



## Mapeamento da fragilidade ambiental potencial e emergente em Patos de Minas, Minas Gerais

### *Mapping of potential and emerging environmental fragility in Patos de Minas, Minas Gerais*

Ana Carolina Martins Matos<sup>1</sup>, José Luiz Rodrigues Torres<sup>2</sup>, Ricardo Vicente Ferreira<sup>3</sup>, Arcângelo Loss<sup>4</sup>, Marcos Roberto Martins<sup>5</sup>, Dinamar Márcia da Silva Vieira<sup>6</sup>

**RESUMO:** A análise da fragilidade ambiental potencial e emergente utilizando técnicas de geoprocessamento e análise de multicritérios é uma importante ferramenta que pode subsidiar a tomada de decisões para a implantação de políticas públicas no município, intervindo nas ações antrópicas em favor da sustentabilidade e da responsabilidade ambiental. Neste estudo objetivou-se determinar a fragilidade ambiental potencial e a emergente utilizando-se de técnicas de geoprocessamento e análise multicritérios, em Patos de Minas, MG. A partir da integração dos dados declividade, geomorfologia, classes do solo, uso e ocupação do solo, pluviosidade e planície de inundação, foi gerado o mapa de fragilidade ambiental potencial (FAP) e emergente (FAE) da área utilizando a avaliação multicritério de um conjunto de planos de informações ambientais. Para as análises das planilhas de dados utilizou-se o *software* ArcGis na plataforma de Sistemas de Informações Geográficas. Na região avaliada predominam os Latossolos nas áreas com até 20% de declividade, que equivale a 76,48% da área total ou 2.438,87 km<sup>2</sup>, e que estão menos sujeitos aos processos erosivos, devido à presença de elevada cobertura vegetal. Os resultados mostram que 76,59% da área do município possuem fragilidade ambiental potencial e 96,31% de fragilidade ambiental emergente, nas classes de baixa à média. As áreas do município apresentaram índices alto e muito alto de fragilidade ambiental potencial de 23,52% e emergente de 3,70%, evidenciando a baixa degradação ambiental na região. A determinação da FAE mostra que 70% da área do município são áreas propensas à ocorrência de processos erosivos, informação esta que deve ser levada em consideração no planejamento de uso da área agrícola e urbana da região.

**Palavras-chave:** declividade, uso e ocupação do solo, degradação, vulnerabilidade ambiental.

**ABSTRACT:** The potential and emerging environmental fragility analysis using geoprocessing techniques and multi-criteria analysis is an important tool that can support decision-making for the implementation of public policies in the municipality, intervening in human actions in favor of sustainability and environmental responsibility. This study aimed to determine potential (PEF) and emerging (EEF) environmental fragility using geoprocessing techniques and multicriteria analysis, in Patos de Minas, MG. From the integration of slope, geomorphology, soil classes, land use and occupation, rainfall and floodplain data, a map of potential and emerging environmental fragility of the area was generated using the multicriteria evaluation of a set of environmental information plans. To analyze the data sheets, the ArcGis software was used on the Geographic Information Systems platform. In the region evaluated, Oxisols predominate in areas with up to 20% declivity, which is equivalent to 76.48% of the total area or 2,438.87 km<sup>2</sup>, which are less subject to erosive processes, due to the presence of high vegetation cover. The results show that 76.59% of the area of the municipality has potential environmental fragility and 96.31% of emerging environmental fragility, in the low to medium classes. The areas of the municipality presented high and very high rates of potential environmental fragility of 23.52% and emerging fragility of 3.70%, highlighting the low environmental degradation in the region. The FAE's determination shows that 70% of the municipality's area is prone to the occurrence of erosive processes, information that must be taken into consideration when planning the use of the region's agricultural and urban areas.

**Keywords:** declivity, land use and occupation, degradation, environmental vulnerability.

**Autor correspondente:** José Luiz Rodrigues Torres  
Email: jlrtorres@iftm.edu.br

Recebido em: 15/01/2023  
Aceito em: 01/11/2023

<sup>1</sup> Estudante do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade Federal Triângulo Mineiro (UFTM). Av. Randalfo Borges Júnior, nº 1250 - Univerdecidade, Uberaba - MG, Brasil.

<sup>2</sup> PÓS-DOC em Agronomia/Ciência do Solo pela UFRRJ; DOUTOR em Agronomia/Produção Vegetal pela UNESP-Jaboticabal - SP; MESTRADO em Agronomia/Fitotecnia pela UFRRJ - RJ; GRADUAÇÃO em Licenciatura em Ciências Agrícolas pela UFRRJ - RJ. PROF. Titular/Orientador dos cursos de Mestrado: 1 - Profissional em Produção Vegetal do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM); 2 - Acadêmico, no Programa de Pós-graduação em Em Agronomia (PPGA/ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU); 3 - Acadêmico, no mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM). Atua na orientação de trabalhos de conclusão de curso (graduação), bolsistas de iniciação científica, especialização e mestrado e doutorado nas áreas de Agronomia, Zootecnia e Gestão Ambiental. Coordenador do GRUPO DE PESQUISA credenciado junto ao CNPq denominado "Manejo e conservação da água e solo no Cerrado".

<sup>3</sup> Professor Doutor em Geografia, Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), Uberaba, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Professor Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Catarina campus Florianópolis, Brasil.

<sup>5</sup> Professor Doutor em Geografia, Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, SP, Brasil.

<sup>6</sup> Estudante do Programa de Pós-graduação em Agronomia do Instituto de Ciência Agrárias (PPGA/ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Minas Gerais, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das sociedades está associado ao avanço da exploração dos recursos naturais, que podem causar desequilíbrios dos processos ecológicos, tornando ainda mais necessário à elaboração do planejamento físico, que deve levar em consideração as fragilidades e potencialidades das áreas que serão antropizadas (Anjinho *et al.*, 2021). Tal planejamento é fundamental para conhecer e organizar o espaço de acordo com as potencialidades dos recursos e minimizar os danos ambientais, sendo que a primeira etapa a ser realizada é o diagnóstico da área, onde serão levantadas as variáveis ambientais utilizando critérios predefinidos, que irão facilitar a tomada de decisão (Franco *et al.*, 2012; Pericato; Souza, 2019).

Quando esta tomada de decisão envolve informações complexas, a sistematização das respostas é fundamental, que pode ser realizada através de vários métodos, dentre eles a análise multicritério tem sido um dos mais utilizada, porque tem se mostrado adequada para a aplicação em planejamentos ambientais (Oliveira *et al.*, 2014). A análise multicritério torna possível solucionar problemas com objetivos conflitantes, através de abordagens quantitativas e qualitativas, além de possibilitar a inserção de percepções de grupos de interesse (Guarnieri *et al.*, 2015). Também permite a integração de fatores relevantes e metodologias para facilitar os processos de avaliação de outras tecnologias (Rezaei; Ortt, 2013).

Segundo Donha *et al.* (2006), para se determinar as potencialidades dos recursos naturais é necessário um estudo dos solos, relevo, geologia, água, clima e vegetação, enquanto que para as análises da fragilidade ambiental, esses componentes devem ser avaliados de maneira integrada, considerando-se sempre as intervenções antrópicas modificadoras dos ambientes naturais. Ross (2011, 2012) e Nascimento *et al.* (2016) destacam que a fragilidade ambiental potencial (FAP) de uma área pode ser determinada a partir do cruzamento das informações de solos, declividade e distância dos recursos hídricos, enquanto que a fragilidade emergente é definida a partir do cruzamento da FAP com informações do uso do solo e vegetação.

Por conseguinte, com a determinação dos graus de fragilidade da paisagem, seja potencial ou emergente, são oferecidas melhores definições para o processo de planejamento territorial, que é o alicerce para o delineamento de diretrizes e ações de gestão e governança das terras rurais (Valle *et al.*, 2016, Vieira *et al.*, 2021). Através de estudos desenvolvidos sobre fragilidade e vulnerabilidade ambiental é possível identificar áreas suscetíveis a impactos ambientais, de ordem natural ou antrópica, integrando formas do relevo, solo, clima e uso e ocupação do solo (Storto; Cocato, 2018).

O estudo do meio físico, somado à sua característica de uso e ocupação, propicia a obtenção de um diagnóstico de diversas categorias hierárquicas, no que se refere à fragilidade dos ambientes. Propicia adicionalmente a determinação da vulnerabilidade ambiental da área (Pires *et al.*, 2015; Nascimento *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2017; França *et al.*, 2019).

A hipótese testada neste estudo é a de que o mapeamento da fragilidade ambiental potencial e emergente do município em estudo é uma importante ferramenta de diagnóstico, que pode subsidiar a tomada de decisão para o desenvolvimento do planejamento ambiental e territorial de sua área agrícola ou urbana. Neste estudo objetivou-se determinar a fragilidade ambiental potencial e a emergente utilizando de técnicas de geoprocessamento e análise multicritérios, em Patos de Minas, Minas Gerais.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O estudo foi realizado no município de Patos de Minas, MG, localizado entre as coordenadas 18° 34' 46" 00" de Latitude Sul, 46° 31' 06,00" de Longitude Oeste. A altitude média de 842 m, abrangendo uma

área total de 3.188,91 km<sup>2</sup>, distribuídos em nove distritos (Figura 1), na qual predomina a exploração de pastagem, além de contar com áreas expressivas com cultivo de milho, soja e café (IBGE/PPM, 2017).

### Clima da região

O clima da região é classificado como Tropical de altitude (Aw), de acordo com classificação Koppen atualizada (Martins *et al.*, 2018), com precipitação e temperatura média anual em torno de 1400 mm e 21,1 °C, respectivamente (INMET, 2021).

Foi considerada a pluviosidade média da série histórica de 30 anos (ANA, 2015) na análise dos níveis de fragilidade ambiental, pois levam em consideração as situações de regularidade das precipitações e seu volume anual em uma dada paisagem. Na área de estudo as chuvas são concentradas no verão e estiagem no inverno, e as pluviosidades anuais giram em torno de 1200 mm, o que caracteriza uma condição de média fragilidade ambiental em toda sua extensão.

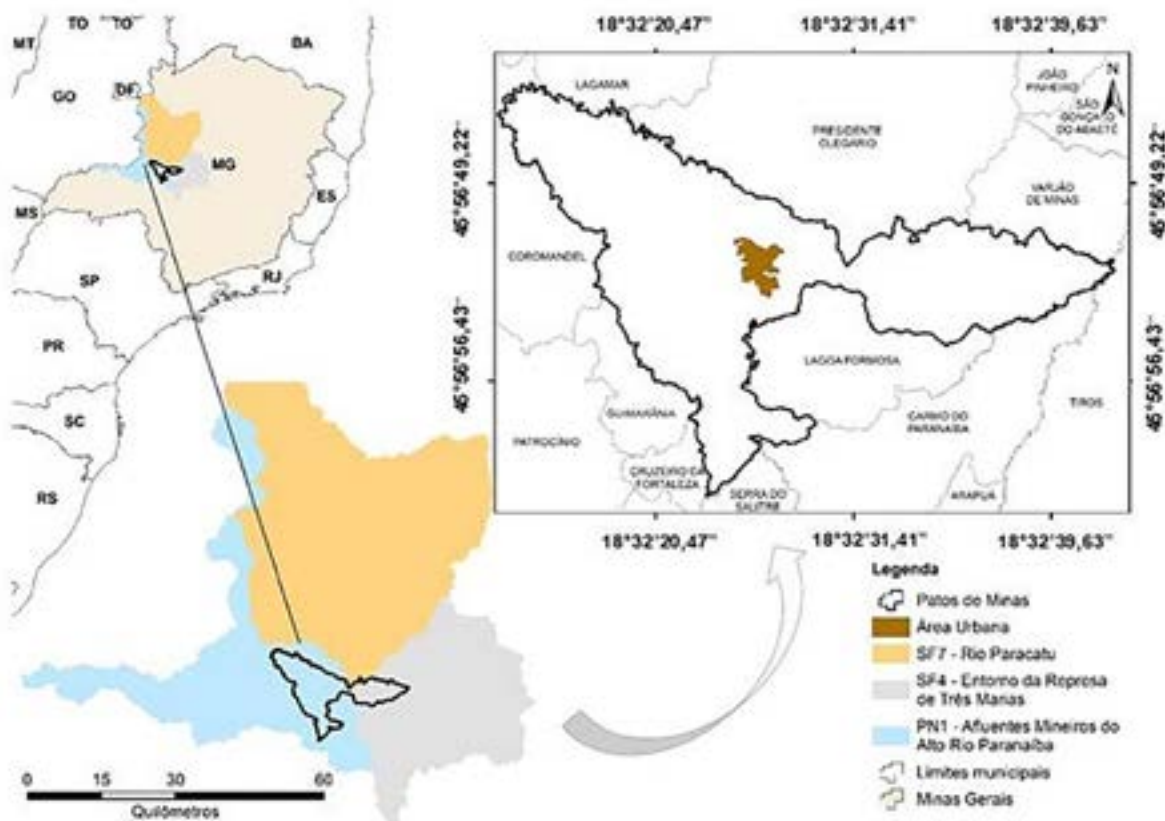


Figura 1. Localização geográfica do município de Patos de Minas, no contexto do estado de Minas Gerais, Brasil.

### Tipos de solo

Na região predomina o Latossolo Vermelho (Santos *et al.*, 2018) de textura argilosa, com aproximadamente 658, 112 e 230 g kg<sup>-1</sup> de argila, areia e silte, respectivamente. A geologia da região é representada pelo Grupo Bambuí, com a Formação Serra da Saudade (CPRM, 2013).

As classes de solo foram associadas às características de textura e estrutura (Ross, 2012), seguindo resultado do mapeamento convênio entre a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC, 2010). A partir da obtenção destes dados, foi gerado o polígono da área do município de Patos de Minas e aplicada à nomenclatura com base na classificação brasileira de solos (Santos *et al.*, 2018).

## 2.2 BASE DE DADOS UTILIZADA

Para proceder à análise das atividades produtivas e do uso das terras na área delimitada, utilizou-se base de dados obtida do site MapBiomias versão 4.1, do qual se obteve os dados de cobertura do solo do município de Patos de Minas, referentes ao ano de 2018. A partir desses dados foram definidas as classes de uso e ocupação do solo a serem consideradas, sendo consideradas áreas de vegetação nativa as formações campestre, florestal e savânica, pastagem, agricultura de cultura anual e perene, solo exposto, zona urbana, corpos d'água, mineração e silvicultura.

A análise da fragilidade ambiental é feita com base em dados dos relevo, solo, clima e uso e cobertura da terra (Ross, 2011). Neste estudo foram utilizados dados provenientes de órgãos públicos e, ou, instituições de referência que disponibilizam dados espaciais (Tabela 1). As informações cartográficas foram processadas em Sistema de informação geográfica (SIG) padronizadas para a referência espacial Sirgas 2000, UTM, 23 sul.

**Tabela 1.** Variáveis ambientais utilizadas no modelo geoespacial.

Tipo de dados	Fonte	Escala/resolução	URL
Modelo Digital de Elevação	INPE/Topodata (2008)	30 m res.	<a href="http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php">http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php</a>
Tipos de solos	CETEC (2010)	1:500.000	<a href="http://www.dps.ufv.br/pageid=742">http://www.dps.ufv.br/pageid=742</a>
Precipitação	ANA (2015)	1:1.000.000	<a href="http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas">http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas</a>
Hidrografia	ANA (2015)	1:100.000	<a href="https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home">https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home</a>
Uso da solo e cobertura vegetal	MapBiomias (2019)	1:100.000	<a href="https://mapbiomas.org/?cama_set_language=pt-BR">https://mapbiomas.org/?cama_set_language=pt-BR</a>
Limite municipal	Ide/Sisema (WebGis) (2020)	1:50.000	<a href="http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/#">http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/#</a>

## 2.3 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL E AQUISIÇÃO DOS DADOS GEOGRÁFICOS

As informações cartográficas foram processadas a partir da implantação de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o *software* ArcGis versão 10.3 e suas extensões, a partir da análise espacial por múltiplos critérios, por meio de uma avaliação hierárquica entre as variáveis ambientais utilizadas na pesquisa, considerando mapas de entrada.

A aplicação metodológica seguiu a proposta de Ross (2012), passando por etapas de aquisição e adequação de dados geoespaciais, geração de camadas intermediárias, padronização e combinação de mapas temáticos (álgebra de campo), através de sobreposição ponderada no *software* ArcGis 10.3. Em um primeiro momento, fez-se a conversão dos dados vetoriais para a estrutura matricial (formato *Grid*), posteriormente fez-se a reclassificação, utilizando a ferramenta de análise espacial/reclassificar e, por último, nas etapas percorridas foram utilizadas as ferramentas de análise espacial/álgebra de mapas/calculadora *raster*. Estas variáveis foram integradas de acordo com fluxograma de variáveis ambientais para a construção do modelo da fragilidade ambiental utilizado por Anjinho *et al.* (2021).

O mapa de declividade foi calculado e classificado em cinco classes, de acordo com intervalos indicados para estudos de uso e aptidão agrícola, em conformidade com os limiares que definem critérios sobre processo erosivos e estabilidades de vertentes e área de inundação, que variam de 0 a 3%; 3 a 12%;

12 a 20%; 20 a 30% e acima de 30% (Ross, 2011). A variável Relevo resultou da integração dos mapas dos *Geomorphons* e das planícies de inundação. Os *Geomorphons* são representações das estruturas fundamentais do relevo, gerados com base nas variações do modelo digital de elevação (MDE) (Silveira *et al.*, 2018).

As planícies inundáveis são as superfícies com declividades iguais ou menores que 2%, em fundos de vale ou fossos, que se caracterizam por fragilidades muito altas (5) (Gouveia; Ross, 2019; Ross, 2012). Para a geração do modelo de geomorfologia, foram adotados os mesmos parâmetros utilizados por Silveira *et al.* (2018), que resultou em nove formas, que foram associados a três níveis de fragilidade ambiental (Tabela 2).

Para proceder à análise das atividades produtivas expressas no mapa de uso da terra e da estabilidade promovida pelas coberturas vegetais naturais, utilizou-se base os dados do projeto MapBiomias de 2020. A partir desses dados foram definidas as classes de uso da terra e cobertura vegetal (UTCV) como: vegetação nativa (formações campestre, florestal e savânica), pastagem, agricultura (culturas anuais e perenes), solo exposto, zona urbana, corpos d'água, mineração e silvicultura (Tabela 2).

**Tabela 2.** Pesos atribuídos aos componentes das variáveis

Chuva	S*	D	G	PI*	CV	NF
mm	--	%	--	---	--	Valor Classe
--	LVd, LVdf e LVAd	0 - 3	Picos, ressaltos e cristas	--	Formação florestal e Savânica	1 Muito Baixa
--	--	3 - 8	--	--	Formação campestre	2 Baixa
1.229,7	PVAe	8 - 20	Encostas	--	Pastagens, Silvicultura	3 Média
--	CXbd e CXbe	20 - 45	--	--	Culturas anuais, perenes	4 Alta
--	RLd, RQo e RYbe	> 45	Fossos, Bases das encostas, Vales	Fosso e vales; declividade <2%	Solo exposto/área urbana/ mineração	5 Muito Alta

\* LVd = Latossolo Vermelho Distrófico; LVdf = Latossolo Vermelho Distroférico; LVAd = Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; PVAe = Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico; CXbd = Cambissolo Háptico Tb Distrófico; CXbe = Cambissolo Háptico Tb Eutrófico; RLd = Neossolo Litólico Distrófico, RQo = Neossolo Quartzarênico **Órtico**; RYbe = Neossolo Flúvico Tb Eutrófico. S = Solo; D = Declividade; G = Geomorphons PI = Planície de inundação; CV = Cobertura vegetal; NF = Níveis de fragilidade.

#### 2.4 DETERMINAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL E EMERGENTE

A avaliação do grau de fragilidade ambiental da área foi realizada com base na elaboração dos mapas temáticos: pluviosidade, solos, declividade e geomorfologia, de acordo com metodologia proposta por Ross (2012). Para cada variável, foram estabelecidas classes de fragilidades, variando de muito baixa a muito alta, conferindo pesos de 1,0 (Muito baixo), 2,0 (Baixo), 3,0 (Médio), 4,0 (Forte) e 5,0 (Muito forte).

A junção destes quatro mapas resultou na carta de fragilidade ambiental potencial (FAP) do município de Patos de Minas, estimada de acordo com a metodologia descrita por Gouveia e Ross (2019). Com a média dos valores obtidos nos mapas de pluviosidade, solos, declividade e relevo, reclassificados em valores de 1 a 5 (Tabela 2), obteve-se o mapa da FAP.

$$FAP = (D + G + S + P) / 4 \quad (1)$$

Em que: FAP = Fragilidade ambiental potencial; D = Declividade; G = Geomorfologia; S = Solos e P = Pluviosidade.

Os dados gerados nas tabelas e mapas foram convertidos para o mapa de índice de fragilidade, depois foram todos integrados, levando-se em consideração as características de cada classe presente no mapa para a associação dos pesos. A seguir os dados foram convertidos para o formato matricial, onde os valores resultantes da equação 1 foram ajustados para 1 casa decimal de precisão e os níveis de fragilidade foram associados às faixas:  $0,0 \leq 1,0$  (Muito baixa);  $1,1 \leq 2,0$  (Baixa);  $2,1 \leq 3,0$  (Média);  $3,1 \leq 4,0$  (Alta);  $4,1 \leq 5,0$  (Muito alta) (Ross, 2012).

A geração do mapa da fragilidade ambiental emergente (FAE) requer a integração do mapa da FAP com o mapa do UTCV. A FAE é obtida pela aplicação da seguinte álgebra de mapas (Kawakubo *et al.*, 2005):

$$FAE = (FAP + UTCV) / 2 \quad (2)$$

Em que: FAE = Fragilidade ambiental emergente; FAP = Fragilidade ambiental potencial; UTCV = Uso da terra e cobertura vegetal.

## 2.5 ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA

Foi utilizada a análise de correspondência para ilustrar se alguns perfis são delineados ao associar os níveis de FAE com as classes de UTCV. Para isso, utilizou-se uma tabela de contingência destas duas variáveis (Ramos; Coelho, 2019; Infantosi *et al.*, 2014). A tabela de contingência foi gerada considerando-se a frequência de pixels dos níveis de FAE por classe de UTCV. Considerando que cada pixel possui uma resolução espacial de 30 m x 30 m, foi possível estimar a área de cada nível de FAE e o tipo de UTCV associado. Para o processamento de dados espaciais utilizou-se o software Qgis (2021), o Software Jamovi para análises estatísticas (Jamovi, 2021) e análise de correspondência (SEOL, 2021).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL

Ao se quantificar as classes de fragilidade ambiental potencial (FAP) do município de Patos de Minas-MG observou-se que 46,74% da área total estão inseridos nas classes muito baixa (723,56 km<sup>2</sup>) e baixa (766,93 km<sup>2</sup>) de fragilidade, o que equivale a 1.490,36 km<sup>2</sup>. A classe de média fragilidade ocorre em 29,74% do total (948,38 km<sup>2</sup>), enquanto as classes alta (506,40 km<sup>2</sup>) e muito alta (243,64 km<sup>2</sup>) ocorrem em 23,52% da área total (750,04 km<sup>2</sup>).

Estes 46,74% ocorreram em áreas menos sujeitas à ocorrência de processos erosivos e que possuem declividades que variam de 0 a 8%, nas quais predominam os Latossolos Vermelhos mais arenosos e profundos. Resultados semelhantes foram observados por Crepani *et al.* (2001), Ross (2012), Valle *et al.* (2016) e Vieira *et al.* (2021), os quais relatam que áreas com baixa declividade, onde predominavam os Latossolos, estão menos sujeitas a processos erosivos devido a sua elevada taxa de infiltração e boa drenagem.

Em seu estudo, Donha *et al.* (2006) na região de Pinhais-PR e Miara e Oka-Fiori (2007) na região de Ponta Grossa-PR, e observaram ocorrência da presença de Latossolos em 71,7 e 72,1% numa área de aproximadamente 430 e 102 hectares, com baixa declividade, respectivamente, em que avaliaram a FAP e a

classificaram como fraca, o que indica que as áreas são menos sujeitas a processos erosivos, resultados estes semelhantes às áreas de menor declividades e textura arenosa que ocorreram neste estudo.

Segundo Fushita *et al.* (2011), esta textura arenosa possibilita elevada infiltração de água e baixa erodibilidade, uma vez que são solos profundos, porosos e de alta permeabilidade, que justifica a baixa FAP quantificada.

Nas áreas classificadas como classe média, a declividade varia entre 8 e 20%, nas quais predominam as encostas com Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, com cobertura de pastagem ou silvicultura. Já nas áreas classificadas como de classes alta e muito alta, a declividade é superior a 20%, nas quais predominam os Cambissolos e os Neossolos, com a presença de culturas anuais e perenes. O solo dessas áreas está exposto ou com algum tipo de mineração, com presença de área urbana e, por isso, estão mais sujeitas a ocorrência de processos erosivos. Segundo Santos *et al.* (2018), os Cambissolos e os Neossolos são solos minerais, que apresentam baixo desenvolvimento pedogenético, que geralmente são encontrados em várzeas, planícies fluviais e terraços aluviais, ao longo das linhas de drenagens das principais bacias hidrográficas, o que também foi observado neste estudo. Em seu estudo, Nascimento *et al.* (2016) elaboraram o mapa de vulnerabilidade ambiental da microbacia do ribeirão Candidópolis, onde observaram que 86% da área que se localiza no estado de Minas Gerais predominaram as classes de FAP média (54,35%) e forte (33,74%), destacando que nestas áreas predominam os Latossolos, solos mais evoluídos e bem drenados, que receberam atribuição do índice 1 (muito baixa), enquanto que os Cambissolos e Neossolos que recebem índice 4 (Alta) e os Gleissolos índice 5 (Muito alta).

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM PATOS DE MINAS, MINAS GERAIS

No município de Patos de Minas predomina o cultivo de pastagem em 56,79%, ou 1810,84 km<sup>2</sup>, seguido por uma área quatro vezes menor, de 14,11% do total, ou 450,06 km<sup>2</sup>, ocupados com culturas anuais. Além disso, 15,81% (504,41 km<sup>2</sup>) estão ocupados por algum tipo de formação florestal, 9,42% (300,36 km<sup>2</sup>) por formação savânica e somente 1,06% constitui-se de área urbana (33,77 km<sup>2</sup>), de um total de 3.188,91 km<sup>2</sup> (Tabela 3).

**Tabela 3.** Uso e ocupação do solo no município de Patos de Minas, Minas Gerais, em 2020.

Ocupação do solo	Área do mapa	
	km <sup>2</sup>	%
Culturas anuais	450,06	14,11
Culturas perenes	3,35	0,11
Área Urbana	33,77	1,06
Água	2,44	0,08
Pastagens	1810,84	56,79
Solo exposto	4,01	0,13
Silvicultura	17,58	0,55
Mineração	0,01	220,01
Formação campestre	62,08	1,94
Formação florestal	504,41	15,81
Formação savânica	300,36	9,42
Área total	3.188,91	100,00

Na região do Alto Paranaíba (MG), Patos de Minas é a cidade de maior dinamismo econômico quanto às atividades agrossilvipastoris, onde as pastagens desempenham papel econômico importante, uma vez que a região corresponde à segunda maior bacia leiteira do Brasil, com muitas fazendas de pecuária leiteira de pequeno porte cujas atividades tradicionais correspondem à agricultura familiar (Oliveira *et al.*, 2020). Esta condição torna importante o manejo sustentável das pastagens, pois muitos estudos já comprovaram o impacto da expansão das pastagens e falta de manejo adequado sobre outras áreas e regiões no cerrado, o que implica em riscos de estabilidade dos solos e da qualidade das águas (Moraes *et al.*, 2017; Anjinho *et al.*, 2021).

Em 17,75% da área total (804,77 km<sup>2</sup>) ocorre vegetação nativa (formação florestal + campestre), que ficam situadas principalmente nas calhas dos cursos de água. Essa vegetação constitui as matas de galeria ou ciliares, que são áreas de preservação permanentes (APP) definidas pela legislação ambiental vigente (Lei Federal nº 12.651/2012). Estas APPs são áreas protegidas, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, para proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, pois estas áreas são mais susceptíveis aos processos erosivos, movimentação de massas e favorecimento de escoamento superficial das águas (Brasil, 2012).

No município predominam as classes 1 (0,0 < 1,0 – muito baixa), 2 (1,0 < 2,0 – baixa) e 3 (2,0 < 3,0 – média), em um total 76,48% de área (2.438,87 km<sup>2</sup>) para FAP (Tabela 3), nas quais a declividade máxima é de 20%. Predominam nessas áreas as coberturas de solo com formação florestal, savânica e campestre, pastagens e silvicultura, onde os resíduos vegetais ao ser depositados na superfície protegem o solo contra o impacto das chuvas, diminui a desagregação das partículas do solo e dificulta o escoamento superficial de água e, com isso, minimizam a erosão hídrica, tornando as áreas menos sujeitas aos processos erosivos.

Ao avaliar a FAP a partir de técnicas de geoprocessamento na área de influência da hidrelétrica de Mauá, PR, Storto e Cocato (2018) estudaram as áreas de elevada declividade. Os autores concluíram que quando essas áreas permanecem cobertas por vegetação, os problemas com erosão e perda do solo podem ser minimizados ou até evitados, caso seu uso e ocupação seja planejado de acordo com a capacidade de uso das terras (Ramalho Filho; Beek, 1995).

### 3.3 FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE

A partir dos dados de FAP (Tabela 2) e uso e ocupação do solo (Tabela 3) foram gerados mapas para FAP (Figura 2A) e do uso e ocupação do solo (Figura 2B), que tiveram suas variáveis ambientais integradas para construção do mapa da fragilidade ambiental emergente (FAE) (Figura 2C), conforme descrito por Anjinho *et al.* (2021).

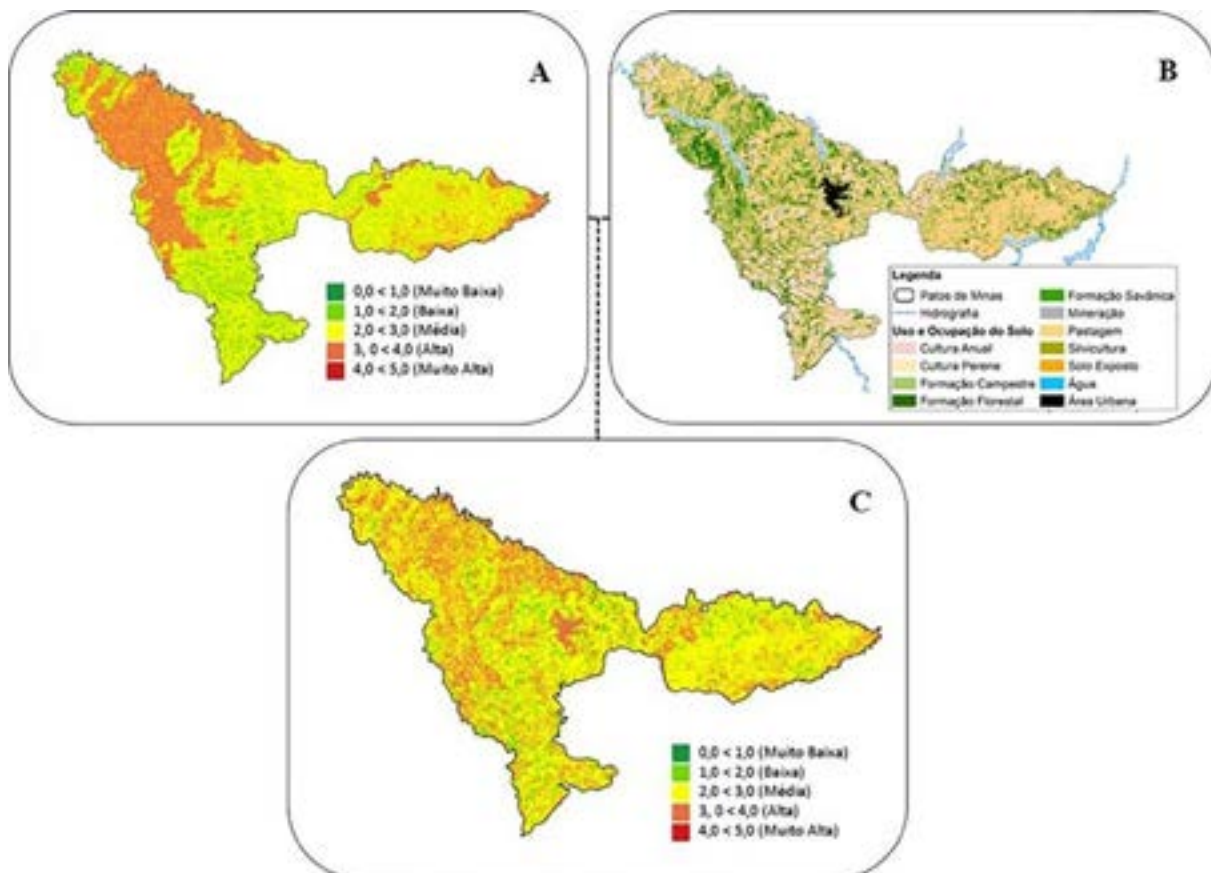
Numa análise dos valores de FAE quantificados observa-se que as classes muito baixa (1,57%) e baixa (27,85%) equivalem a 938,17 km<sup>2</sup> (9,42% do total). A classe média enquadra-se na faixa de 66,89% do total (2.132,98 km<sup>2</sup>) da área, enquanto que a soma das classes alta (2,98%) e muito alta (0,72%) foi de 3,72% (117,76 km<sup>2</sup>).

Os 29,42% da área com declividade muito baixa ou baixa (até 8%), nas quais ocorre a manutenção da cobertura com formação florestal, savânica e campestre, ocorre diminuição da velocidade do escoamento superficial de água, que dificulta a ocorrência de processos erosivos conforme também observado por Ross (2011, 2012), Alves *et al.* (2017) e Vieira *et al.* (2021).

O predomínio da classe de FAE média em 66,89% da área total (2.132,98 km<sup>2</sup>), onde ocorre declividades de até 20%, predominam os Argissolos em áreas classificadas como encostas. Nestas encostas



a vegetação presente é composta principalmente por pastagens e silvicultura, o que é preocupante, pois, são áreas mais propensas à ocorrência de processos erosivos. Contudo, com a manutenção do manejo adequado sem superlotação das áreas com pastagens, plantio em nível e terraceamento daquelas sob sistemas silviculturais, poucos problemas com processos erosivos foram observados nas visitas de campo, conforme também verificado por Valle *et al.* (2016), ao estudar a bacia do Rio Aldeia Velha, no estado do Rio de Janeiro.



**Figura 2.** Integração dos mapas de fragilidade ambiental potencial (FAP) (A), com o de uso e ocupação do solo (B) na geração do mapa de fragilidade ambiental emergente (FAE) (C).

Entretanto, em seu estudo na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce, no estado do Espírito Santo, Vieira *et al.* (2021) observaram o predomínio dos Argissolos em 36,84% da área, onde predominavam as formas de relevo mais acidentados, também com FAE média, observaram a ocorrência de erosão nas áreas com pastagens degradadas, devido ao manejo inadequado e, em áreas com cultivo agrícola, onde as práticas de controle de erosão utilizadas foram mal dimensionadas e, conseqüentemente ineficientes para controlar o escoamento superficial de água, diferente do que foi observado neste estudo.

As áreas com FAE alta e muito alta foi de 3,72% (117,76 km<sup>2</sup>). Nessas áreas predominam declividades entre 20 e 45%, nas quais ocorrem os Cambissolos e, acima de 45%, os Neossolos. Ambas as classes de solo são mais susceptíveis à ocorrência de processos erosivos, principalmente naqueles locais onde a vegetação natural foi substituída por algum tipo de cultivo ou cobertura do solo é inexistente.

Os Neossolos são solos jovens, rasos, que não apresentam horizonte B e o horizonte A e se situa assentado sobre a rocha ou sobre um horizonte C (< 50 cm), que dificulta a drenagem do solo, favorecendo a saturação (Bonna, 2011; Alves *et al.*, 2017; Nörnberg; Rehbein, 2021). Estes autores destacam que os Cambissolos também são considerados solos jovens, contudo, são mais desenvolvidos que os Neossolos,

sendo que ambos são encontrados quase sempre em áreas declivosas, onde o desenvolvimento de movimentos de massa dificulta a infiltração da água no solo, o que faz aumentar o escoamento superficial, bem como processos erosivos decorrentes, que justifica serem de FAE alta observada neste estudo.

### 3.4 ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA

A análise das classes de uso da terra e cobertura vegetal (UTCV) em associação com os polígonos de FAE mostram que o uso das áreas como pastagem recobre a maior área (66,30%) que, devido à diversidade de ambientes naturais, variam entre os níveis de baixa a alta. Também evidenciam que as coberturas naturais por formações florestais e savânicas correspondem a 25% da área, com níveis de FAE que variam de baixa a média. As culturas anuais recobrem 6,71% das áreas e variam entre os níveis de média e muito altas (Tabela 4).

**Tabela 4.** Estatística descritiva dos níveis de Fragilidade Ambiental Emergente (FAE) por classes de UTCV.

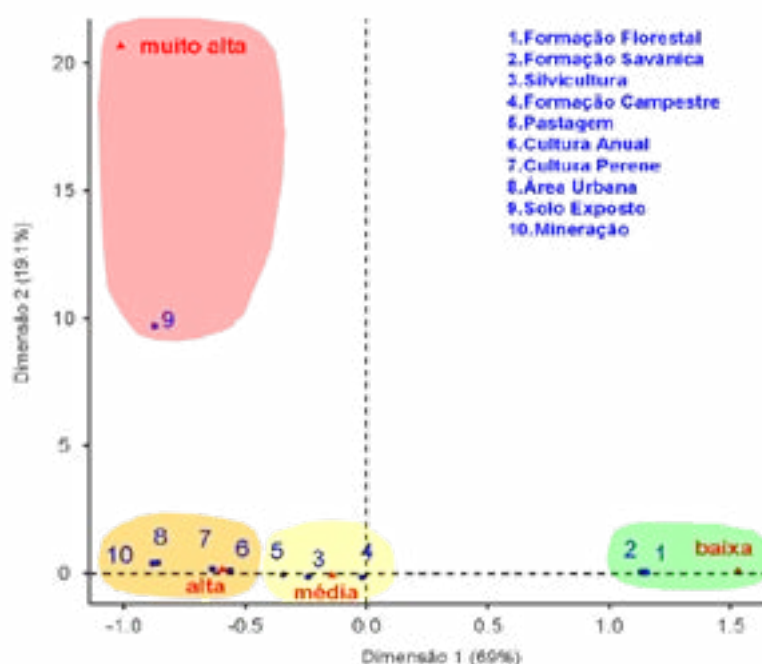
Uso da terra	N	Área		FAE			
	--	Km <sup>2</sup>	%	Média	Moda	DP	EP
Cultura anual	4047	212,54	6,71	3,21	4	1,030	0,016
Cultura perene	25	0,91	0,03	3,64	4	0,700	0,140
Formação campestre	2229	19,38	0,61	2,40	2	0,666	0,014
Formação florestal	17426	621,47	19,63	2,01	2	0,853	0,006
Formação savânica	8577	173,67	5,49	1,97	2	0,825	0,009
Mineração	1	0,001	0,00	4,00	4	--	--
Pastagem	39849	2098,79	66,30	2,63	2	0,908	0,005
Silvicultura	509	5,81	0,18	2,46	2	0,688	0,031
Solo exposto	343	2,96	0,09	3,70	4	0,704	0,038
Área urbana	905	30,25	0,96	3,32	3	0,615	0,020

N = Polígonos de fragilidade; DP = Desvio padrão; EP = Erro padrão.

As classes Mineração e Cultura Perene não apresentam uma amostra significativa para a análise estatística. Com isso, o contingenciamento entre FAE e UTCV revela que as variáveis não são independentes ( $p < 0,001$ ), observando-se associação entre estas variáveis.

A análise de correspondência revelou quatro perfis de variáveis associadas entre os níveis de FAE e as classes de UTCV, baseados nas frequências de pixels de fragilidade.

O perfil com fragilidade baixa apresenta um grupo composto caracterizado por formações florestais e savânicas. A fragilidade média inclui predominantemente coberturas campestres, silvicultura e pastagem qualificada. A alta fragilidade é concretizada por usos de áreas cobertas com culturas anuais e perenes, área urbana e mineração, enquanto que a fragilidade muito alta concretiza-se apenas pelos ambientes com solo exposto (Figura 3).



Dimensão 1: eigenvalue 0, 2179); Dimensão 2: eigenvalue 0,0518)

**Figura 3.** Análise de correspondência do perfil *biplot* dos grupos fragilidade ambiental emergente (FAE) e uso da terra e cobertura vegetal (UTCV).

O quadro físico-ambiental do município favorece processos erosivos em ambientes de pastagens que cobrem solos frágeis, localizada na porção sul da bacia de Três Marias, na qual as FAE são altas. Como constatado por Rassi *et al.* (2019), essa dinâmica erosiva está fortemente associada ao tipo de uso da terra, sobretudo nas pastagens, fragilidade do material rochoso e o quadro geomorfológico de dissecação.

A avaliação da fragilidade ambiental por meio de SIG permite aplicação rápida e integrada por meio de fontes de dados oficiais, que facilita o diagnóstico preliminar e a delimitação de áreas para a investigação em escalas de análise mais detalhadas. Anjinho *et al.* (2021) relataram que a aplicação de pesos sobre as classes que compõem as variáveis de entrada é o ponto chave para a ponderação do modelo, e isso requer conhecimento específico. Contudo, destacam que há limitações no método, por exemplo, a não inserção de parâmetros de erosão mais detalhados e a devida explicação da abordagem geológica. A escala de análise também é um ponto prioritário e a base de dados raramente oferece recursos em escalas convergentes e, portanto, devem ser avaliadas antes da análise (Manfré *et al.*, 2013).

#### 4 CONCLUSÕES

Na região de Patos de Minas -MG predominam os Latossolos com até 20% de declividade, que equivalem a 76,48% da área total ou 2.438,87 km<sup>2</sup>, que contam com presença de elevada cobertura vegetal.

O município apresenta 76,59% da sua área com fragilidade ambiental potencial e 96,31% de fragilidade ambiental emergente, predominando as classes de baixa a média.

A análise de correspondência entre a Fragilidade ambiental emergente por classes de uso da terra e cobertura vegetal mostrou predominância de alta fragilidade, nas áreas cultivadas com cultural anual, perene e mineração, evidenciando que os ambientes naturais são potencialmente afetados por estes usos.

A determinação da fragilidade ambiental emergente evidencia que cerca de 70% da área do município são áreas propensas à ocorrência de processos erosivos, informação esta que deve ser levada em consideração no planejamento ambiental da área agrícola e urbana do município.

## 5 AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) por disponibilizar a área, equipamentos e laboratório para confecção dos mapas e análises; Ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGTCTA) por ter possibilitado a realização deste estudo; À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas aos estudantes e bolsa de produtividade em pesquisa concedida ao orientador.

## 6 REFERÊNCIAS

ALVES, W. S.; MARTINS, A. P.; SCOPEL, I. Fragilidade ambiental: subsídio ao planejamento e à gestão da bacia do Ribeirão da Laje (GO), Brasil. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 22, n. 34, p. 01-17, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236499431267>.

ANA - Agência Nacional das Águas. **Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso: Janeiro/2020.

ANJINHO, P. S.; BARBOSA, M. A. G. A.; COSTA, C. W.; MAUAD, F. F. Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: A Brazilian basin case study. **Land Use Policy**, v. 100, 104946, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104946>.

BONNA, J. L. **Mapeamento Pedológico e de Suscetibilidade Erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto-MG)**. Dissertação de Mestrado em Geografia na Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2011, 119p.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-201145/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-201145/2012/lei/112651.htm) Acesso em: 23 Jan. 2020.

CETEC - Fundação Centro Tecnológico De Minas Gerais/ Universidade Federal de Viçosa (UFV). **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**. 2010. Disponível em: < [http://www.dps.ufv.br/?page\\_id=742](http://www.dps.ufv.br/?page_id=742) >. Acesso: 12 Jan. 2020.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica: Folha de Patos de Minas (SF.23-Y-A-VI), escala 1:100.000, 2013.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. INPE. 2001. Disponível: [www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/pdf](http://www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/pdf). Acesso: 21 nov. 2019.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 175–181, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000100026>.

- FRANÇA, L. C. J.; MUCIDA, D. P.; MORAIS, M. S.; CATUZZO, H.; ABEGÃO, J. L. R.; PEREIRA, I. M. Zoning environmental fragility of natural and anthropized ecosystems by multicriteria evaluation. *Nativa*, v. 7, n. 5, p. 589-599, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7300>.
- FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. S. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 42, n. 1, p. 114-127, 2012.
- FUSHITA, A. T.; CAMARGO-BORTOLIN, L. H. G.; ARANTES, E. M.; MOREIRA, M. A. A.; CANÇADO, C. J.; LORANDI, R. Fragilidade ambiental associada ao risco potencial de erosão de uma área da região geoeconômica médio Mogi Guaçu superior (SP). *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 63, n. 4, p. 477-488, 2011. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv63n4-49216>.
- GOUVEIA, I. C. M. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevo. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 37, p. 123-136, 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.151030>.
- GUARNIERI, P.; SOBREIRO, V. A.; NAGANO, M. S.; SERRANO, A. L. M. The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: A Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, n. 1, p. 209-219, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.040>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal**. Rio de Janeiro, v. 44, p. 1-51, 2017.
- IDE-SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2017. SEMAD/FEAM/IEF/IGAM. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/#>>. Acesso: 20 Jan. 2020.
- INFANTOSI, A. F. C.; COSTA, J. C. G. D.; ALMEIDA, R. M. V. R. Análisis de Correspondencia: bases teóricas para la interpretación de datos categóricos en Ciencias de Salud. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 3, p. 473-486, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00128513>.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos**. 2021. 08 de novembro. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php/gráficos>.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008
- JAMOVI. The jamovi project. Jamovi. (Version 1.6) [Computer Software], 2021. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. In: ANAIS XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO; 2005; São José dos Campos. Goiânia, GO: INPE; 2005. p. 2203-2210.
- MANFRÉ, L. A.; DA SILVA, A. M.; URBAN, R. C.; RODGERS, J. Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiuna (the Southeastern Brazilian region). *Environmental Earth Sciences*, v. 69, p. 947–957, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1979-2>.
- MAPBIOMAS v.4.1. Rede Mapbiomas. Observatório do Clima. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Mapa de Cobertura e Uso do Solo de Patos de Minas, MG. 2018. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/download>>. Acesso: Dezembro, 2020.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F. DOS; REBOITA, M. S. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: Cenário Atual e Projeções Futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, p. 129-156, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60896>.

MIARA, M. A.; OKA-FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – Um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-cará, Ponta Grossa/PR. **Revista Raega**, n. 13, p. 85-98, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v13i0.6642>.

MORAES, M. C. P.; MELLO, K.; TOPPA, R. H. Protected areas and agricultural expansion: Biodiversity conservation versus economic growth in the Southeast of Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 188, p. 73–84, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.075>.

NASCIMENTO, N. S.; VIEIRA, E. M.; GONÇALVES, J. A. C.; CUNHA, G. P. Q. Estudo da vulnerabilidade ambiental em uma micro bacia hidrográfica empregando hierarquia nominal e operador local. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n.3, p.897-916, 2016. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.3.p897-916>.

NÖRNBERG, S.O.; REHBEIN, M.O. Fragilidade ambiental e vulnerabilidade à perda de solos no e Pelotas/RS: aplicação e comparação de modelos. **Caminhos de Geografia**, v.22, n.81, p. 42-59, 2021.

OLIVEIRA, F. B.; OLIVEIRA, C. H. R.; LIMA, J. S. S.; MIRANDA, M. R.; RIBEIRO FILHO, R. B.; TURBAY, E. R. M. G.; FERRAZ, F. Definição de áreas prioritárias ao uso público no parque Estadual da cachoeira da Fumaça - ES, utilizando Geoprocessamento. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p. 1027-1036, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600007>.

OLIVEIRA, N. M.; RIBEIRO, K. L. N.; PEREIRA, S. G.; VIEIRA, S. M. Avaliação da qualidade do leite de propriedades do município de Patos de Minas, MG. **Humanidades & Tecnologia**, v. 23, 1 – 23, 2020.

PERIÇATO, A. J.; SOUZA, M. L. O Estudo da Fragilidade Potencial e Emergente na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, Noroeste do Paraná. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, p. 1064- 1082, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n59p1064>.

PIRES, L. C.; SILVA, L. F.; MENDONÇA, B. G.; BACANI, V. M. Análise da fragilidade ambiental no município de Aquidauana-MS. **Caderno de Geografia**, v. 25, n. 43, p. 52-65, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2015v25n43p52>.

QGIS. QGIS Geographic Information System. QGIS Association, org, 2021. <http://www.qgis.org>

RAMOS, A. L. D.; COELHO, A. L. N. Avaliação da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Jacaraípe e APA da Lagoa Jacuném, Serra - ES. **Ciência Geográfica**, v. 23, n. 1, p.96 – 308, 2019.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K, J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro (Município): EMBRAPA-CNPQ, 1995, 65p.

RASSI, R.; BICALHO, R. L.; PETRONZIO, J. A. C.; SILVEIRA, A. **Caracterização geológica, geomorfológica e pedológica de Patos de Minas (MG): contribuição à interpretação das feições erosivas**. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2019. p. 6434-6439. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbfga.v1i2017.2334>.

REZAEI, J.; ORTT, R. Multicriteria supplier segmentation using a fuzzy preference relations based AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 225, n. 1, p. 75-84, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.09.037>.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, n.8, p. 63 - 74, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 1, p. 38-51, 2012. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0003>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5<sup>a</sup>. ed. rev. e ampl. Brasília: EMBRAPA, 2018. 356 p.

SEOL, H. snowCluster: Cluster Analysis. [jamovi module], 2020. Retrieved from <https://github.com/hyunsooseol/snowCluster>.

SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Classificação Automatizada de Elementos de Relevo no Estado do Paraná (Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 19, n. 1, p.33-57, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.144285>.

STORTO, C.; COCATO, G. P. Análise de Fragilidade Ambiental a partir de Técnicas de Geoprocessamento: Área de Influência da Hidrelétrica de Mauá – PR. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 5, p. 1694 - 1708, 2018.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. D. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. *Revista Floresta e Ambiente*. v. 23, n. 2, p. 295-308, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.107714>.

VIEIRA, R. S.; FERREIRA, E. P.; ROLIM NETO, F. C.; OLIVEIRA, E. M.; BRAGA, S. E. Fragilidade ambiental emergente da bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce – ES, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 3, p. 1253-1267, 2021.