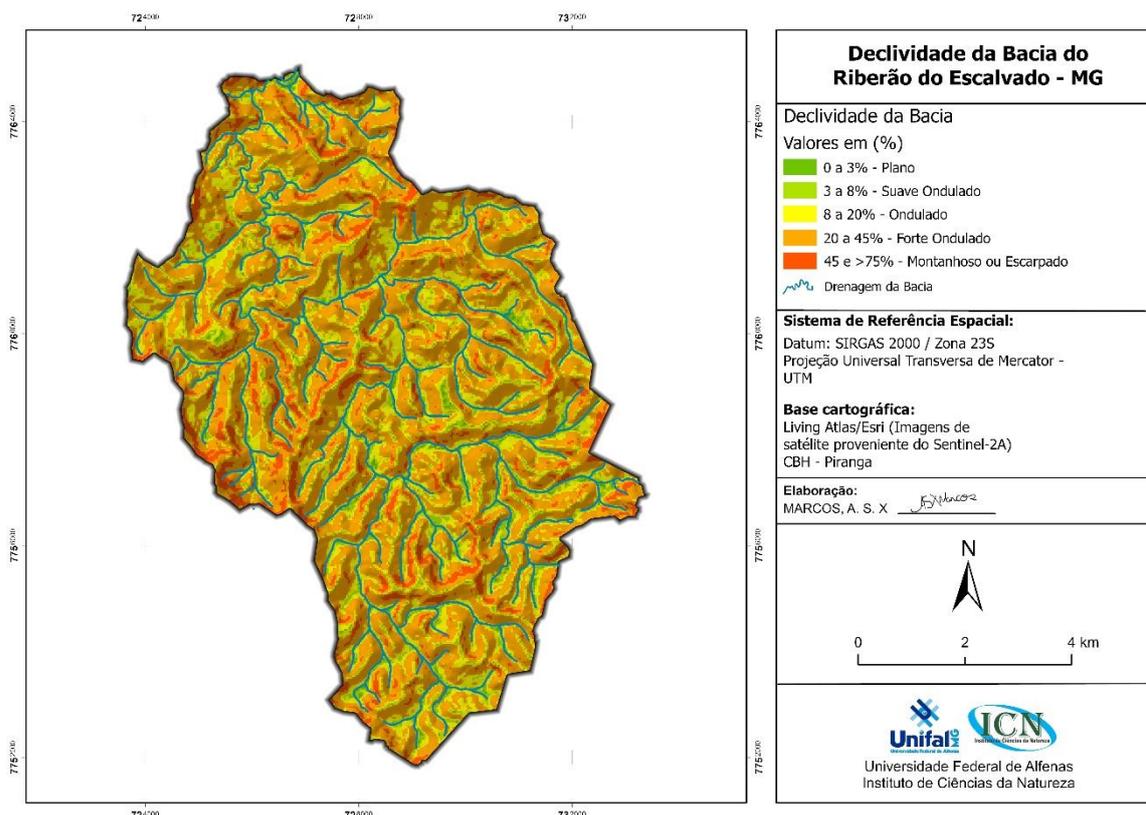
Tabela 13: Características de relevo e distribuição da declividade da bacia

Declividade (%)	Tipo de Relevo	Fragilidade	Área (km ²)	Área (%)
0 – 3%	Plano	(1) Muito fraca	0,94	1,34%
3 – 8%	Suavemente ondulado	(2) Fraca	4,30	6,12%
8 – 20%	Ondulado	(3) Média	17,72	25,22%
20 – 45%	Fortemente ondulado	(4) Forte	41,99	59,77%
45 – >75%	Montanhoso/ Escarpado	(5) Muito forte	5,30	7,55%

Fonte: Autora, 2021.

As topografias escarpadas e montanhosas vinculam-se à afloramentos rochosos alçados em níveis altimétricos mais elevados (Granulito Pedra Dourada), enquanto os menores declives estão diretamente associados à drenagem da bacia, especificamente em setores de planícies fluviais mais alargadas devido à divagação lateral dos cursos d'água (Figura 13).

Figura 13: Declividade da bacia



Fonte: Autora, 2021.

O entendimento da topografia da bacia em conjunto com o uso da terra explica a ocorrência de processos erosivos lineares a partir da intensificação do escoamento superficial. Verifica-se o surgimento de ravinas em determinadas áreas da bacia, como na vertente a jusante do córrego do quilombo, área correspondente à antiga plantação de eucalipto (Figura 14).

Figura 14: Presença de ravinas sobre a vertente do córrego do quilombo

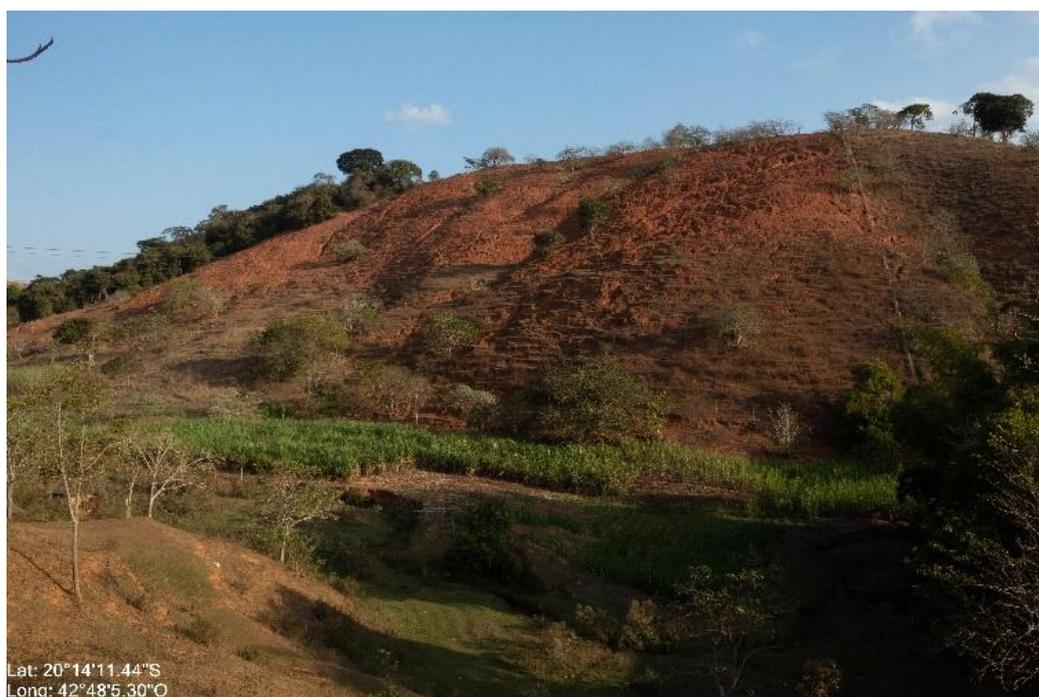


Fonte: Autora, 2021.

Não só a plantação da cultura citada ocasionou degradação das vertentes, mas também o pisoteio do gado nas áreas de pastagem, presente na maior parte da bacia (Figura 15). Em

alguns setores, nota-se o desenvolvimento de formas erosivas do tipo terracetes, morfologia que promove à modificação da dinâmica da circulação hídrica nas vertentes e alterações nas propriedades físicas e químicas do solo (GIROLDO, 2014). Na imagem ainda é possível observar plantação de cana-de-açúcar na baixa vertente, além da ausência da mata nas margens fluviais do córrego, em área que deveria ser destinada à preservação (Figura 15).

Figura 15: Terracetes presente sobre a vertente do córrego do quilombo.



Fonte: Autora, 2021

Ademais, verifica-se que a bacia regularmente em períodos chuvosos é atingida com inundações e enchentes, principalmente sob o leito do ribeirão do escalvado que permeia a parte urbana de Santa Cruz do Escalvado, ocasionando problemas socioeconômicos a toda população. A cidade localiza-se em um fundo de vale e suas encostas adjacentes não apresentam vegetação (Figura 16), portanto, vulnerável a problemas de desastres naturais como estes.

Figura 16: (A) Mancha urbana situada no fundo de vale.



Fonte: Autora, 2021

A mais recente ocorrência foi em 2017, onde todo o centro urbano de Santa Cruz do Escalvado foi alagado, ocasionando prejuízos patrimoniais e econômicos à cidade (Figura 17).

Figura 17: Inundação na área urbana de Santa Cruz do Escalvado no ano de 2017.



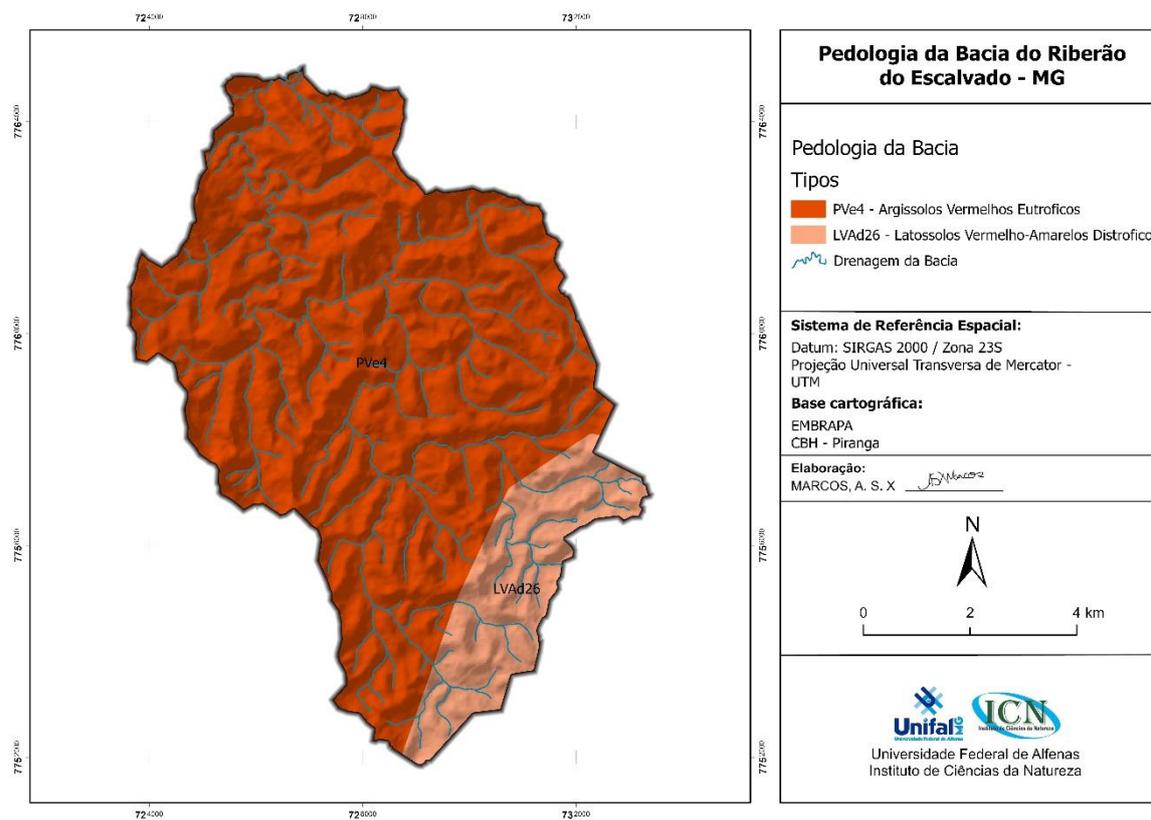
Fonte: Extraídos do portal G1 (<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/cidades-mineiras-sofrem-com-inundacoes-e-deslizamentos-de-terra-apos-fortes-chuvas.ghtml>)

6.4 Pedologia

Por meio dos dados da EMBRAPA (2006) a bacia é caracterizada por duas variações de solos, representadas pelo desenvolvimento de Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos e Argissolos Vermelhos Eutróficos (Figura 18).

O desenvolvimento de Latossolos vincula-se a provável a área de maior intemperismo na bacia, sua identificação condiz com o substrato litológico mais suscetível a ocorrência deste processo (paragnaisses). Enquanto os Argissolos vinculam-se à ambientes bem drenados e especializam-se na maior parte da bacia, englobando o tipo de relevo forte ondulado identificado pelo mapa de declividade.

Figura 18: Pedologia da bacia



Fonte: Autora, 2021

A Tabela 14 atribui a sua distribuição territorial e o grau de fragilidade atribuído.

Tabela 14: Grau de fragilidade da Pedologia e sua distribuição territorial na bacia.

Tipos de solo	Sigla	Fragilidade	Área (km ²)	Área (%)
Latosolos Vermelho-Amarelos Distroficados	LVAd	1	10,18	14%
Argissolos Vermelhos Eutroficados	PVe	3	61,23	86%

Fonte: Autora, 2021.

A concentração de argissolos nos setores de relevos fortemente ondulados explica a ocorrência de erosão laminar identificada em vertentes da bacia (Figura 19). A formação de tais processos erosivos, possivelmente configura-se como reflexo da organização dos perfis pedológicos, vinculada a horizonte arenoso superficial e horizonte subjacente correlacionada à acumulação de argila em profundidade (Bt), disposição típica da classe pedológica homônima.

Figura 19: Ponto de erosão laminar

Fonte: Autora, 2021

Como será evidenciado no próximo item, a cobertura vegetal natural da bacia em muitos pontos é mínima, contribuindo para maior suscetibilidade frente a formação de processos erosivos nas vertentes acidentadas.

6.5 Uso da terra

A classificação supervisionada do uso da terra da bacia obteve a acurácia de 0,75 e, segundo Landis e Koch (1977), esse valor é interpretado como uma exatidão muito boa. Portanto, expõe-se o uso da terra da bacia do ribeirão do Escalvado nas seguintes classes: (3,11%), agricultura (1,25%), mancha urbana (0,22%) e corpos d'água (0,03%). Detalhadamente, a tabela 14 e a figura 20 evidenciam a distribuição de cada classe com os respectivos graus de fragilidade atribuídos a cada uma (Tabela 15 e Figura 20).

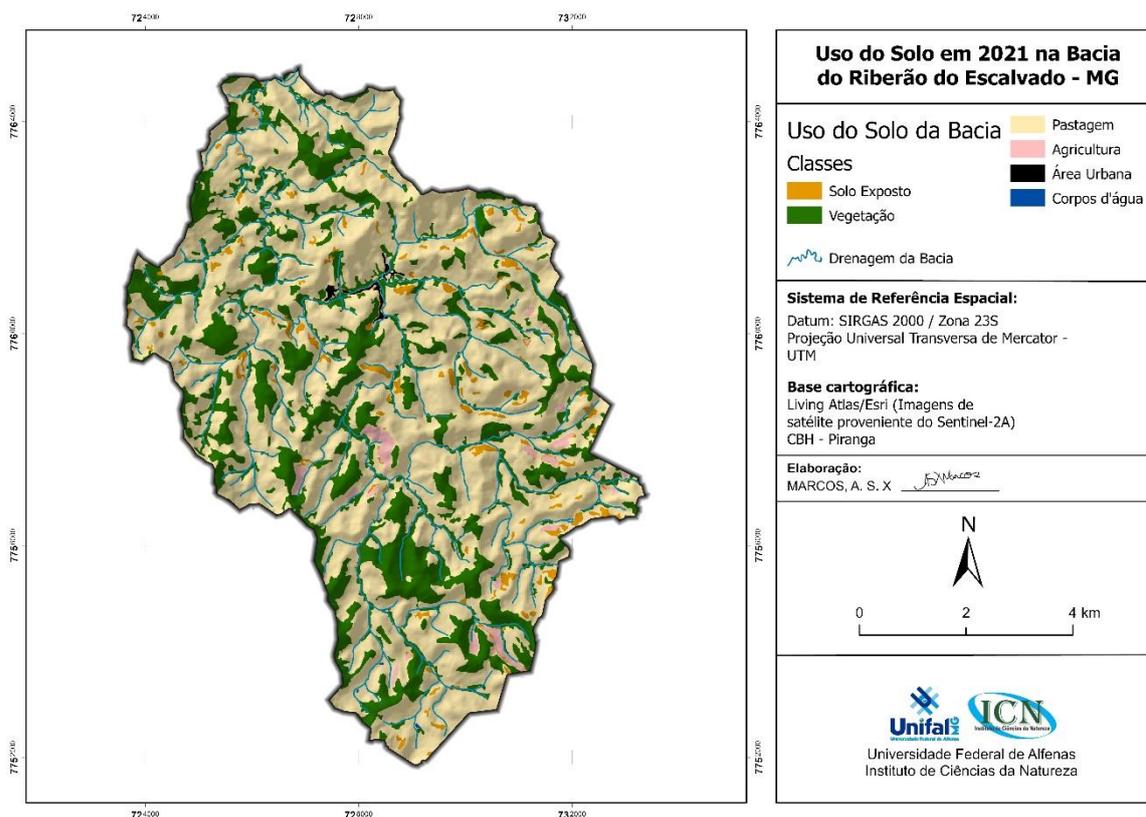
Tabela 15: Grau de fragilidade do uso da terra e a sua distribuição territorial na bacia.

Classes	Fragilidade	Área (km ²)	Área (%)
Solo exposto	(5) Muito forte	2,26	3,11%
Agricultura	(5) Muito forte	0,91	1,25%
Mancha Urbana	(5) Muito forte	0,16	0,22%
Pastagem	(4) Forte	48,1	66,21%
Vegetação	(1) Muito fraca	21,2	29,18%
Corpos d'água	(0)	0,0194	0,03%

Fonte: Autora, 2021

Por meio do produto cartográfico desenvolvido, nota-se a espacialização das classes descritas (Figura 20).

Figura 20: Uso da terra da bacia



Fonte: Autora, 2021

A predominância vincula-se à pastagem (66,21%), um cenário visto em grande parte de todo território mineiro e não diferente na bacia do ribeirão Escalvado, ocupando setores da vertente e planície de inundação adjacentes ao curso d'água homônimo (Figura 21).

Figura 21: Área de pastagem na vertente e na planície de inundação



Fonte: Autora, 2021

Em segundo permeia focos de vegetação remanescentes (29,18%), presentes principalmente em alguns topos morros (Figura 22).

Figura 22: Fragmento de mata encontrado sobre o leito do córrego do quilombo



Fonte: Autora, 2021

As demais classes de uso da terra, vinculadas às categorias solo exposto (3,11%), agricultura (1,25%) e mancha urbana (0,22%), correspondem ao maior grau de fragilidade inerente a esta variável (muito forte). A primeira e a segunda condizem com a falta de cobertura vegetal e plantações em que houve ou há queimadas para sua colheita, como a cana-de-açúcar e o eucalipto. Enquanto a mancha urbana está alocada diretamente sob o leito do ribeirão do Escalvado, onde frequentemente observa-se despejo de dejetos, rejeitos líquidos e sólidos no curso d'água.

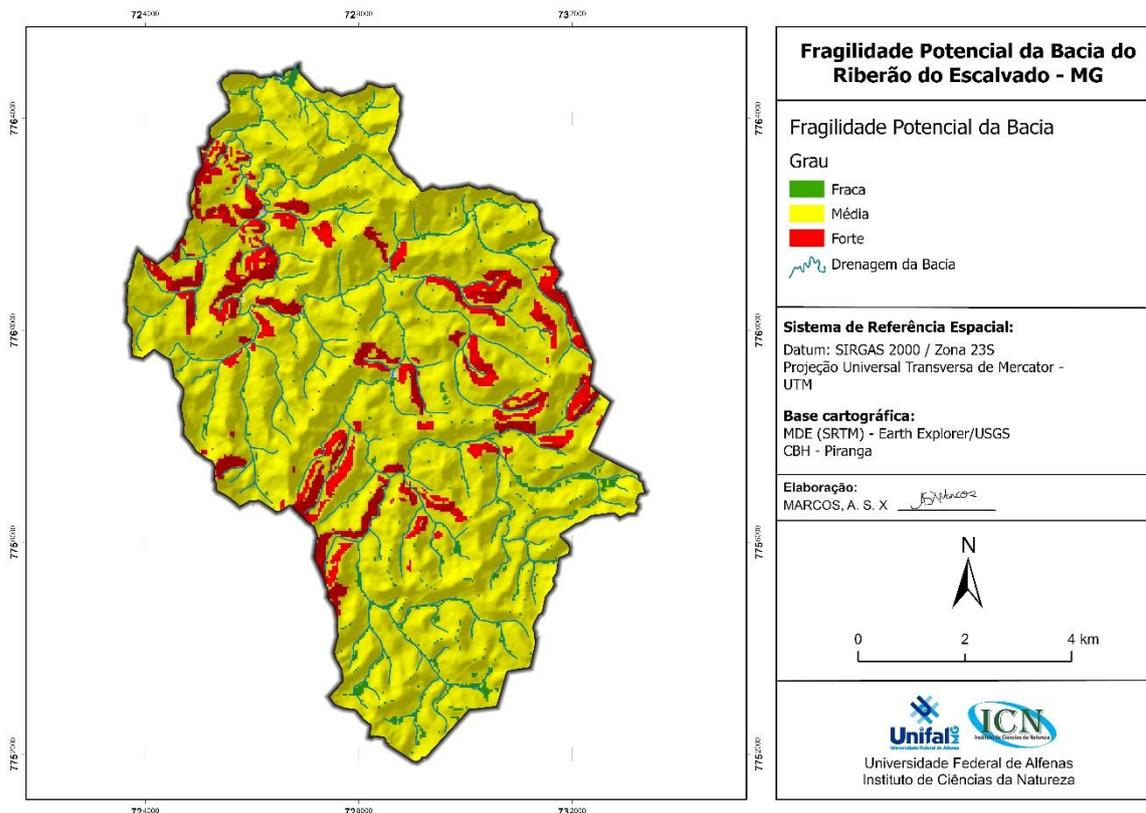
O uso da terra observado na bacia remete ao histórico de ocupação, sem muitas práticas conservacionistas. Quando não há agriculturas de cultivo curto com prática de queimadas, há vastos campos de pastagem, que aos poucos também influenciam no desenvolvimento de processos erosivos dos solos, bem como na modificação das formas do relevo. Esta conjuntura propicia maior fragilidade ao sistema ambiental em face das suas características genéticas naturais.

6.6 Fragilidade potencial

Com base nos mapas das características físicas e naturais da área de estudo (variáveis), associou-se por meio da sobreposição ponderada os mapas de pedologia, litologia, dissecação do relevo e declividade. Este processamento de dados resultou na determinação da fragilidade

potencial da bacia do ribeirão do Escalvado, ou seja, a fragilidade natural que a área de estudo possui (Figura 23).

Figura 23: Fragilidade Potencial da bacia



Fonte: Autora, 2021.

Nota-se que a bacia apresenta três níveis de fragilidade potencial de acordo com o resultado obtido por meio da aplicação da metodologia proposta, cerca de 2,3% para a classe fraca, 86,49% para a média e 11,38% para a forte (Tabela 16). Observa-se que a classe de alta fragilidade potencial exibiu relações diretamente associadas às variações da dissecação do relevo categorizada como muito forte (28,4% da área total da bacia) e com a declividade de relevos montanhosos e escarpados (respectivamente 7,29% e 0,26% da área total da bacia).

Salienta-se que estas variáveis também apresentaram maiores fragilidades em seus mapeamentos individuais, estando, portanto, mais suscetíveis a ocorrência de processos de degradação ambiental, portanto, devem-se ser pontos estratégicos de monitoramento ambiental, pois tendem a ser suscetíveis a maiores processos de degradação.

Tabela 16: Distribuição da fragilidade potencial no território da bacia

Fragilidade emergencial	Área (km ²)	Área (%)
(2) Fraca	1,5	2,13%
(3) Média	60,8	86,49%
(4) Forte	8	11,38%

Fonte: Autora, 2021

Ademais, nota-se que os pontos de fragilidade média estão direcionados às áreas de menores declives e relevos ondulados, enquanto as áreas que apresentaram fraca fragilidade potencial correlacionam-se com setores de drenagem que em seu entorno apresentam remanescentes de vegetação nativa.

6.7 Fragilidade emergente

Com a fragilidade potencial definida, correlacionou-se por meio da sobreposição ponderada, a variável uso da terra, objetivando determinar a fragilidade emergente da bacia em face às ações antrópicas. O resultado indica um predomínio de fragilidade emergente forte (4), representada por de 64,85% do território da bacia do ribeirão do Escalvado (Tabela 17).

Tabela 17: Distribuição territorial da fragilidade emergente na bacia

Classes da fragilidade potencial	Área (km ²)	Área (%)
(1) Muito fraca	0,62	0,88%
(2) Fraca	15,1	21,47%
(3) Média	3,3	4,69%
(4) Forte	45,6	64,85%
(5) Muito forte	5,7	8,11%

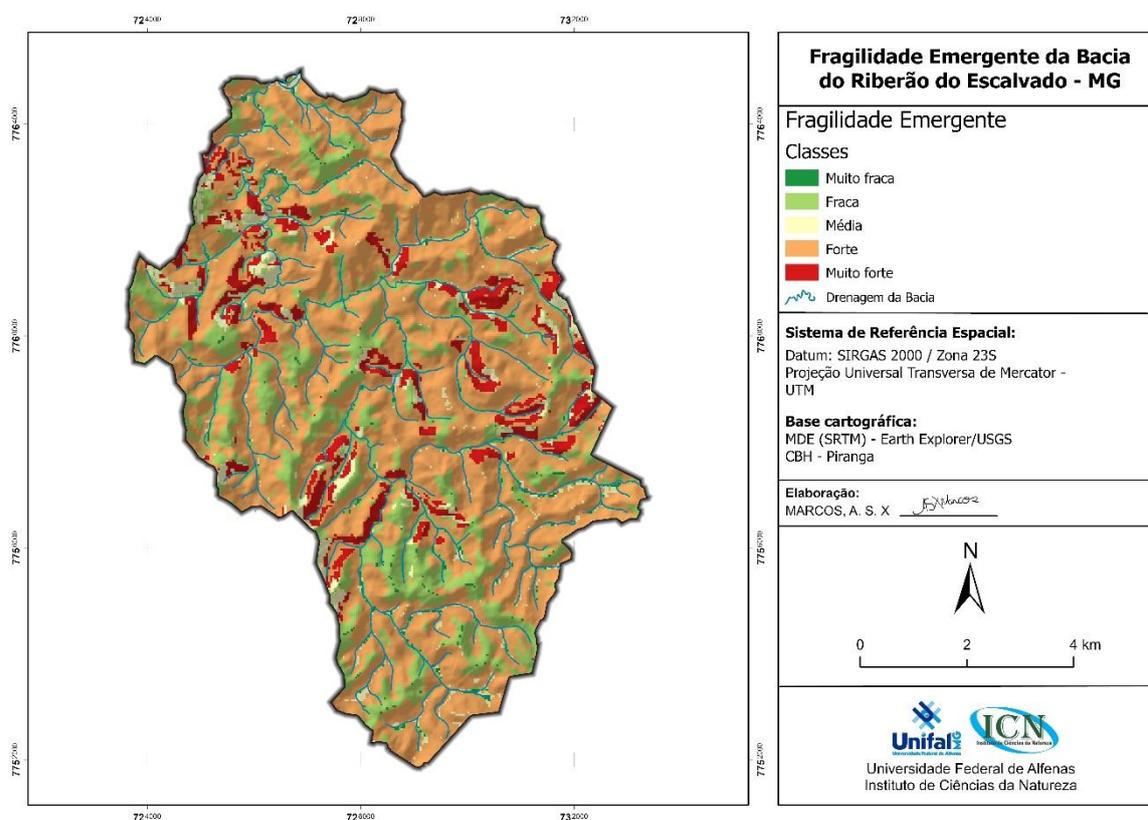
Fonte: Autora, 2021

Pontos de fragilidade muito forte, distribuídas em 8,11% da área total da bacia, estão ligados diretamente a intensidade da dissecação do relevo, declividade e aos setores de solos expostos, evidenciados pelo mapa de uso da terra.

Limitando-se aos graus forte e muito forte, sem devidas práticas conservacionistas, tendem a apresentar anomalias, como maiores índices de erosões (gerando sulcos, ravinas e voçorocas), disposição de sedimentos nos canais d'água da bacia gerando problemas de disposição hídrica, dentre outros. Além de claro e, como já visto anteriormente, a cidade de Santa Cruz do Escalvado alocada sob a bacia (e circundada pro um grau forte de fragilidade)

apresenta eventuais problemas de inundações em períodos de chuvas intensas, sendo estes ocasionados devido à ausência de vegetação, encostas adjacentes com altos declives e, o tipo de solos (argissolos com seu menor índice de impermeabilização), variáveis estas que intensificam o escoamento superficial gerando este tipo de desastre.

Figura 24: Fragilidade Emergente da bacia



Fonte: Autora, 2021

Por outro lado, a classe fraca (2) é a segunda com maior frequência na bacia (21,47%), influenciada pela presença de vegetações remanescentes. Um detalhe da classificação desta classe deve-se ser ressaltado, as matas em sua maior parte estão circundadas por pastagem, tanto que a classe de fragilidade média (cerca de 4,69%) se espacializa nestes limites, indicando, portanto, áreas que futuramente podem sofrer distúrbios ambientais caso ocorra a supressão da vegetação.

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por meio da pesquisa foram satisfatórios, uma vez que houve respostas a toda problemática discutida ao longo do texto. A fragilidade potencial e emergente da bacia do ribeirão do Escalvado apresentou-se condizente tanto com sua historicidade relacionada à ocupação da sociedade, quanto à evolução geocronológica do sistema natural.

O mapeamento do uso da terra possibilitou a compreensão da ocupação territorial, caracterizada por sucessivos desmatamentos provocados pela expansão urbana e agrícola, fato recorrente na história da zona da mata mineira, configurando-se a pastagem como a classe com maior domínio na bacia.

Paralelamente a estes fatores, verificou-se que a bacia do ribeirão do Escalvado apresenta características físicas-naturais condizentes com o que a literatura nacional indica para a bacia do Rio Doce, representada por relevos acidentados e resultantes da elevada dissecação fluvial. Fatores responsáveis por desenvolverem vertentes com declividades acentuadas que, sob influência de determinado uso da terra, apresentam-se amplamente suscetíveis a ocorrência de processos erosivos lineares, laminares e por pisoteio de gado.

Por fim, ressalta-se que a análise das variáveis naturais e antrópicas possibilitaram a confecção de um produto cartográfico que, mediante ao que foi exposto, evidencia o agravamento da fragilidade da bacia quando as variáveis são correlacionadas. Elucidam, sobretudo, setores com altas fragilidades, agravados pela presença majoritária de pastagem e poucos remanescentes florestais. Deste modo, a análise indica que, futuramente, a configuração da fragilidade emergente possa ser agravada caso não haja uma maior preservação/gestão sustentável dos recursos naturais da bacia do ribeirão do Escalvado.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. vol. 1. Petrópolis: Vozes, 1977.

BLASENHEIM, P. L. **A regional history of the Zona da Mata in Minas Gerais, Brazil: 1870-1906**. 1982. 372 f. Tese (Doctor of Philosophy), Department of History, Stanford University, Stanford, 1982.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; DE BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p

ACHÃO, S. M. Geografia. In: BRANDALISE, L. A. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Ponte Nova, SF.23-X-B-II**. Minas Gerais: CPRM, 1991. 161p.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Intui-se a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Planalto, 2021. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1988.

Cidades mineiras sofrem com inundações e deslizamentos de terra após fortes chuvas. **Portal G1 MG**, Belo Horizonte, 4 de dezembro de 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/cidades-mineiras-sofrem-com-inundacoes-e-deslizamentos-de-terra-apos-fortes-chuvas.ghtml>>

CODEMIG; CPRM. **Portal de Geologia**. 2014. Disponível em: <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>>.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F.. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos, INPE, 101p., 2001.

COELHO, A. L. N. Bacia hidrográfica do Rio Doce(MG/ES):uma análise socioambiental integrada. **Revista Geografares**, v. 7, p. 131–146, 31 dez. 2009.

COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas: Teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; DA CUNHA, S. B (Org.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2018. cap. 1, p. 19-45.

CORRÊA, G. F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do planalto de Viçosa, MG**. Dissertação. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, p.87, 1984.

LEMOS FILHO, L. C. A; FERREIRA, L. L. N.; LYRA, D. L. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. **Revista agro@mbiente on-line**, v. 11, n. 1, p. 11-20, 2017.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 2006, p.208.

FELIPPE, M. F.; JUNIOR, A. P. M.; MENDES, L. C.; CARNEIRO, P. S.; GONTIJO, B. M. Conexões geo-históricas e contemporâneas entre ocupação territorial, degradação ambiental e rarefação hídrica na Bacia do Rio Doce. **Revista Geografias**, v. esp, p. 203–222, 2016.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, p.144.

GIROLDO, L. **Terracetes de pisoteio de gado e mudanças morfo-pedológicas em vertente amostral na bacia hidrográfica do rio Jacareí, Serra da Mantiqueira-SP**. Dissertação

(Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. p. 124, 2013.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.; **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000, cap.7, p. 337-379.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M.; NERO, M. A. **Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 18, n. 1, p. 155-167, 2017.

HOEKSTRA, A. Y. Appreciation of water: Four perspectives. **Water Policy**, v. 1, n. 6, p. 605–622, 2000.

IBGE CIDADES. Santa Cruz do Escalvado. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/santa-cruz-do-escalvado/panorama>>

JANNUZZI, P. D. M.; MIRANDA, W. D.; SILVA, D. D. Análise multicritério e tomada de decisão em Políticas Públicas: Aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações. **Informática Pública**, v. 1, n.1, p. 69 - 87, 2009.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159, mar. 1977.

LEÃO, M. R. et al. Erosão , Denudação E Evolução Do Relevo Da Média Serra Do Espinhaço Meridional , Minas Gerais Erosion , Denudation and Relief Evolution of the Middle Serra Do Espinhaço Meridional , Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 113–124, 2012.

MARINHO, K. D. S. M. **Petrogênese do Granulito Pedra Dourada, MG**. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, p.195, 2014.

PEREIRA, L. O.; SILVA, A. E. P.; NEGRI, R. G.; SANT'ANNA, S. J. S.; DUTRA, L. V.; FREITAS, C. C.; ERTHAL, G. J. Análise comparativa dos métodos de classificação SVM e Maxver-ICM Polarimétrico em imagem de radar ALOS PALSAR. In: **XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. Curitiba, 2011. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 8223-8230.

RESENDE, S. B.; RESENDE, M. Solos dos Mares de Morros: ocupação e uso. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Org.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996. p.261-288.

RIBEIRO, R. J. C.; BAPTISTA, G. M. M.; BIAS, E. S. Comparação dos métodos de classificação supervisionada de imagem Máxima Verossimilhança e Redes Neurais em ambiente urbano. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, 2007. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5471-5478.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L.; PIROLI, E. L. Utilização de sistema de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP). **Revista Brasileira de**

Ciência do Solo, v. 25, n. 3, p. 675–681, 2001.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v.8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, v. esp. de 30 anos, p.38-51, 2012.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. 9 ed., São Paulo, Contexto, 2019.

SAATY, T. L. What is the Analytic Hierarchy Process? In: MITRA G.; GREENBERG H. J.; LOOTSMA F. A.; RIJKAERT M. J.; ZIMMERMANN H. J. **Mathematical Models for Decision Support**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1988. p. 109–121.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado**. São Paulo: Hucitec, 1997.

SILVA, L. S. **Projeto Leste. Província Pegmatítica Oriental. Mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais**. Belo Horizonte: CPRM, p.80, 2000.

SILVA, R. M.; BELDERRAIN, M. C. N. Considerações sobre métodos de decisão multicritério. In: **Encontro de iniciação científica e pós-graduação do ITA**. v. 11, p. 1-7, 2005.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo: IG-USP, n.16, 52p., 1977.

SOUZA, E.; TOLEDO, C. C.; FERNANDES FILHO, E. I. Uso do solo na Zona da Mata, Minas Gerais. In: **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, v. 12, 2009.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

STRAUCH, N. **A Bacia do Rio Doce**. Rio de Janeiro: IBGE. 1955.

TEODORO, V. L. I., TEIXEIRA, D., COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

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

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. 1ª ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3ª ed. Porto Alegre: ABRHidro, 2004.

UFSJ. **Acervos documentais da Comarca do Rio das Mortes**. Disponível em: <<https://documenta.direito.ufmg.br/modules/brtchannel/index.php?pagenum=2>>.

USGS. **Earth Explorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.

VALVERDE, O. Estudo Regional da Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 20, n. 1, p. 3-79, 1958.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 7, n. 2, 2017.