

Modelagem da Fragilidade Ambiental da Sub-Bacia do Rio Perdizes, Triângulo Mineiro, Minas Gerais

Modeling the Environmental Fragility of the Perdizes River Sub-Basin, Triângulo Mineiro, Minas Gerais

Anna Caroline Costa Fanalli

Mestranda em Agricultura e Informações Geoespaciais, Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

<https://orcid.org/0009-0007-3903-993X>
anna.fanalli@ufu.br

João Vitor Meza Bravo

Professor do Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva (IGESC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

<https://orcid.org/0000-0002-5457-3192>
jvbravo@ufu.br

Milton Serpa de Meira Junior

Professor de Magistério Superior, Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

<https://orcid.org/0000-0003-2957-8132>
miltonmeira@ufu.br

Resumo

Avaliar a fragilidade ambiental é fundamental para identificar vulnerabilidades ecológicas, orientar práticas sustentáveis e prevenir a degradação dos recursos naturais, garantindo a preservação dos ecossistemas e o bem-estar das futuras gerações. O objetivo deste trabalho foi mapear a fragilidade ambiental da Sub-bacia do Rio Perdizes, Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil. As características de solo, relevo, geomorfologia, proximidade de corpos d'água, declividade e uso e cobertura da terra, através de uma análise multicritério, foram utilizadas para avaliar a Fragilidade Potencial (características naturais) e Fragilidade Emergente (características naturais e antropogênicas). A análise da fragilidade potencial constatou que 96,26% da área total da bacia estão nas categorias de baixa e média fragilidade, indicando que a região, de forma natural, apresenta um certo grau de estabilidade ecodinâmica da paisagem. Quanto à fragilidade emergente, as categorias média e alta predominam, o que corresponde a 87,37% da área total, indicando o efeito do impacto antrópico sobre um ecossistema. As áreas com alta ou muito alta fragilidade estão associadas aos cambissolos, que apresentam baixa fertilidade e são mais propensos à erosão. Quando combinadas com atividades humanas, há um agravamento da fragilidade emergente, decorrente principalmente de pastagem na parte norte da área. A pesquisa conclui que as ações humanas têm um impacto significativo na fragilidade ambiental da área, especialmente em áreas naturalmente sensíveis.

Palavras-chave: Manejo de Ecossistemas; Manejo de Bacias Hidrográficas; Unidades ecodinâmicas; Planejamento Ambiental; Sistemas de Informações Geográficas.

Abstract

Assessing environmental fragility is essential to identify ecological vulnerabilities, guide sustainable practices and prevent the degradation of natural resources, ensuring the preservation of ecosystems and the well-being of future generations. The objective of this work was to map the environmental fragility of the Perdizes River Sub-basin, Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil. The characteristics of soil, relief, geomorphology, proximity to bodies of water, slope and land use and cover, through a multi-criteria analysis, were used to evaluate Potential Fragility (natural characteristics) and Emergent Fragility (natural and anthropogenic characteristics). The analysis of potential fragility found that 96.26% of the basin's total area is in the low and medium fragility categories, indicating that the region, naturally, presents a certain degree of ecodynamic landscape stability. As for emerging fragility, the medium and high categories predominate, which corresponds to 87.37% of the total area, indicating the effect of anthropogenic impact on an ecosystem. Areas with high or very high fragility are associated with cambisols, which have low fertility and are more prone to erosion. When combined with human activities, there is a worsening of emerging fragility, mainly resulting from pasture in the northern part of the area. The research concludes that human actions have a significant impact on the environmental fragility of the area, especially in naturally sensitive areas.

Keywords: Ecosystem Management; Watershed Management; Ecodynamic Units; Environmental Planning; Geographic Information Systems.

1. Introdução

A exploração desordenada dos recursos naturais impacta negativamente o meio ambiente e, consequentemente, a vida humana (Hernández-Moreno *et al.*, 2021). Estima-se que 3,2 bilhões de pessoas são afetadas pela degradação ambiental (Programme, 2021). Paralelamente, a demanda por soluções para problemas ambientais aumentou nos últimos anos, principalmente pela mudança climática e desperdício dos recursos naturais (Artaxo, 2020). A Fragilidade Ambiental é uma métrica que auxilia a tomada de decisão sobre o manejo dos recursos naturais, pois evidencia as áreas mais vulneráveis à atividade humana (França *et al.*, 2019).

O conceito de Fragilidade Ambiental (FA) é derivado dos princípios de ecodinâmica propostos por Tricart (1977). A FA atua como uma métrica crucial que auxilia o manejo dos recursos naturais e a identificação de áreas mais vulneráveis. Avaliar a fragilidade da paisagem é fundamental para delinear ações de manejo adequadas, proteger a fauna e a flora, subsidiar o turismo ecológico, reduzir a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e potencializar a prestação de serviços ecossistêmicos (França *et al.*, 2020; Morais Junior, 2021). Dessa forma, a FA é classicamente dividida em duas unidades ecodinâmicas: a Fragilidade Potencial (FP) e a Fragilidade Emergente (FE) (Ross, 1994; França *et al.*, 2022). A FP refere-se às instabilidades naturais de ambientes preservados, associando-se unicamente às características naturalmente presentes no ambiente, como o tipo de solo, a inclinação das vertentes e o tipo de vegetação

(Ross, 1994). Por sua vez, a FE refere-se às características naturais do ambiente em comunhão com o potencial perturbador dos seres humanos, ou seja, representa o resultado do impacto das atividades antrópicas sobre as instabilidades naturais (Ross, 1994; França *et al.*, 2022). Portanto, a Fragilidade Ambiental é o conceito que engloba a Fragilidade Potencial (vulnerabilidade natural) e a Fragilidade Emergente (vulnerabilidade natural somada à ação humana) (França *et al.*, 2018).

Avaliar a fragilidade das unidades da paisagem é importante para delinear ações de manejo adequadas à proteção fauna e flora local/regional, sem causar prejuízos à produção agrícola e à ocupação humana ordenada; evitando problemas ambientais de diversos tipos e graus de distúrbio (Traficante, 2017). Conhecer a fragilidade ambiental também pode subsidiar a geração de renda com o turismo ecológico, reduzir a emissão dos gases do efeito estufa e potencializar a prestação de serviços ecossistêmicos (Potenza *et al.*, 2021).

O Cerrado ocupa 24% da área do Brasil (Azevedo *et al.*, 2018), possui rica biodiversidade e importância no armazenamento e regulação de água, estoque de carbono e regulação do clima (Campos, 2023). Seu solo permeável e vegetação adaptada a condições de seca, ajudam a recarregar aquíferos essenciais, como o Aquífero Guarani, que abastece grande parte do país (Wendland *et al.*, 2022). Quantificar o desmatamento do Cerrado é fundamental para identificar as áreas mais vulneráveis e criar estratégias de conservação e restauração (Hernandes *et al.*, 2022). Uma vez que o desmatamento é responsável por emitir 70% dos gases de efeito estufa (Azevedo *et al.*, 2018), preservar essas áreas é essencial para manter o equilíbrio hídrico e garantir a disponibilidade de água no futuro (Confessor *et al.*, 2024). Estudos de fragilidade ambiental permitem identificar áreas sensíveis, apontando as regiões que necessitam de maior proteção e manejo adequado para evitar a degradação (França *et al.*, 2022). Com isso, é possível promover o desenvolvimento sustentável, conciliando a conservação do bioma com atividades econômicas (Costa; Leite, 2022).

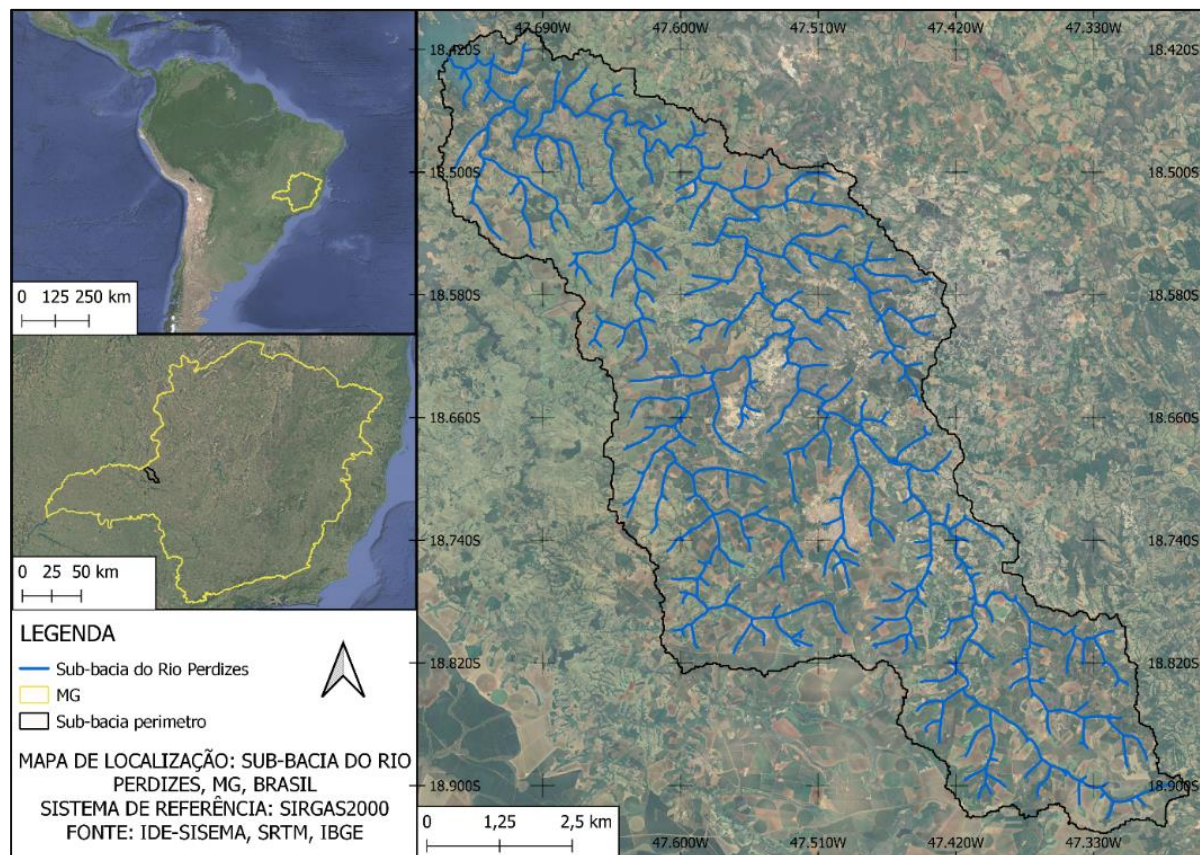
Diante da necessidade de intensificar os estudos sobre a fragilidade ambiental no bioma Cerrado, este trabalho teve como objetivo avaliar a fragilidade ambiental da sub-bacia do rio Perdizes, localizada em Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

2. Materiais e métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

A Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Perdizes está inserida na mesorregião do triângulo mineiro e alto Paranaíba que compreende uma área de 22,244 km² (Costa, 2019). Localizando-se em zonas climáticas quente e sub quente com duas estações bem definidas verão quente, inverno seco, classificação Aw segundo Köppen (Köppen; Geiger, 1928). É uma região na qual há predominância da agricultura, especialmente soja e café. A Sub-bacia hidrográfica do Rio Perdizes encontra-se sob os solos do tipo Argilossolo Vermelho-Amarelo (38,04%), Cambissolo Háplico (24,86%) e Latossolo Vermelho (32,97%), apresenta rochas sedimentares e metamórficas em sua composição (Ide Sisema, 2022).

Figura 1. Mapa de localização da Sub-Bacia do Rio Perdizes, Minas Gerais, Brasil.



Para a condução da pesquisa, os dados matriciais e vetoriais foram obtidos pela IDE-SISEMA - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, MapBiomias e pelos catálogos da EMBRAPA, conforme Tabela 1. Para os dados altimétricos, utilizou-se imagens TOPODATA, com dados reproprocessados da missão SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission (Valeriano; Rosseti, 2011).

Tabela 1 - Caracterização das informações matriciais e vetoriais com suas respectivas fontes e objetivos.

Informação	Fonte	Objetivo
Uso e cobertura da Terra	MapBiomias Coleção 7:1 (2021)	Identificar os usos da terra
Solos	IDE-SISEMA	Tipo de solo
Modelo Digital de Elevação (MDE – SRTM)	Embrapa	Elaboração da declividade do terreno Determinação do perímetro da bacia e sua drenagem
Geomorfologia	IDE-SISEMA	Índice de dissecação do relevo Geomorfologia
Distância da drenagem	Buffer do curso d'água	Avaliar a fragilidade ambiental na distância do curso d'água

Fonte: Autores (2024).

Depois de obter os dados, o produto foi processado, o conjunto de dados possibilitou a execução da álgebra do mapa para gerar o mapa de Fragilidade ambiental. Os dados foram homogeneizados em termos de sistema de referência e escala e convertidos em imagens (no formato TIFF) conforme necessário para realizar operações algébricas específicas para modelos multicritério.

Foram selecionados seis variáveis para estimativa da Fragilidade Ambiental de acordo com (Ross, 1994): tipos de solo, declividade, geomorfologia, distância da drenagem, índice dissecação do relevo e uso e cobertura da terra (Tabela 2).

ISSN 2317-0611

Tabela 2 - Variáveis selecionadas para o computo das fragilidades potencial e emergente.

Uso e cobertura da terra		
ID	Pesos	Justificativa do peso
Formação Florestal	1	Cobertura vegetal mais adensada
Formação Savânica	2	Cobertura vegetal mais espaçada, ocorrência de incêndios naturais
Silvicultura	3	Cobertura do solo, resíduos florestais, ambiente antropizado
Formação Campestre	3	Tipo de vegetação e solo, ocorrência de incêndios altos e maior que a savânica
Pastagem	4	Ambiente antropizado, ocorrência de incêndios
Cana	4	Ambiente antropizado, ocorrência de incêndios
Mosaico de usos	4	Ambiente antropizado, ocorrência de incêndios
Café	4	Ambiente antropizado, manejo constante
Campo Alagado e Área Pantanosa	4	Solos hidromórficos
Citrus	5	Ambiente antropizado, ocorrência de incêndios
Outras lavouras perenes	5	Ambiente antropizado, ocorrência de incêndios
Área urbanizada	5	Atividade antrópica com resíduos sólidos e a impermeabilização dos solos
Outras áreas não vegetadas	5	Atividade antrópica com resíduos sólidos e a impermeabilização dos solos
Curso d´água	5	Contaminação, assoreamento
Soja	5	Ambiente antropizado, manejo constante, ciclo anual
Outras lavouras temporárias	5	Ambiente antropizado, manejo constante, ciclo anual
Tipos de solos		
ID	Pesos	
Latossolo vermelho	1	Solos bem drenados, profundos
Argissolo Vermelho Amarelo	3	Solos intermediários
Cambissolo háplico	4	Solos mais novos, rasos e maior quantidade de areia
Massa dá água	5	Contaminação, assoreamento
Declividade		
ID	Pesos	
0 - 3%	1	Quanto maior a declividade maior a fragilidade
3 - 8%	2	
8 - 13%	3	
13 - 20%	4	
> 20%	5	
Geomorfologia		
ID	Pesos	
Pediplano retocado inumado	1	retocado inumado
Pediplano degradado etchplanado	2	degradado etchplanado
Dissecação topo convexo e tabular	3	aprofundamento das incisões até 50m
Dissecação topo convexo	4	aprofundamento das incisões >50 a 100m
Distância da drenagem		
>120 m	1	Quanto mais próxima do rio maior a sensibilidade
120 – 90 m	2	
90 – 60 m	3	
60 – 30 m	4	
30 – 0 m	5	

Fonte: Adaptado EMBRAPA (1979) e Ross (1994).

Para cada variável foram determinadas classes, adaptadas da metodologia proposta por Ross (1994) variando de muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5), conforme apresentado na Tabela 3. Para homogeneização dos dados o tamanho do pixel utilizado foi 30 x 30m. Utilizando software Qgis 3.22.10 para processamento dos dados e o aplicativo Timestamp para a coleta de dados e fotografia em campo.

Tabela 3 - Classes de fragilidade e a descrição de cada classe.

Classe/Pesos	Descrição
1 - Muito Baixa	Baixa fragilidade ambiental, o ambiente encontra em estado de resiliência
2 – Baixa	Paisagem estável, não se enquadrando na classe 1
3 – Media	Transição de uma baixa fragilidade para alta fragilidade, requer atenção de quais atividades serão realizadas na área
4 – Forte	Sensível a degradação ambiental, forte sensibilidade a atividades antrópicas
5 – Muito Forte	Muito forte fragilidade ambiental, muito sensível a atividades antrópicas

Fonte: Ross (1994) adaptado pelos autores (2024).

A partir das variáveis, com os respectivos pesos, foram mensurados dois parâmetros da fragilidade ambiental: fragilidade potencial e fragilidade emergente (Ross, 1994). Para o cálculo da fragilidade potencial, foi aplicada a média ponderada das variáveis tipo de solo, declividade, geomorfologia, distância da drenagem e índice dissecação do relevo. Para modelar a fragilidade emergente, foi usada a média da fragilidade potencial e a variável uso e cobertura da terra, Tabela 4.

Tabela 4 - Análise multicritério para FP e FE.

Expressão algébrica	Legenda
Fragilidade potencial: $\frac{s+d+g+d1+idr}{5}$	s = tipo de solos d = declividade g = geomorfologia d1 = distância da drenagem idr = índice dissecação do relevo
Fragilidade emergente: $\frac{fp+u}{2}$	fp = Fragilidade potencial u = Uso do solo

Fonte: Os autores (2024)

Para cada variável selecionada, foram apresentados mapas temáticos, e as diferentes categorias foram quantificadas em termos de km² e percentual, representando uma proporção de cada categoria (muito baixa, baixa, média, forte e muito forte) em relação à área total. Sequencialmente, com os dados obtidos de ambas as fragilidades (potencial e emergente) elaborou-se um mapa da FP e FE. Os dados do mapeamento foram verificados in loco em campo com auxílio do aplicativo Timestamp, que adiciona as coordenadas, visada, altitude nas fotos, número dos pontos. Foram selecionados seis pontos. Os pontos foram selecionados de acordo com o grau de fragilidade potencial e emergente para a caracterização da área de estudo, conforme Quadro 1.

Quadro 1: Caracterização *in loco* da área de estudo.

Registro Fotográfico	Descrição	Geolocalização
	Ponto de observação de transição de baixa para média. Relevo dissecado, maciço de floresta. Fragilidade potencial baixa devido as APPs. Fragilidade emergente média para forte associado a pastagens, ravinas, começo de erosão, vegetação rasteira, pasto mal manejado, pecuária presente.	Ponto: 001 Coordenadas: 23K 242510 7936729 Visada: Nordeste Altitude: 839m Município: Monte Carmelo
	Agricultura com preparo de solo conservacionista no qual o mesmo fica exposto na fase que antecede o plantio. Ao lado desta área existe uma voçoroca. Eucalipto associado em terrenos planos, pastagem degradada, pequenas colinas, linha de floresta. Fragilidade emergente média com solo exposto e com revolvimento. Vista sudoeste: Café, pastagem com um pouco de processo erosivo, com susceptibilidade devido a declividade.	Ponto: 002 Coordenadas: 23K242812 7940024 Visada: Oeste Altitude: 852m Município: Monte Carmelo
	Solo: Argissolo Presença de eucalipto ao fundo, vegetação mais rasteira no primeiro plano, capim nativo, declividade mais plana.	Ponto: 003 Coordenadas: 23K241953 7945640 Visada: Sudoeste Altitude: 846m Município: Monte Carmelo

	Solo arenoso, esbranquiçado, raso, Vegetação mais espaçada. Parte de cima ficou em uma classe forte e muito forte pela presença da massa d'água, inclinação do terreno, presença de cambissolos. Vista sudoeste: solo exposto, pastagem degradada, presença de APPs associado a áreas de drenagem.	Ponto: 004 Coordenadas: 23K235715 7953322 Visada: Oeste Altitude: 781m Município: Douradoquara
	Presença de pastagem conservada. Presença de pastagem, palmeira <i>Syagrus romanzoffiana</i>. Solo vermelho que pode ter variações dentro de micro sítios, pastagem bem manejada. Predominância de pastagem	Ponto: 005 Coordenadas: 23K219753 7961002 Visada: Sudoeste Altitude: 747m Município: Douradoquara
	Próximo a calha do Rio Perdizes – MG. Elevada dissecação do relevo, declividade forte ondulada, solo avermelhado, presença de palmeira <i>Syagrus romanzoffiana</i>. Vegetação nativa, segura a degradação, cambissolo favorece a fragilidade potencial	Ponto: 006 Coordenadas: 23K222203 7956874 Visada: Oeste Altitude: 713m Município: Douradoquara

Fonte: Os autores.

3. Resultados e discussão

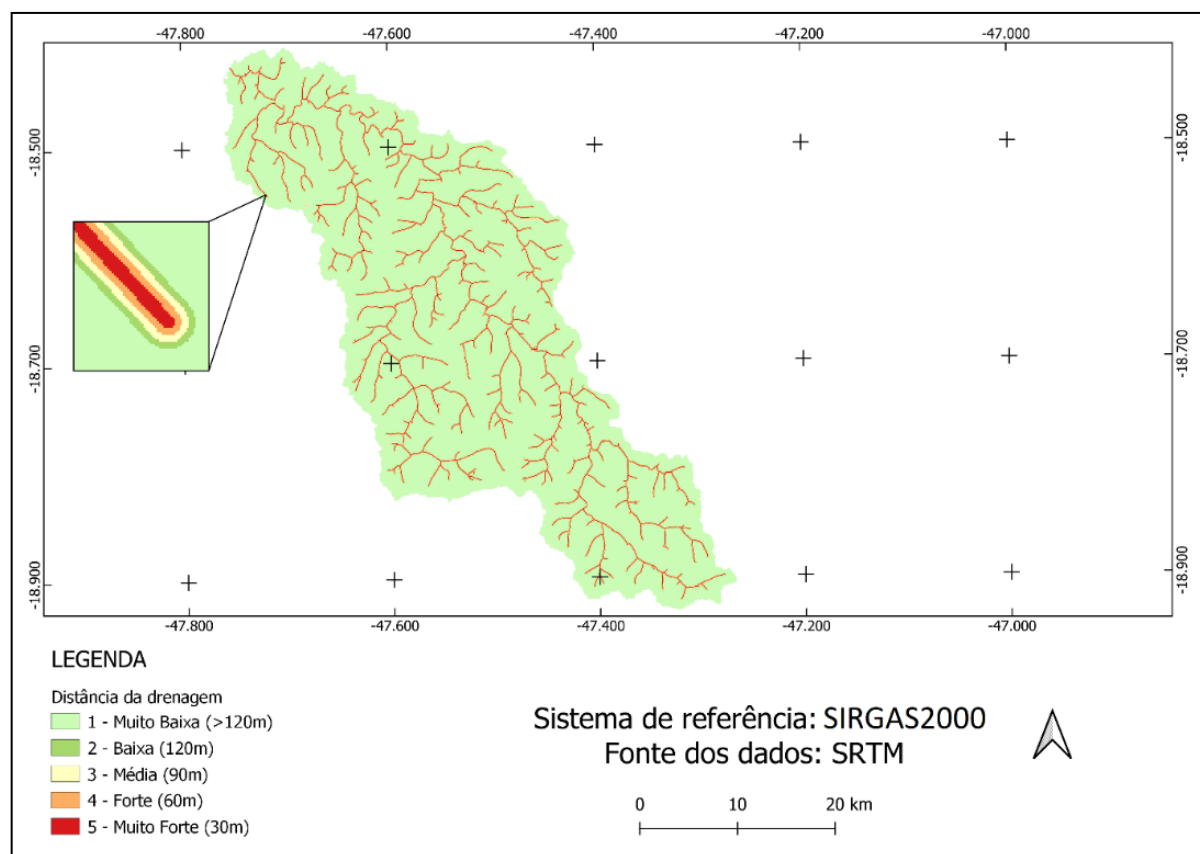
3.1. Distância da Drenagem e Fragilidade Ambiental

A análise da distância da drenagem indicou que as áreas localizadas próximas aos cursos d'água da sub-bacia do Rio Perdizes apresentam níveis de fragilidade ambiental classificados como alta a muito alta (Figura 2). As faixas de até 60 metros de distância do leito — correspondendo às classes “Forte” e “Muito Forte” — são especialmente suscetíveis a

processos de lixiviação, assoreamento e contaminação hídrica por resíduos urbanos e produtos fitossanitários oriundos de atividades agrícolas (Leão de Souza *et al.*, 2020).

Essas áreas coincidem com as faixas de preservação permanente (APPs) previstas no Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651/2012), que estabelece proteção obrigatória para matas ciliares. No entanto, observou-se, durante a análise em campo e na interpretação de imagens, a presença de intervenções antrópicas nessas zonas, como desmatamento e ocupação irregular, comprometendo sua função ecológica de proteção dos recursos hídricos e mitigação de impactos ambientais.

Figura 2. Mapa de distância da drenagem da sub-bacia do Rio Perdizes.

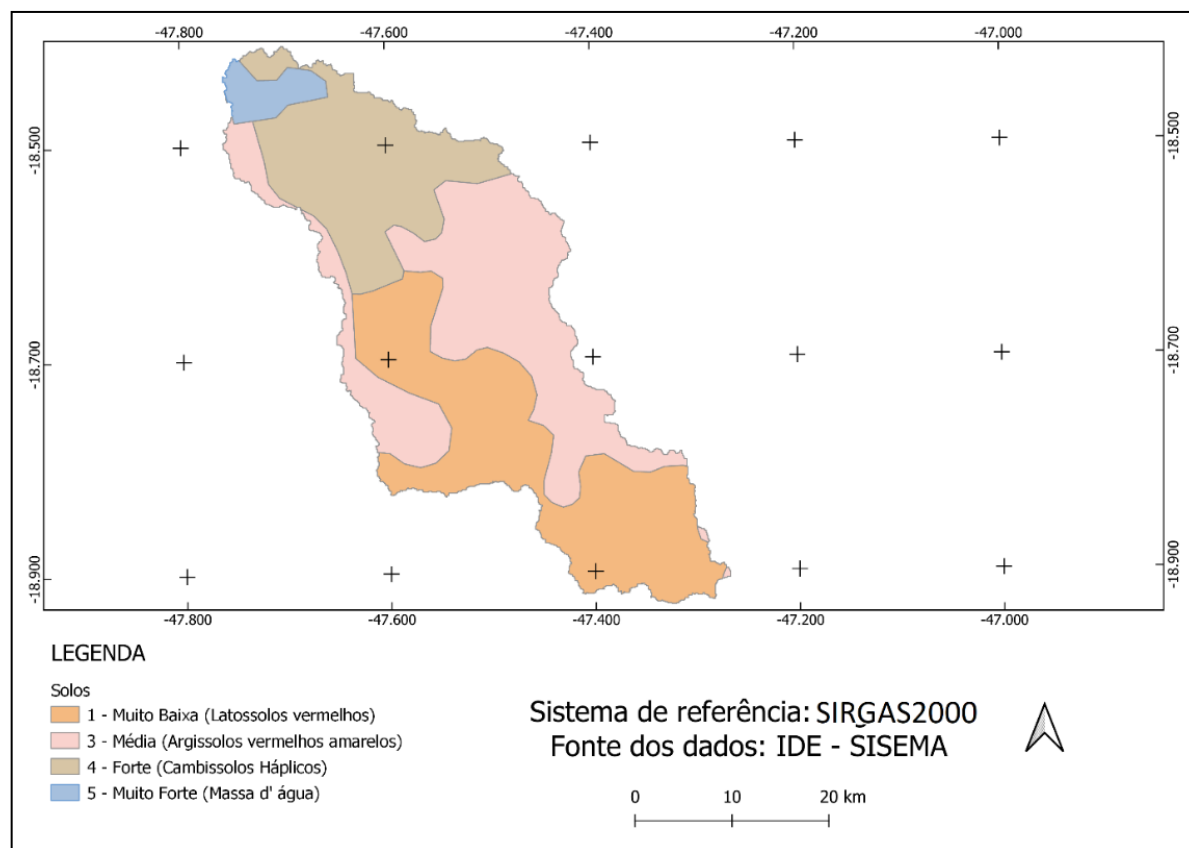


Fonte: Autores (2024).

3.2. Os tipos de solos e a fragilidade ambiental

A porção norte da bacia é caracterizada pela predominância de Cambissolos Háplicos, enquanto as regiões leste e sul apresentam maior ocorrência de Argissolos e Latossolos (Figura 3). Os Cambissolos, por serem solos rasos e de textura arenosa, são mais suscetíveis à erosão, especialmente quando associados ao elevado índice de dissecação do relevo observado em toda a área. Em contrapartida, na porção sul predominam os Latossolos, que apresentam maior resistência à degradação ambiental por se tratarem de solos mais antigos, bem drenados e com elevado teor de silte e argila.

Figura 3. Mapa dos tipos de solos da sub-bacia do Rio Perdizes.

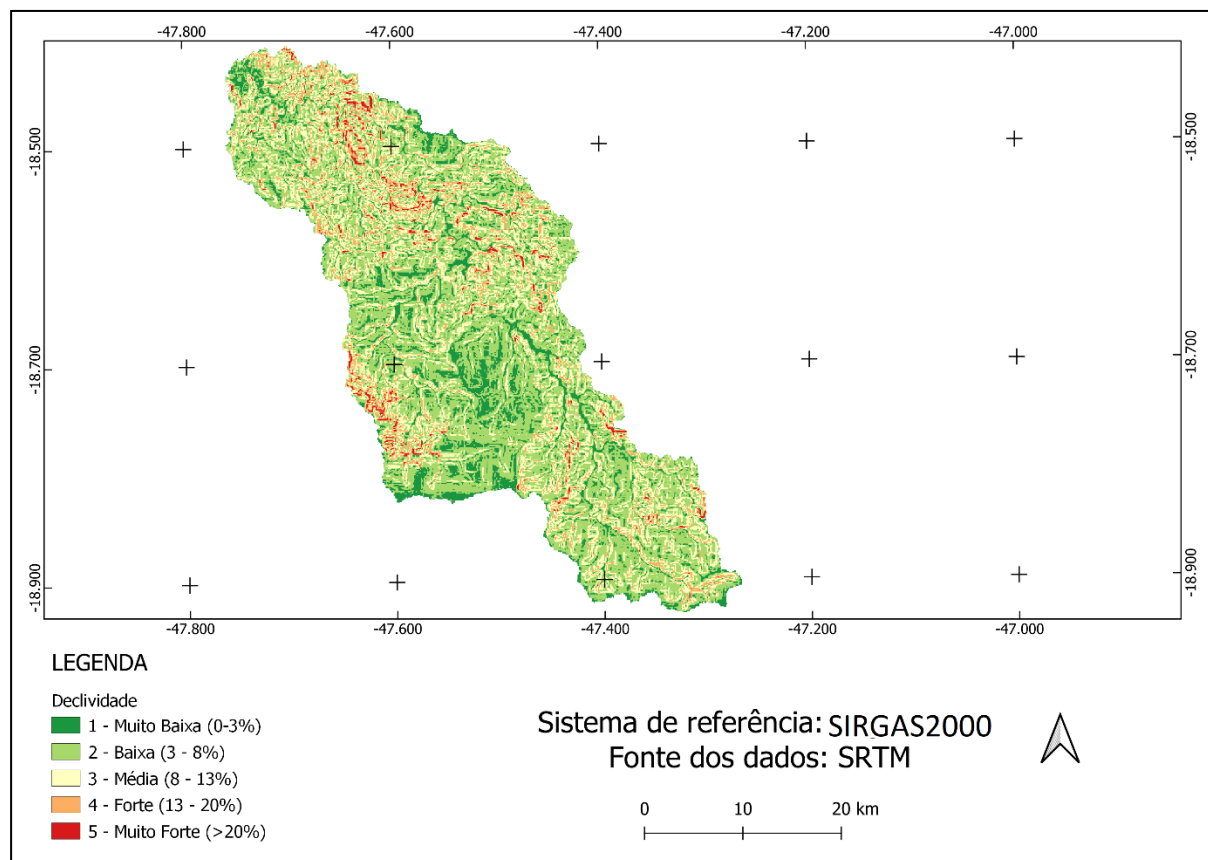


Fonte: Autores (2024).

3.3. A declividade e a fragilidade ambiental

A área apresentou predominância de declividade baixa (50,14%) ou muito baixa (13,59%), enquanto 26,34% das áreas possuem declividade média (Figura 4). Como a declividade é relacionada a fragilidade, Código florestal determina que áreas acima de 45° sejam preservadas, são as áreas de preservação permanente – APPs. Conforme preconiza o código florestal “Em áreas de inclinação entre 25° e 45°, serão permitidos o manejo florestal sustentável e o exercício de atividades agrossilvipastoril, bem como a manutenção da infraestrutura física associada ao desenvolvimento das atividades, observadas boas práticas agrônômicas, sendo vedada a conversão de novas áreas, excetuadas as hipóteses de utilidade pública e interesse social.” Isso não ocorre na prática.

Figura 4. Mapa de declividade da sub-bacia do Rio Perdizes.



Fonte: Autores (2024).

3.4. O índice de dissecação do relevo e a fragilidade ambiental

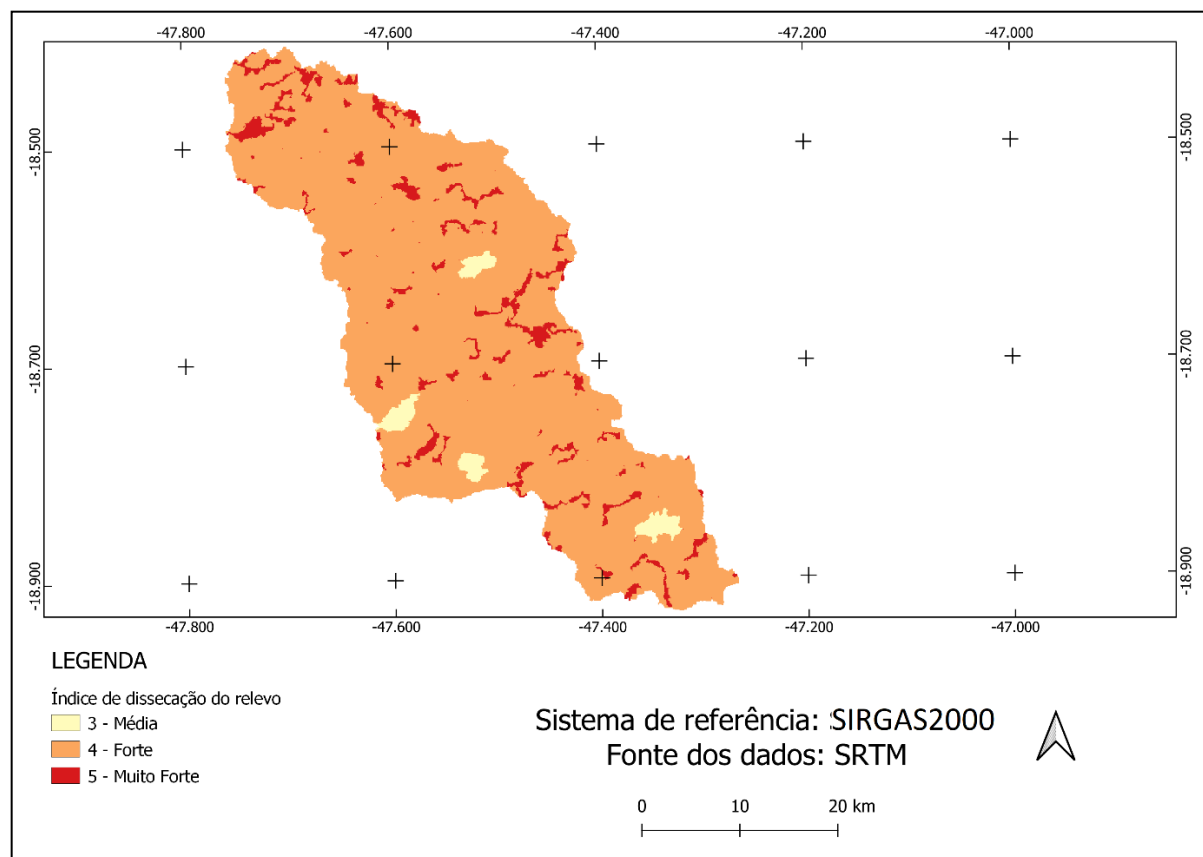
O índice de dissecação do relevo apresentou 91,14% áreas degradadas com índice forte. Essas áreas estão com relevo dissecado, como observado in loco, Figuras 4 e 5, podemos observar que a falta de vegetação vai intensificando a geomorfologia do local, podendo resultar em deslizamentos de terra, voçorocas etc.

Figura 5 - Fotos da área de estudo, evidenciando as áreas com relevo dissecado na sub-bacia Rio Perdizes.



(A) Presença de voçorocas. (B) Presença de gado na área. (C) Vegetação típica de Cerrado. (D) área de drenagem/dissecada bem evidente.

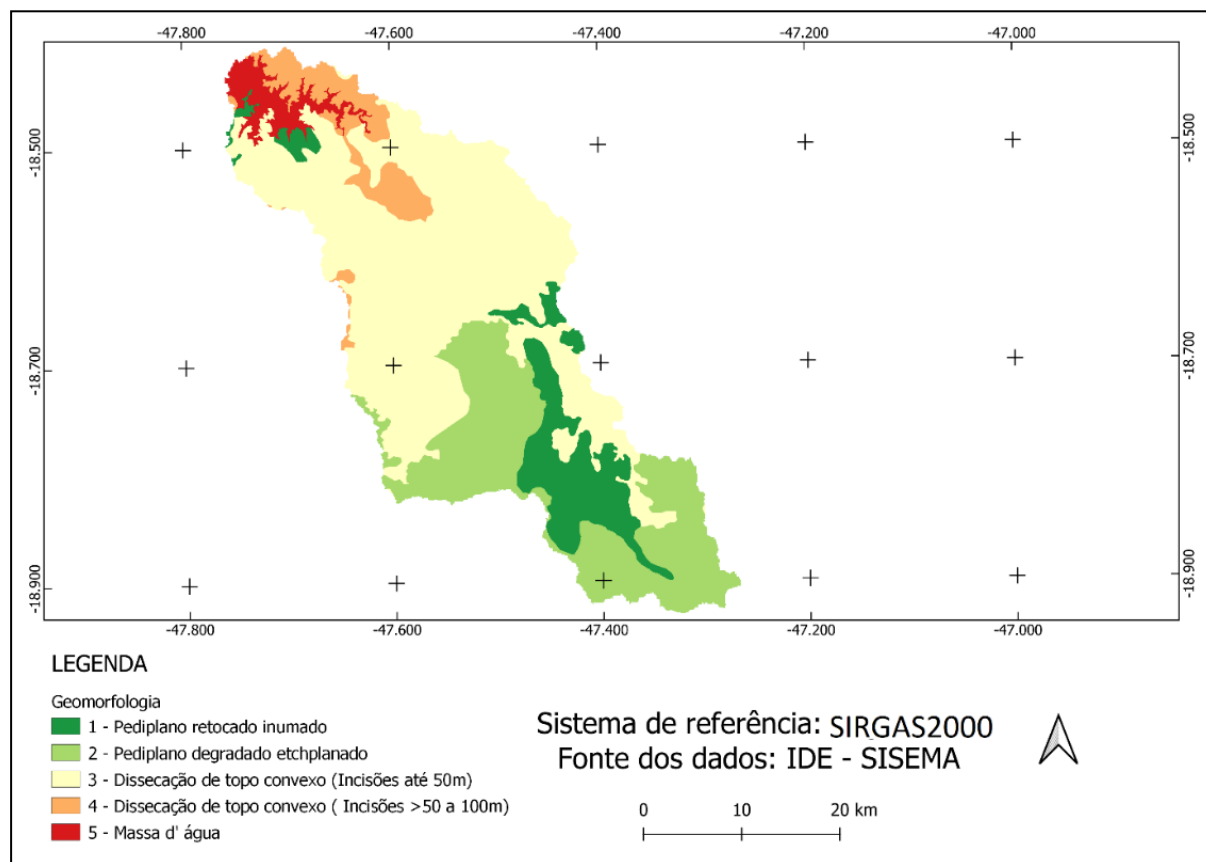
O relevo dissecado, favorece a fragilidade potencial média e fragilidade emergente alta (Figura 6), por ser um solo incipiente associado a geomorfologia do terreno mais dissecada, o que favorece a susceptibilidade do local a erosão (França *et al.*, 2018). A análise da inclinação do terreno e dos domínios geológicos indicam que as áreas com menor fragilidade estão frequentemente ligadas a terrenos mais planos ou suavemente ondulados, menos suscetíveis à erosão (França *et al.*, 2018).

Figura 6 – Mapa do índice de dissecação do relevo sub-bacia Rio Perdizes.

Fonte: Autores (2024).

3.5. A geomorfologia e a fragilidade ambiental

A geomorfologia (Figura 7), particularmente a presença de chapadas (planaltos), influencia o tipo de uso da terra, a maior parte da área sob chapadas possui uso de cultivos perenes e áreas dissecação de topo convexo estão situadas em monocultivos, como cana, soja e pastagem degradada.

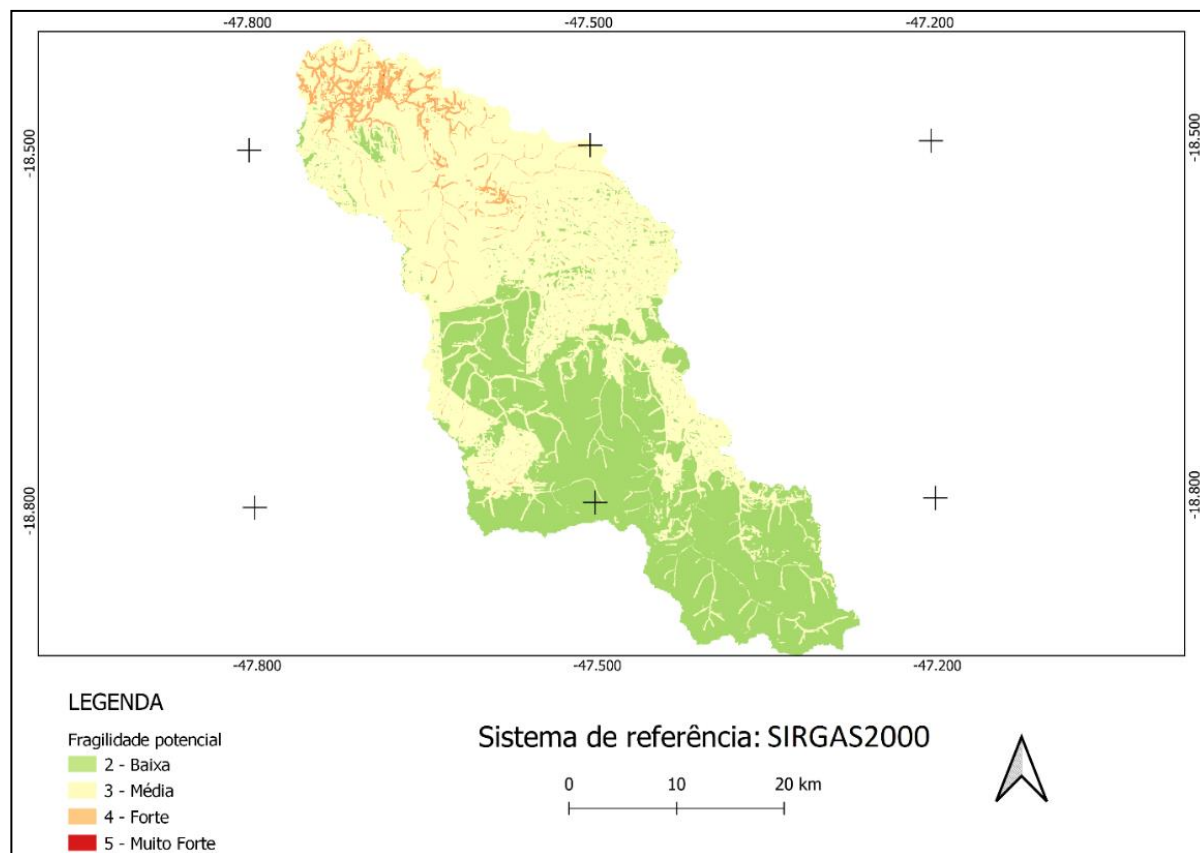
Figura 7 - Mapa de geomorfologia da sub-bacia Rio Perdizes.

Fonte: Autores (2024).

3.6. A Fragilidade Ambiental Potencial

A análise da fragilidade potencial (Figura 8) revelou que a maior parte da área de estudo está concentrada nas classes 2 e 3, totalizando 96,26% da área da bacia. Portando levando em consideração todas as variáveis discutidas: declividade, índice de dissecação do relevo, geomorfologia, tipo de solos e distância de drenagem, temos sua fragilidade natural, mas quando é acrescentando o uso e cobertura da terra existe intensificação da fragilidade.

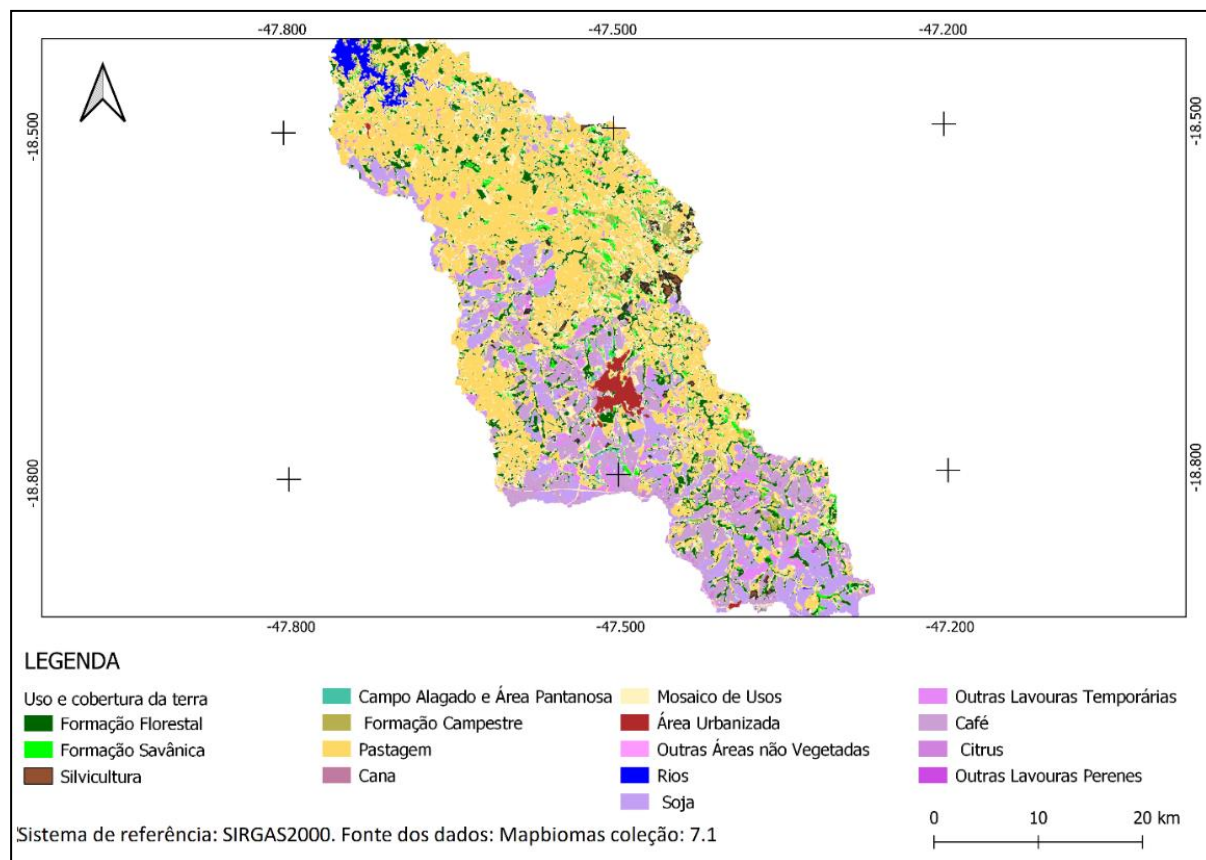
Figura 8: Mapa da fragilidade potencial da sub-bacia Rio Perdizes.



Fonte: Autores (2024).

3.7. Uso e cobertura do solo

Considerando a ação do antrópica, a Figura 9 mostra que em áreas de chapadas associadas a latossolos estão situadas as culturas de ciclo perene, 52,16% da área se encontra sob fragilidade emergente forte e apresenta: pastagens, cana, café, Campo Alagado e Área Pantanosa, mosaico de usos (nomenclatura adotada pelo MapBiomas), citrus e outras lavouras perenes.

Figura 9 - Uso e cobertura da terra da sub-bacia Rio Perdizes.

Fonte: Autores (2024).

3.8 Fragilidade Ambiental Emergente

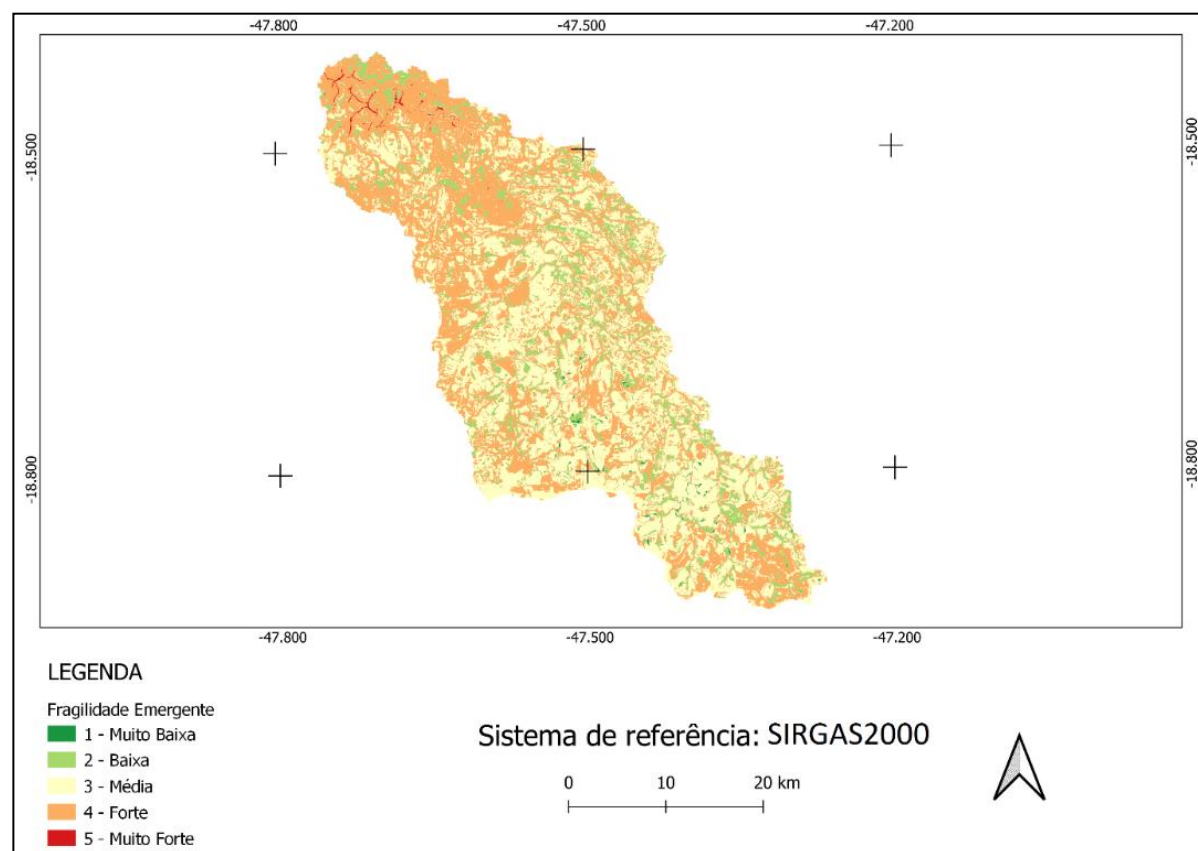
Considerando a fragilidade ambiental emergente. As características que ocorrem naturalmente (Fragilidade potencial) e somado a ações antrópicas, o tipo de atividade desenvolvida bem como as zonas urbanas são avaliadas, existe intensificação de uso de pastagem, principalmente pastagem degradada, com mal manejo, cominando em áreas de voçorocas. A fragilidade emergente (Figura 10), modelada para a bacia hidrográfica, variou entre média (Classe 3) a forte (Classe 4). A intensificação agrícola da região resulta na fragmentação da vegetação nativa, ocasionando em efeito de borda, alterando o fluxo gênico, aumentando a incidência solar, modificando a abundância de espécies (Takikawa; Silva; Lourenço, 2021). A área da bacia do Rio Perdizes naturalmente possui características de baixa fragilidade potencial, no entanto, quando há a intervenção humana, a classe de fragilidade emergente aumenta, concentrando-se nas áreas de alta fragilidade. Isso enfatiza que as atividades antrópicas contribuem para o aumento da fragilidade ambiental, concomitante com estudo de Ferreira (2022) realizado para a mesma área.

Tabela 6 - Áreas das variáveis do estudo relacionados com o peso que estão inseridas. Fonte: Autores (2024).

Variáveis	Tipo de solo	Declividade	Geomorfologia	Drenagem	Uso e cobertura da terra	IDR
Peso						
1	35,28%	13,59%	11,76%	86,89%	10,93%	0,00%
2	0,00%	50,14%	24,70%	3,25%	1,76%	0,00%
3	36,81%	26,34%	53,16%	3,27%	0,92%	2,36%
4	24,55%	8,44%	6,89%	3,29%	52,16%	91,14%
5	3,35%	1,49%	3,49%	3,31%	34,27%	6,56%

Conforme Tabela 6 e Figura 10, área possui 86,43% situada em fragilidade emergente forte a muito forte. As variáveis determinantes foram índice de dissecação do relevo e uso e cobertura da terra que têm maior percentual na classe de fragilidade emergente forte. Intensificação da atividade humana somado a uma dissecação do relevo acentuada com incisões chegando a 100 metros (Figura 6), acentua a sensibilidade do local e chamando a atenção para essas áreas que merecem uma atenção para serem protegidas e evitar que a situação se agrave.

Figura 10 – Fragilidade ambiental emergente da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Perdizes, Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Autores (2024).

A fragilidade emergente foi menor nas áreas próximas aos cursos d'água devido a presença de APPs – Áreas de Preservação Permanente. Estas áreas atuam como uma barreira natural, minimizando os impactos antrópicos (Brasil, 2012). A implantação e manutenção de APPs reduz a vulnerabilidade dos cursos d'água e áreas adjacentes, tornando-os menos resistentes aos impactos antrópicos, como desmatamento, expansão urbana e poluição dos recursos, fornece proteção do solo, aumenta a capacidade de infiltração da água e diminui o escoamento superficial (Sousa; Lopez; Santos, 2020). Locais onde essa vegetação encontra-se preservada podem auxiliar no manejo de pragas e polinização, ambos serviços ecossistêmicos vitais que suportam maiores rendimentos das culturas.

A fragilidade emergente é maior na parte onde está sendo ocupada por pastagens degradadas (Figura 10) somada a um solo arenoso, raso, representando uma ocupação de 39,6% do território. Somada a outros usos agrícolas, a área voltada a agricultura corresponde a 86,43% e estão concentradas na classe alta a muito alta fragilidade. Em um estudo realizado na Bacia Hidrográfica do Jequitinhonha, também evidenciou o aumento da fragilidade ambiental associada a atividades agrícolas antrópicas (França *et al.*, 2022). Observações feitas durante a coleta de dados de campo identificaram a presença de pastagens degradadas, resultando em processos erosivos. O agravamento desses processos culmina na formação de voçorocas, ocasionando a depreciação do solo e desvalorização da terra.

A ação humana gera impactos negativos significativos nas bacias hidrográficas do Brasil, principalmente através da supressão da vegetação nativa (Campos *et al.*, 2023). Souza (2022), expansão urbana e práticas de monocultura (notadamente cana-de-açúcar e café) têm contribuído significativamente para a supressão da vegetação na região. Estas atividades levam à perda de habitat e fragmentação das restantes áreas florestais. Isto sugere que enquanto o número de fragmentos diminuiu, as suas formas tornaram-se mais irregulares, o que pode afetar os processos ecológicos (Lira *et al.*, 2022). Uma alternativa de conciliação é incentivar o envolvimento da comunidade no ordenamento do território para garantir que as necessidades locais são satisfeitas, protegendo os recursos naturais.

Diante dos resultados obtidos algumas medidas de manejo serão listadas como sugestão para melhoria da área. O foco é recuperar a capacidade produtiva, reduzir a erosão e aumentar a infiltração de água, especialmente nas áreas de pastagem degradada e solo exposto perto de voçorocas. Como listados a seguir:

- Implementar o Plantio Direto com rotação de culturas, o que mantém o solo coberto e reduz o revolvimento. Construir terraços e curvas de nível para quebrar o fluxo da água em encostas, minimizando a erosão.
- Adotar o Manejo Rotacionado e a adubação de correção. Introduzir sistemas silvipastoris (integração de árvores, pasto e gado), pois as árvores fixam o solo, fornecem sombra (melhorando a saúde do pasto) e aumentam a matéria orgânica.
- Implementar obras de bioengenharia: uso diques de terra e pedra no fundo das ravinas para reter sedimentos e água. Revestimento vegetal com espécies de rápido enraizamento para estabilizar as paredes.
- Executar o reflorestamento imediato das faixas marginais desmatadas, conforme o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Priorizar espécies nativas do Cerrado (matas ciliares).

- Criar um mapa de zoneamento oficial que integre os resultados da Fragilidade Emergente. Este mapa deve delimitar formalmente as áreas de exclusão de uso, as áreas de uso restrito (somente com práticas conservacionistas) e as áreas de uso intensivo.
- Criar programas municipais de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) para remunerar proprietários rurais que optarem por restaurar APPs ou adotarem práticas de manejo conservacionista nas áreas de alta fragilidade (especialmente onde há Cambissolos ou alto IDR).
- Promover workshops e assistência técnica rural para disseminar práticas de manejo sustentável (sistemas agroflorestais, ILPF, manejo de pastagens). O incentivo ao turismo ecológico pode gerar renda e justificar a conservação das áreas naturais remanescentes.

4. Considerações finais

A análise da fragilidade potencial indicou que a maior parte da área da bacia se encontra nas classes 2 e 3, totalizando 119.699,81 ha, o que corresponde a 96,26% da área total. Quanto à fragilidade emergente, observou-se predominância das classes 3 e 4, que juntas abrangem 108.637,25 ha, representando 87,37% da bacia. Na porção norte, verifica-se maior concentração de Cambissolos Háplicos, os quais, associados à declividade acentuada e ao relevo dissecado, contribuem para uma fragilidade potencial média e uma fragilidade emergente elevada. Essa combinação de fatores, solos jovens e rasos, aliados a uma geomorfologia mais irregular aumenta a suscetibilidade à erosão.

A intensificação da fragilidade emergente nessa região está diretamente relacionada ao uso predominante do solo por pastagens, que ocupam aproximadamente 39,6% da área total e se sobrepõem majoritariamente aos Cambissolos Háplicos. Essa sobreposição agrava os processos erosivos e compromete a estabilidade ambiental.

Por outro lado, as áreas classificadas com fragilidade emergente baixa coincidem, em sua maioria, com regiões cobertas por vegetação nativa, compreendendo Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais. Tais áreas exercem papel essencial na proteção dos recursos hídricos, na estabilidade do solo e na manutenção da integridade ecológica da bacia, evidenciando sua relevância na mitigação dos processos de degradação ambiental e na sustentabilidade do uso do solo.

Referências

Artaxo, p. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. Estudos avançados, v. 34, n. 100, p. 53–66, set. 2020.

Azevedo, t. R. De et al. Seeg initiative estimates of brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. Scientific data, v. 5, n. 1, p. 1–43, 2018. Doi: 10.1038/sdata.2018.45.

Brasil. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (novo código florestal). Presidência da república. Casa civil. Subchefia para assuntos jurídicos, 2012.

Campos, l. C. A atuação de minas gerais na agenda de mudança do clima. 2023. Dissertação (mestrado em administração pública) – universidade federal de alfenas, varginha, mg, 2023.

Confessor, j. G.; silva, l. L.; aráujo, p. M. S. De. Avaliação das perdas de água e solo em pastagem inserida em ambiente de cerrado brasileiro sob chuva simulada. Sociedade & natureza, v. 34, p. E65618, 2022.

Costa, a. M. Avaliação temporal dos conflitos de uso e ocupação da terra em áreas de preservação permanente pertencentes à bacia hidrográfica do rio perdizes-mg. 2019. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em engenharia de agrimensura e cartográfica) – universidade federal de uberlândia, monte carmelô, 2019.

Costa, e. S. Da; leite, e. F. Fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio nioaque-ms. Geofronter, p. 1–22, 2022.

Ferreira, s. J. M. Análise multitemporal da fragmentação florestal no alto da bacia do rio perdizes-mg. Universidade federal de uberlândia, 2022.

França, l. C. De j. Fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio jequitinhonha, minas gerais, brasil. 2018. Dissertação (mestrado em ciência florestal) – universidade federal dos vales do jequitinhonha e mucuri, diamantina, mg, 2018. 114 p.

França, l. C. J.; menezes, e. S.; silva, m. D.; mucida, d. P. Análise estatística espacial de métricas da paisagem utilizando o patch analyst. In: felsemburg, c. A. (org.). A produção do conhecimento na engenharia florestal. Atena editora, 2020.

França, l. C. De j. Et al. Modelagem da fragilidade ambiental potencial de almenara, minas gerais. Recital – revista de educação, ciência e tecnologia de almenara/mg, v. 2, n. 1, p. 37–59, 2020. Doi: 10.46636/recital.v2i1.64.

França, l. C. J. Et al. Ecologia de paisagens aplicada ao ordenamento territorial e gestão florestal: procedimentos metodológicos. Revista nativa, v. 7, n. 5, p. 613–620, 2019.

Hernández-moreno, á. Et al. Forest landscape dynamics after intentional large-scale fires in western patagonia reveal unusual temperate forest recovery trends. Landscape ecology, v. 38, p. 2207–2225, 2023. Doi: 10.1007/s10980-023-01687-x.

Ide-sisema. Infraestrutura de dados espaciais do sistema estadual de meio ambiente e recursos hídricos. Belo horizonte: ide-sisema, 2020. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2025.

Köppen, w.; geiger, r. Klimate der erde. Gotha: verlag justus perthes, 1928.

Leão de souza, d. S. Et al. Análise e mapeamento da fragilidade ambiental no município de inconfidentes – mg. Revista brasileira de geografia física, v. 13, n. 5, 2020. Doi: 10.26848/rbgf.v13.5.p2269-2292.

Lira, l. Et al. Spatial-temporal analysis of land use and land cover in the area of the parque nacional das nascentes do rio parnaíba. Research, society and development, v. 11, n. 11, p. E271111133368, 2022. Doi: 10.33448/rsd-v11i11.33368. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/33368>. Acesso em: 10 out. 2025.

Morais junior, v. T. M. Restauração florestal e neutralização de emissões de gases de efeito estufa: programa carbono zero (ufv) e adequação ambiental de propriedades rurais em minas gerais. 2021. Tese (doutorado em ciências florestais) – universidade federal de viçosa, viçosa, mg, 2021.

Potenza, r. F. Et al. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do brasil (1970–2020). Brasília, df: seeg, 2021.

Programme, u. N. E. Ecosystem restoration for people, nature and climate. United nations, 2021. Doi: 10.18356/9789280738643.

Ross, j. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do departamento de geografia, 1994.

Sousa, j. A. P. De et al. Land use changes and estimates of anthropogenic co₂ emissions in a watershed. Sociedade & natureza, v. 32, p. 249–264, 2020.

Sousa, j. A. P.; lopes, e. R. N.; souza, j. C.; lourenço, r. W. Mudanças de uso da terra e estimativas de emissões antrópicas de co₂ em bacia hidrográfica. Sociedade & natureza, v. 32, p. 262–278, 2020.

Takikawa, b. Y.; silva, d. C. Da c. E; lourenço, r. W. Proposta metodológica para elaboração de um indicador de fragilidade ambiental para fragmentos florestais. Revista do departamento de geografia – usp, n. 41, 2021. Doi: 10.11606/eissn.2236-2878.rdg.2021.170587.

Traficante, d. P. Et al. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio capivara, botucatu-sp. Energia na agricultura, v. 32, n. 1, 2017.

Tricart, j. Ecodinâmica. Rio de janeiro: fibge/supren, 1977. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~edugeo/gb082/bibliografia/tricart_ecodinamica.pdf. Acesso em: 10 out. 2025.

Valeriano, m. De m.; rossetti, d. De f. Topodata: brazilian full coverage refinement of srtm data. Applied geography, v. 32, n. 2, p. 300–309, 2012. Doi: 10.1016/j.apgeog.2011.05.004.

Wendland, e. C. Et al. Identifying stream-aquifer exchange by temperature gradient in a guarani aquifer system outcrop zone. Rbrh, v. 27, p. E23, 2022.