



<b>PKS</b> PUBLIC KNOWLEDGE PROJECT	<b>REVISTA DE GEOGRAFIA</b> Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE	<b>OJS</b> OPEN JOURNAL SYSTEMS
<a href="https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia">https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia</a>		

## Identificação de áreas suscetíveis a processos erosivos no município de Três de Maio/RS

William Wichrowski Sipert<sup>1</sup> - Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1868-7747>

Ramiro Pereira Bisognin<sup>2</sup> - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1052-3521>

Danni Maisa da Silva<sup>3</sup> - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3600-0462>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Três Passos, RS, Brasil \*

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Três Passos, RS, Brasil \*\*

<sup>3</sup> Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Três Passos, RS, Brasil\*\*\*

*Artigo recebido em 22/04/2024 e aceito em 06/02/2025*

### RESUMO

A exploração dos recursos naturais torna os solos vulneráveis à erosão. Por isso, no presente estudo objetivou-se avaliar a suscetibilidade de áreas do município de Três de Maio, Rio Grande do Sul, a processos erosivos. A investigação foi realizada com base na análise multicritério com auxílio de SIG, QGis v. 3.10.9. Foram utilizadas as variáveis de intensidade pluviométrica, pedologia, litologia, declividade, vigor de vegetação e uso e ocupação da terra. Atribui-se pesos para as variáveis e notas para os componentes das legendas. A partir do método da álgebra de mapas, foi gerado o produto denominado de mapa de suscetibilidade erosiva. Como resultados obteve-se que 72,25% da área do município apresenta média suscetibilidade de risco à erosão. Outros 14,40% se enquadram como de baixo risco, 12,13% de alto risco e 1,22% de muito baixo risco. Desta forma, este estudo pode ser utilizado como aporte para nortear políticas de planejamento e gestão da área, bem como de manejo sustentável do solo nas áreas mais propensas a processos erosivos.

**Palavras-chave:** solos; erosão; vulnerabilidade ambiental; mapeamento; geotecnologias.

### Identification of areas susceptible to erosion processes in the municipality of Três de Maio/RS

### ABSTRACT

The exploitation of natural resources makes soils vulnerable to erosion. Therefore, the present study aimed to evaluate the susceptibility of areas in the municipality of Três de Maio, Rio Grande do Sul, to erosive processes. The investigation was carried out based on multi-criteria analysis with the aid of GIS, QGis v. 3.10.9. The variables were rainfall intensity, pedology, lithology, slope, vegetation vigor and land use and occupation. We assign weights to variables and grades to subtitle components. From the map algebra method, the product

\* Egresso da Pós-Graduação em Manejo Sustentável do Solo (UERGS). E-mail: [williamsipert@gmail.com](mailto:williamsipert@gmail.com)

\*\* Docente da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. E-mail: [ramiro-bisognin@uergs.edu.br](mailto:ramiro-bisognin@uergs.edu.br)

\*\*\* Docente da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. E-mail: [danni-silva@uergs.edu.br](mailto:danni-silva@uergs.edu.br)

called erosive susceptibility map was generated. As a result, 72,25% of the area of the municipality presents mobility at risk. Another 14,40% are classified as low risk, 12,13% as high risk and 1.22% as very low risk. In this way, this study can be used as a contribution to guiding policies for planning and management of the area, as well as for sustainable soil management in areas more prone to erosive processes.

**Keywords:** soils; erosion; environmental vulnerability; mapping; geotechnologies.

## **Identificação de áreas susceptíveis a processos erosivos em el municipio de Três de Maio/RS**

### **RESUMEN**

La explotación de los recursos naturales hace que los suelos sean vulnerables a la erosión. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la susceptibilidad de áreas del municipio de Três de Maio, Rio Grande do Sul, a procesos de erosión. La investigación se realizó en base a análisis multicriterio con ayuda de GIS, QGis v. 3.10.9. Se utilizaron las variables intensidad de lluvia, pedología, litología, pendiente, vigor de la vegetación y uso y ocupación del suelo. Los pesos se asignan a las variables y las calificaciones a los componentes de la leyenda. A partir del método del álgebra de mapas se generó el producto denominado mapa de susceptibilidad a la erosión. Como resultado se encontró que el 72,25% de la superficie del municipio tiene un riesgo medio de susceptibilidad a la erosión. Otro 14,40% se clasifican como de bajo riesgo, 12,13% de alto riesgo y 1,22% de muy bajo riesgo. Así, este estudio puede ser utilizado como un aporte para orientar las políticas de planificación y manejo del área, así como el manejo sustentable del suelo en las zonas más propensas a procesos de erosión.

**Palabras clave:** suelos; erosión; vulnerabilidad ambiental; cartografía; geotecnologías.

### **INTRODUÇÃO**

Desde os primórdios da humanidade, o homem se apropria dos recursos naturais para suprir suas necessidades básicas de alimentação, abrigo e vestimentas. Estas atitudes do homem, em busca de recursos e matérias-primas, impuseram sobre o ambiente natural forte pressão que ultrapassa a capacidade que a natureza tem de se regenerar (Soares, 2017).

Nesse sentido, o solo é um dos recursos mais explorados pelo homem (Lisboa *et al.*, 2024), pois nele são realizadas edificações, plantações, extrações e a maioria dos transportes dos recursos necessários à sobrevivência (Freitas *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2018). Contudo, o desconhecimento das propriedades do solo e a ausência de planejamento quanto ao seu uso e ocupação (Lisboa *et al.*, 2024) têm provocado vários danos, alguns de difícil e/ou oneroso reparo (Pedron *et al.*, 2004), como é o caso das erosões.

Os processos erosivos podem ocorrer naturalmente no ambiente (Lisboa *et al.*, 2024), como efeito de uma ação conjugada de diferentes fatores que moldam o relevo e transformam a paisagem (Simonetti, 2018). Nos processos erosivos os materiais rochosos e terrosos são desagregados, desgastados, dissolvidos e transportados pela ação da água, do vento ou do gelo (Guerra & Jorge,

2014) e a ação antrópica pode acelerar esses processos. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (WHO), 30% dos solos do mundo estão degradados, e os processos erosivos são responsáveis pela perda de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo anualmente (FAO; WHO, 2016). No Brasil, a estimativa anual de perda de solo por erosão é de 848 milhões de toneladas (Marten & Minella, 2013).

Os eventos erosivos causam danos ambientais e consequências diretas à população (Silva & Machado, 2014; Vaz *et al.*, 2021; Flach *et al.*, 2023). Além dos impactos na agricultura, provocam danos à infraestrutura urbana, colocam em risco à estabilidade de moradias, causam assoreamento de copos d'água, alagamentos, contaminações de solos e de recursos hídricos, gerando prejuízos de grande monta aos cofres públicos para o seu controle (Francisco, 2017). Logo, é evidente a necessidade de estudos de planejamento ambiental, para melhor ocupação dos espaços e dos recursos naturais, a fim de minimizar danos ao meio ambiente e à sociedade.

Para tanto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem, por meio de técnicas de geoprocessamento, mesclar e analisar dados espaciais (Ribeiro & Campos, 2007) que facilitam a compreensão dos fenômenos erosivos e seus impactos ambientais. A partir dessas análises, resultam mapeamentos de características naturais e antrópicas que possibilitam a identificação de áreas propensas à degradação ambiental, dando aporte ao acompanhamento e a análise temporal de diversos processos. Por isso, o uso de geotecnologias tem sido referenciado por diversos autores para definição e análise de áreas vulneráveis à erosão e a degradação ambiental (Ross, 1994; Crepani *et al.*, 2001; Ribeiro & Campos, 2007; Silva & Machado, 2014; Rovani & Vieira, 2016; Nascimento *et al.*, 2016; Follmann *et al.*, 2018; Bisognin *et al.*, 2018; Vaz *et al.*, 2021; Flach *et al.*, 2023; Lisboa *et al.*, 2024).

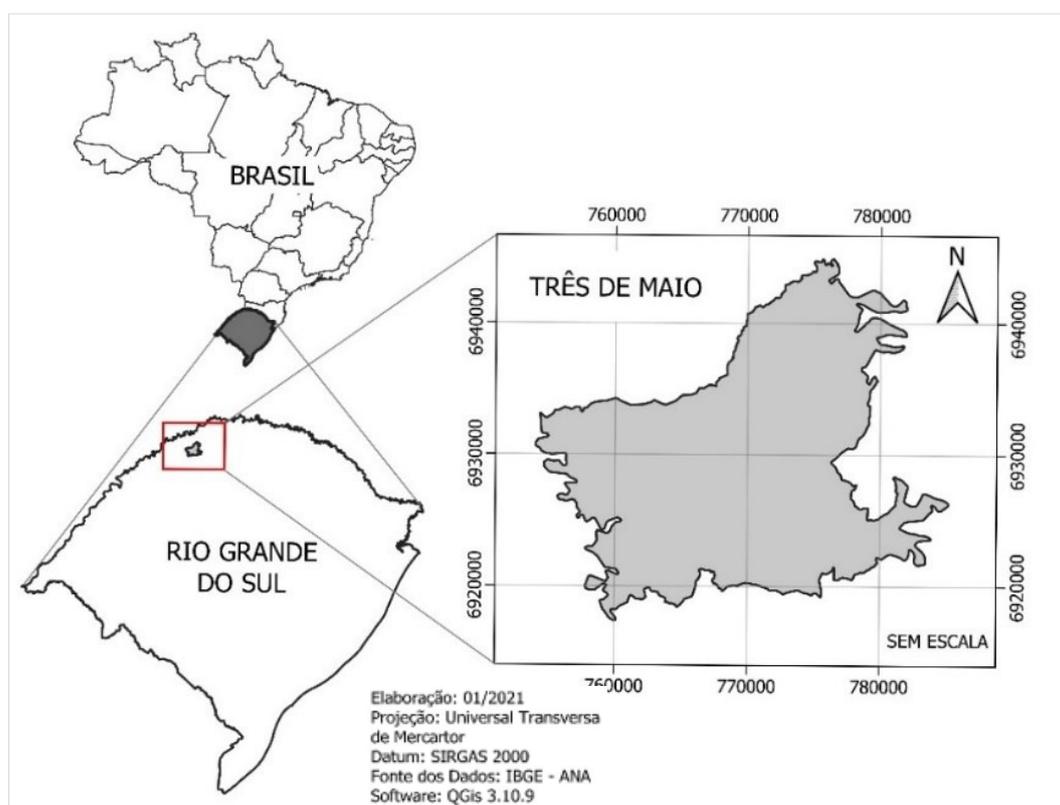
Diante do exposto, o processamento computacional de dados provenientes de elementos naturais e antrópicos possibilita a geração de produtos que podem auxiliar e fornecer subsídios ao desenvolvimento de políticas públicas de planejamento ambiental e territorial. Nesse sentido, no presente estudo objetivou-se avaliar a suscetibilidade de áreas do Município de Três de Maio, no Estado do Rio Grande do Sul, a processos erosivos, com auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

## METODOLOGIA

### Caracterização da Área de Estudo

O Município de Três de Maio está localizado na região noroeste do Rio Grande do Sul (Figura 1), sob coordenadas UTM de longitude 771.682,56 m e latitude 6.927.158,39 m, Fuso 21S, distante 475 km da capital do Estado, Porto Alegre. Com área territorial de 421,461 km<sup>2</sup>, a altitude no município varia de 152 m, nos vales mais profundos, a 391 m nas áreas mais elevadas, sendo que a sede do município está a altitude de 343 m. A população, predominantemente de origem alemã, italiana e polonesa, é de 24.916 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 59,12 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2022).

Figura 1 - Localização do Município de Três de Maio, Rio Grande do Sul, Brasil.



Fonte: Autores, 2024.

Em relação às atividades agropecuárias, predomina no Município a presença de lavouras temporárias de soja, trigo e milho, assim como a produção leiteira. Na área urbana, despontam atividades como produção moveleira, de vestuário, implementos agrícolas e beneficiamento de derivados lácteos (IBGE, 2017).

Três de Maio integra a Bacia Hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, que são afluentes do rio Uruguai, sendo o Buricá e Santa Rosa os principais corpos hídricos do município. Segundo a classificação climática de Köppen, Três de Maio situa-se na faixa climática temperada, sob domínio do clima Subtropical, do tipo Cfa – Subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida. A pluviosidade média anual é de 1.971 mm, bem distribuída ao longo do ano, e temperatura média anual de 20,4 °C. O município está inserido no domínio morfoclimático dos Planaltos Úmidos Subtropicais de Mata de Araucárias (Dantas *et al.*, 2010), posicionado sobre dois domínios fitogeográficos, Floresta Ombrófila Mista Montana e sobre o contato do Estepe com a Floresta Estacional (Fabrim, 2020), ainda encontra-se no domínio geomorfológico do Planalto Meridional, mais precisamente no Planalto Dissecado do rio Uruguai, formado a partir de derrames vulcânicos, compostos predominantemente por basaltos e andesitos provenientes da Era Mesozoica (Dantas *et al.*, 2010).

Os solos característicos e predominantes do Município de Três de Maio são o Cambissolo Háplico Ta Eutrófico Típico e Latossolo Vermelho Distroférico Típico (EMBRAPA, 2006). O uso e ocupação da terra predominantes são os destinados a agricultura e pastagem que ocupam 88,91% do território do Município, seguido pela área de formação florestal, que abrange 9,44%, e infraestrutura urbana, com domínio de 1,32%. As áreas destinadas as florestas plantadas, formação campestre, locais com ausência de vegetação e recursos hídricos totalizam menos de 1% da extensão territorial do município (MAPBIOMAS, 2021).

### ***Método de Estudo***

Após revisão de literatura acerca dos processos erosivos, metodologias e técnicas para mapeamento de suscetibilidade erosiva com auxílio de SIG, foram definidas as variáveis de estudo: litologia, declividade, pedologia, uso e ocupação da terra, intensidade pluviométrica (clima), conforme Crepani *et al.* (2004) e a variável do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, da sigla em Inglês) foi incluída a partir do estudo realizado por Silva & Machado (2014). A escala de vulnerabilidade adotada seguiu a metodologia proposta por Ross (1994).

Foram obtidas e sistematizadas as bases de dados cartográficas georreferenciadas, contemplando: malha municipal, unidades da federação e território brasileiro (IBGE, 2019); carta matricial e topográfica MI 2898-4, na escala de 1:50.000, do município de Três de Maio (BDGEx, 1979); curvas de nível e recursos hídricos provenientes da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000 (Hasenack; Weber, 2010); litologia, pedologia e geomorfologia na

escala de 1: 750.000 (CPRM, 2009); imagem de satélite Landsat 8, bandas 1 a 8, sensor OLI/TIR, órbita 223/79 com data de passagem em 21 de dezembro de 2020, com resolução espacial de 30 metros (USGS, 2020); modelo digital de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros (NASA, 2016); imagem rasterizada com informações do uso e ocupação da terra do estado do Rio Grande do Sul, com resolução espacial de 30 metros (MAPBIOMAS, 2021); dados das estações pluviométricas próximas ao Município de Três de Maio (ANA), e Mapa de Zoneamento Urbano do Plano Diretor de Três de Maio (MUNICÍPIO DE TRÊS DE MAIO, 2010).

Os mapas temáticos foram elaborados com auxílio do *software* QGIS v. 3.10.9 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2022). Os sistemas de referência e coordenadas utilizado foi o SIRGAS 2000, UTM 21S, tendo como área de estudo os limites do Município, acrescido de um *buffer* de 250m para minimizar erros e o efeito de borda. Em seguida, foram gerados os mapas temáticos das variáveis em análise para a área de estudo.

### ***Definição dos pesos de fragilidade para cada classe da legenda das variáveis***

Para as classes pré-estabelecidas na legenda, conforme apresentado a seguir, foram atribuídos notas de 1 a 5, sendo que quanto maior a nota, maior o risco de fragilidade ambiental (1 – muito baixo, 2 – baixo, 3 – médio, 4 – alto e 5 – muito alto), conforme os estudos de Ross (1994), Crepani et al. (2001), Lima & Souza (2008) e Silva & Machado (2014).

### ***Litologia***

O mapa de litologia foi elaborado a partir da base cartográfica geomorfológica fornecida pela CPRM (2009). A litologia da área de estudo é composta em sua totalidade por basaltos e andesitos provenientes da era Mesozoica. Dessa forma, foi atribuído nota 1 para o risco de fragilidade muito baixo, seguindo a metodologia de Silva e Machado (2014).

### ***Declividade***

O mapa de declividade foi confeccionado a partir do processamento dos dados do modelo digital de elevação (MDE), obtidos do SRTM (NASA, 2016), através do menu Raster - Análise - MDE. Os intervalos das classes de declividade (Tabela 1) foram definidos de acordo com a Embrapa (2006) e Vaz *et al.* (2021), sendo utilizado o valor em percentual, enquanto que as notas para risco de fragilidade foram adaptadas de Ross (1994).

Tabela 1 - Classificação dos tipos de declividade no Município de Três de Maio e notas de risco de fragilidade.

<b>Classe de Declividade</b>	<b>Risco de Fragilidade</b>	<b>Nota</b>
0 a 3% - Plano	Muito Baixo	1
3 a 8% - Suave Ondulado	Baixo	2
8 a 20% - Ondulado	Médio	3
20 a 45% - Forte Ondulado	Alto	4
45 a 75% - Montanhoso	Alto	4
> 75% - Escarpado	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Ross, 1994.

### ***Pedologia***

A hierarquização do mapa de pedologia e classificação dos tipos de solos se deu a partir dos dados obtidos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2009). A nomenclatura obedeceu às recomendações do IBGE (2015). Foram identificados dois tipos de solos na área em estudo, Latossolo Vermelho Distroférrico Típico A – moderado textura muito argilosa e Cambissolo Háptico Ta Eutrófico Típico – moderado textura média. A relação das classes e a arguição das notas com o risco de fragilidade ambiental seguiu a proposta de Ross (1994), sendo estabelecido para o primeiro, risco de fragilidade muito baixo e nota 1, e para o segundo risco alto e nota 4.

### ***Uso e Ocupação da Terra***

O mapa de uso e ocupação da terra foi elaborado a partir de dados do MapBiomias (2021). O projeto utiliza ferramentas de processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos pelo Google Earth Engine. A Tabela 2 apresenta as classes de uso e ocupação da terra, segundo o MapBiomias (2021), e as notas de vulnerabilidade foram atribuídas segundo Ross (1994).

Tabela 2 - Uso e ocupação da terra no Município de Três de Maio e notas de risco de fragilidade.

<b>Uso e ocupação da terra</b>	<b>Risco de Fragilidade</b>	<b>Nota</b>
Formação Florestal	Muito Baixo	1
Floresta Plantada	Baixo	2
Formação Campestre	Médio	3
Pastagem e Agricultura	Médio	3
Infraestrutura Urbana	Muito Alto	5
Área não Vegetada	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Ross, 1994.

### ***Índice de Vigor de Vegetação por Diferença Normalizada***

O NDVI foi obtido das imagens do satélite Landsat 8, bandas 4 e 5. O cálculo do NDVI foi realizado na calculadora Raster, por meio da diferença entre as refletâncias das bandas do infravermelho próximo (NIR – banda 5) e do vermelho (RED – banda 4) dividido pela soma das

refletâncias destas bandas. Os valores do índice são apresentados na Tabela 3, tanto as classes como as notas para o risco de vulnerabilidade foram definidas de acordo com a proposta de Silva & Machado (2014).

Tabela 3 - NDVI do Município de Três de Maio e notas de risco de fragilidade.

Classes NDVI	Risco de Fragilidade	Nota
0,490196 a 0,638336 – Alto Vigor	Muito Baixo	1
0,341176 a 0,490196 – Médio Vigor	Baixo	2
0,215686 a 0,341176 – Baixo Vigor	Médio	3
0,066667 a 0,215686 – Baixíssimo Vigor	Alto	4
- 0,278985 a 0,066667 – Ausência de Vegetação	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Silva & Machado, 2014.

### **Intensidade Pluviométrica**

O mapa de intensidade pluviométrica foi elaborado a partir da metodologia desenvolvida por Crepani *et al.* (2004), utilizando dados obtidos através da plataforma HidroWeb, administrada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Para os cálculos de precipitação, foram utilizados dados de nove estações pluviométricas situadas próximas a área de estudo, entre 1999 a 2019 (20 anos), conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Estações utilizadas e valor calculado para intensidade pluviométrica.

Estação	Código Estação	Latitude	Longitude	Série Utilizada	Intensidade Pluviométrica mm/mês	Operador
Giruá	2854003	-28,05	-54,36	1999 - 2019	703,63	ANA
Porto Mauá	2754015	-27,59	-54,66	1999 - 2019	737,15	ANA
São Martinho	2754014	-27,70	-53,97	1999 - 2019	575,20	ANA
Independência	2754010	-27,97	-54,12	1999 - 2019	659,37	ANA
Três de Maio	2754007	-27,78	-54,24	1999 - 2019	643,90	ANA
Campina das Missões	2754013	-27,99	-54,83	1999 - 2019	625,68	ANA
Miraguaí	2753016	-27,50	-53,69	1999 - 2019	709,06	ANA
Campo Novo	2753025	-27,69	-53,80	1999 - 2019	713,93	ANA
Porto Lucena	2755001	-27,85	-55,02	1999 - 2019	571,90	ANA

Fonte: Autores, 2024.

Os dados foram organizados e tabulados com auxílio do Microsoft Excel®. Procedeu-se com o preenchimento das falhas em registros mensais de pluviometria, por meio de média simples mensal, utilizando dados das estações próximas aquela que registrou a falha. Em seguida, foi calculada a precipitação média mensal, anual e a média do número de dias com registro de chuva. O valor da variável intensidade pluviométrica para cada estação foi calculado dividindo-se a precipitação média anual pelo número de dias com chuva.

Os dados de intensidade pluviométrica, acompanhados das informações de cada estação (nome e código, coordenadas e intensidade pluviométrica), foram importados para o QGIS. Espacializados os dados, realizou-se a interpolação dos pontos de precipitação através do método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW, na sigla em inglês), entre pontos. Os valores das notas adotadas para cada faixa de precipitação seguiram a proposta de Ross (1994), conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Peso dos componentes de legenda para o mapa de intensidade de precipitação no Município de Três de Maio.

Intensidade Pluviométrica mm/mês	Risco de Fragilidade	Notas
< 150	Muito Baixo	1
150 - 275	Baixo	2
275 - 400	Médio	3
400 - 525	Alto	4
> 525	Muito Alto	5

Fonte: Adaptado de Ross, 1994.

### ***Cálculo dos Pesos para as Variáveis a partir do Método AHP***

A partir do método da Análise Hierárquica Ponderada (AHP) (SAATY, 2005, 2006; Martins *et al.*, 2009), foram atribuídos pesos variando de 0 a 1 para as variáveis de acordo com sua importância para a análise, conforme detalhado a seguir. A primeira etapa para aplicação do método AHP consistiu na estruturação dos critérios hierarquizados a partir da estruturação de uma matriz de comparação par a par (matriz pareada), em que cada um dos critérios corresponde a uma das variáveis selecionadas que são organizadas na mesma ordem sob formas de linhas (i) e colunas (j), sendo cada critério avaliado segundo a escala de importância de 1 a 9, conforme apresentado na Tabela 6 (SAATY, 2006).

Tabela 6 – Classificação AHP.

Análise Hierárquica de Processos (AHP)	
Pesos	Definição
1	Importância igual: Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada: Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial: Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada: Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema: A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos: Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Adaptado de Saaty, 2006.

No método AHP cada comparação gera relações recíprocas, de modo que, se  $a_{ij} = x$  então  $a_{ji} = 1/x$ , e a diagonal da matriz possui valor 1, indicando importância igual entre mesmas variáveis.

Após a construção da matriz de julgamento, deve-se a somar as colunas para normalização dos valores. Posteriormente, o vetor de prioridade ( $\omega$ ) é calculado como a média aritmética dos valores normalizados em cada linha, expressando a importância relativa de cada uma das variáveis. A verificação da consistência dos julgamentos é feita pelo cálculo do maior autovalor da matriz ( $\lambda_{max}$ ) que corresponde ao somatório das linhas da matriz normalizada pelo número de variáveis julgadas. A partir do cálculo do maior autovalor da matriz ( $\lambda_{max}$ ) é calculado o Índice de Consistência (IC) dado pela Equação 1, em que  $n$  representa o número de variáveis em análise.

$$IC = ((\lambda_{max} - n) / (n - 1)) \text{ (Equação 1)}$$

Para garantir a confiabilidade dos resultados, a Razão de Consistência (RC) deve ser calculada através da Equação 2, onde (IA) corresponde ao Índice Aleatório apresentando na Tabela 7 e proposto por Saaty (2006), considerando o tamanho da matriz de comparação. O valor de RC deve ser igual ou menor que 0,10 para a aplicação do método ser validada estatisticamente (MARINS *et al.*, 2009). Verificada a validação estatística é realizado o cálculo do autovetor ( $\omega$ ) que é obtido através da média dos valores de cada linha da matriz de comparação normalizada, correspondendo ao peso de cada umas das variáveis (SAATY, 2006).

$$RC = IC/IA \text{ (Equação 2)}$$

Tabela 7 – Índices Aleatórios para Matrizes na metodologia AHP.

Tamanho da Matriz	1×1	2×2	3×3	4×4	5×5	6×6	7×7	8×8	9×9	10×10	11×11
Valores Aleatórios	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,54

Fonte: Adaptado de Saaty, 2006.

A matriz de comparação par a par, a matriz normalizada, o maior autovalor ( $\lambda_{max}$ ), o Índice de Consistência (IC), a Razão de Consistência (RC), bem como o auto vetor ( $\omega$ ) calculado para cada variável do estudo são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Matriz de Comparação par a par e matriz normalizada

Matriz de comparação par a par							Matriz normalizada						$\omega$
D	U	S	P	N	L		D	U	S	P	N	L	
D	1	1/2	2	1	3	3	0,194	0,178	0,261	0,181	0,225	0,136	<b>0,196</b>
U	2	1	3	2	3	7	0,387	0,356	0,391	0,361	0,225	0,318	<b>0,340</b>
S	1/2	1/3	1	1	3	3	0,097	0,119	0,130	0,181	0,225	0,136	<b>0,148</b>
P	1	1/2	1	1	3	5	0,194	0,178	0,130	0,181	0,225	0,227	<b>0,189</b>
N	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	0,065	0,119	0,043	0,060	0,075	0,136	<b>0,083</b>
L	1/3	1/7	1/3	1/5	1/3	1	0,065	0,051	0,043	0,036	0,025	0,045	<b>0,044</b>
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>5,167</b>	<b>2,810</b>	<b>7,667</b>	<b>5,533</b>	<b>13,333</b>	<b>22</b>							<b>1,000</b>
							$\lambda_{max}$	IC	IA	RC			
							6,212	0,042	1,24	0,034			

Legenda: D = Declividade; U = Uso e Ocupação do Solo; S = Pedologia; P = Intensidade Pluviométrica; N= NDVI; L = Litologia;  $\lambda_{max}$  = autovalor máximo; IC= Índice de Consistência; IA = Índice Aleatório; RC = Razão de Consistência.

Fonte: Autores, 2024.

A partir da matriz de comparação foi possível definir a importância para cada uma das variáveis em estudo, apresentadas na Tabela 9, bem como, a análise de consistência da matriz confirmou a validade dos julgamentos realizados. O índice de consistência (IC) calculado foi de 0,042, e o índice de razão de consistência (RC) de 0,034, abaixo do limite aceitável de 0,10, demonstrando que as comparações feitas na matriz são consistentes e confiáveis (SAATY, 2006).

Tabela 9 – Peso calculado para cada uma das variáveis.

Variável	Peso ( $\omega$ )	Peso (%)
Uso e Ocupação da Terra (S)	0,3398	33,98%
Declividade (D)	0,1957	19,57%
Intensidade Pluviométrica (P)	0,1892	18,92%
Pedologia (S)	0,1480	14,80%
NDVI (NDVI)	0,0830	8,30%
Litologia (L)	0,0442	4,42%
	<b>1,000</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Autores, 2024.

Definidos os pesos de cada uma das variáveis analisadas, por meio do método da álgebra de mapas, que permite a análise combinada de diferentes fatores, foi realizada a combinação entre as variáveis, através da Equação 3, com auxílio da calculadora Raster, e gerado o mapa de suscetibilidade à erosão da área em estudo.

$$\text{Suscetibilidade à Erosão} = (\text{Uso e Ocupação do Solo} * 0,3398) + (\text{Declividade} * 0,1957) + (\text{Intensidade Pluviométrica} * 0,1892) + (\text{Pedologia} * 0,1480) + (\text{NDVI} * 0,0830) + (\text{Litologia} * 0,0442) \text{ (Equação 3)}$$

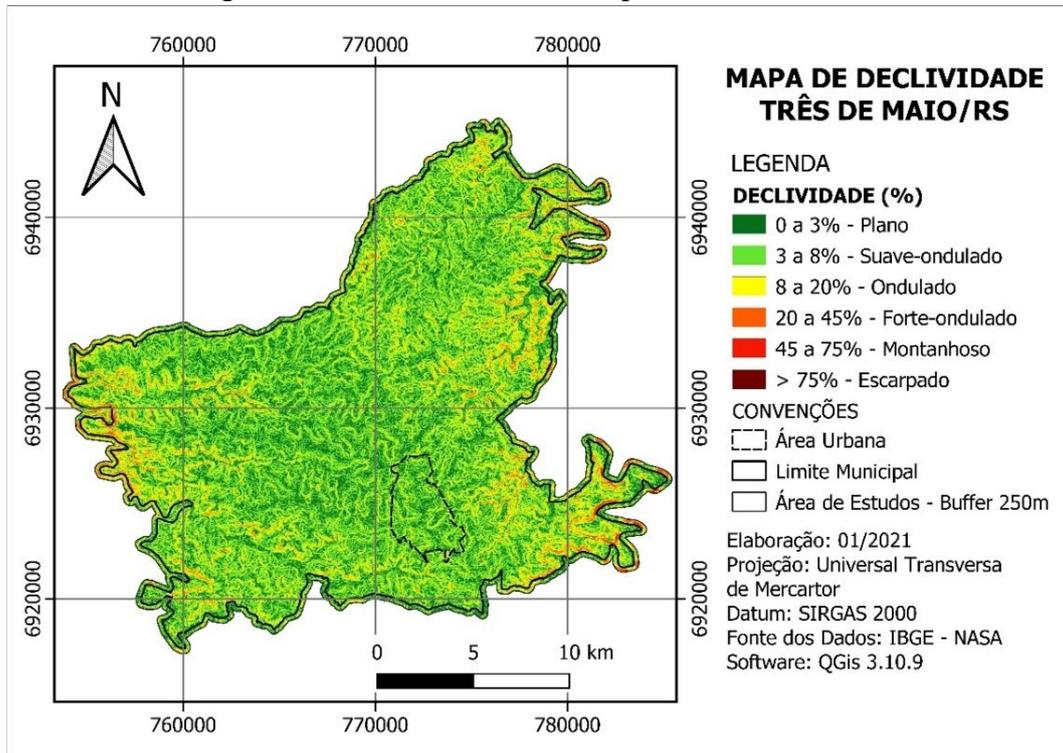
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados deste estudo consistem em um conjunto de mapas temáticos, entre eles, declividade e hipsometria, pedologia, uso e ocupação da terra, índice de vigor de vegetação e intensidade pluviométrica que serviram como subsídio para elaboração de um mapa síntese de Suscetibilidade Erosiva para o município de Três de Maio/RS. Também foi considerada a Litologia, porém devido a sua uniformidade na área de estudo, não foi apresentada na forma de mapa, contudo, o município em questão no Planalto Dissecado do Rio Uruguai, constituídos por derrames vulcânicos da formação Serra Geral (Dantas *et al.*, 2010), formada por rochas ígneas com elevada coesão, tendo como característica uma maior estabilidade e menor risco à perda de solos (Rovani *et al.*, 2015).

### ***Declividade e Hipsometria***

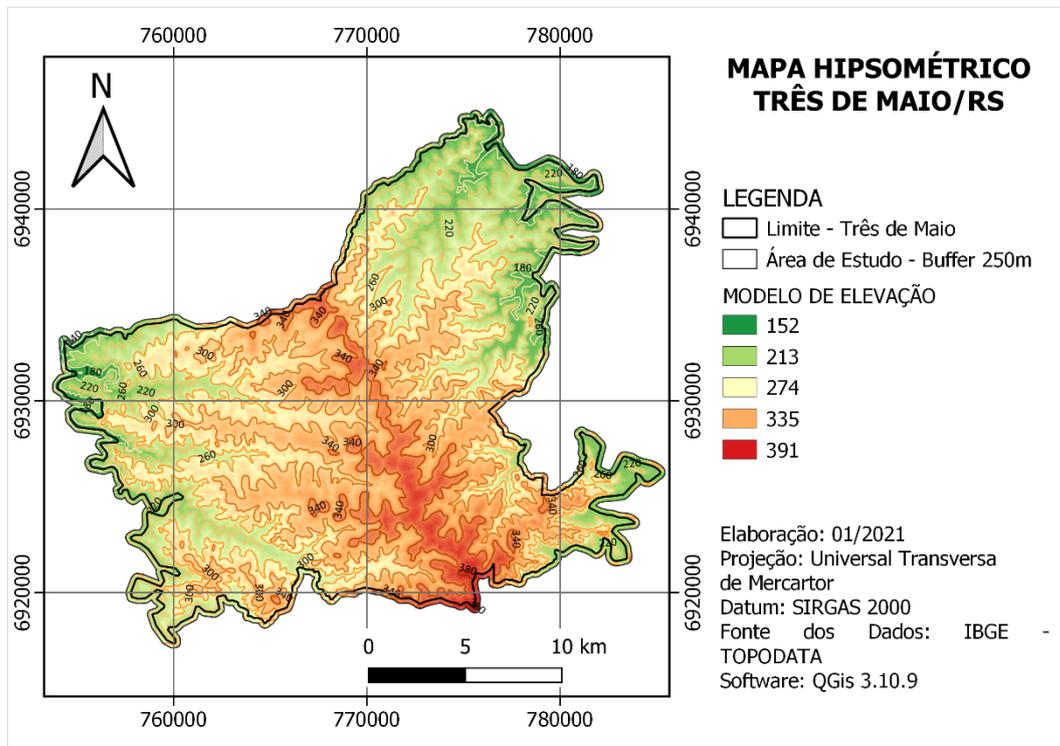
O mapa de declividade do município de Três de Maio (Figura 2) apresenta classes com variações de 0 a 106%, destacando-se a predominância das classes entre 3 a 20% (Tabela 10). Evidencia-se que as áreas mais declivosas estão próximas a região limítrofe, coincidindo com as calhas dos rios Buricá e Santa Rosa, e as menos declivosas na porção central do município. O mapa hipsométrico do município, representando a variação altimétrica do território, é apresentado na Figura 3. A altitude no município oscila entre 152 m (metros), nos vales mais profundos associadas às calhas dos rios Buricá e Santa Rosa, que coincide com as áreas de maior declividade, a 391 m nas áreas mais elevadas, enquanto a sede municipal encontra-se a 343 m de altitude.

Figura 2 - Declividade do município de Três de Maio.



Fonte: Autores, 2024.

Figura 3 – Hipsometria do município de Três de Maio.



Fonte: Autores, 2024.

Tabela 10 - Classes de declividade do município de Três de Maio, e seus riscos a processos erosivos.

Classe de Declividade	Representatividade da Área		Risco de Fragilidade
	ha	%	
0 a 3% - Plano	3.807,30	9,02	Muito Baixo
3 a 8% - Suave Ondulado	15.765,30	37,34	Baixo
8 a 20% - Ondulado	18.886,20	44,73	Médio
20 a 45% - Forte Ondulado	3.618,00	8,57	Alto
45 a 75% - Montanhoso	141,10	0,33	Alto
> 75% - Escarpado	1,90	0,005	Muito Alto
<b>Total</b>	<b>42.219,80</b>	<b>100,00</b>	

Fonte: Autores, 2024.

O relevo característico é predominantemente suave ondulado a ondulado, abrangendo 82,07% da área, formado por uma superfície topográfica pouco movimentada, constituída por conjuntos de colinas e pequenos outeiros. Apresenta declives acentuados em encostas de morros e relevos estruturais monoclinas do tipo cuesta, propenso a processos como movimentos de massa, escoamentos laminares, sulcos e ravinas, podendo ser classificado como um ambiente de baixo a médio risco de fragilidade (Santos *et al.*, 2005). Destaca-se que 9,02% da área possui relevo plano, com declividade inferior a 3% sendo caracterizada por uma topografia esbatida ou horizontal e desnivelamentos reduzidos, com baixo risco de vulnerabilidade a movimentos de massa e perdas de solo. Contudo, observa-se que existe, em alguns pontos, a ocorrência de declividade superior a 20%, sendo que 8,91% da área está enquadrada em regiões com terreno variando de fortemente ondulado a escarpado, alternando assim de uma topografia formada por morros com declividade forte, encostas íngremes a regiões com formas acidentadas e escarpadas, localizadas entre costas de 260 e 180 m. Estas regiões podem ser classificadas como ambiente de médio a muito alto risco de vulnerabilidade, visto que estão propensas a erosão linear muito forte, grande perda de solo e a movimentos de massa abruptos (Santos *et al.*, 2005).

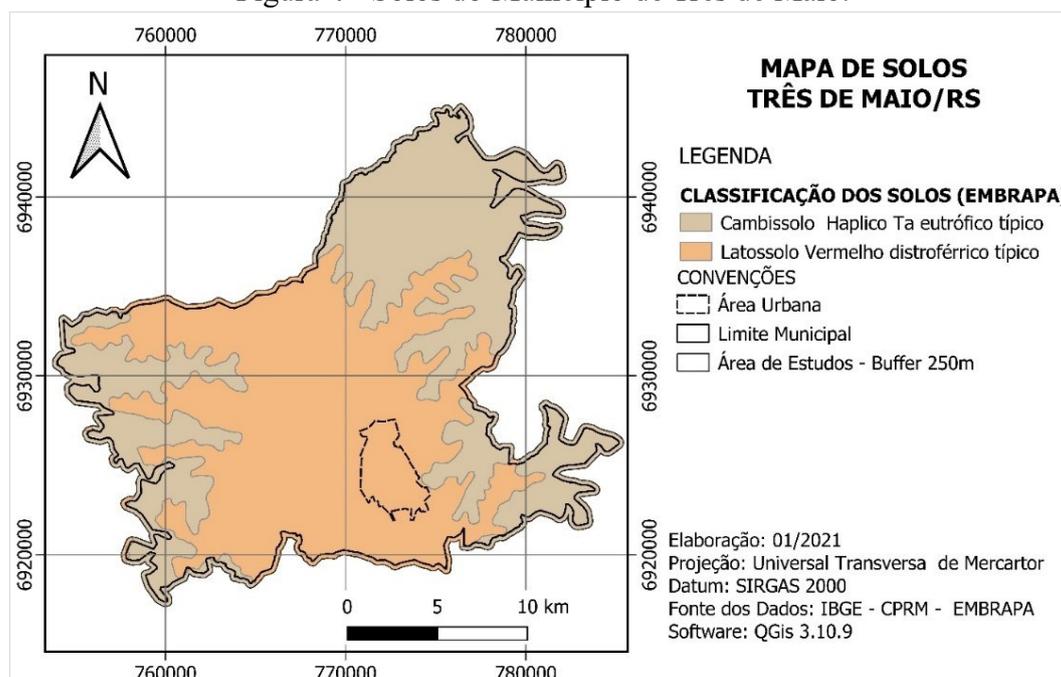
A declividade do terreno possui grande relevância nos estudos dos processos erosivos, pois influência diferentemente na taxa de infiltração e escoamento superficial (Vaz *et al.*, 2021). Áreas com baixa declividade possuem relevos mais planos, que favorecem a infiltração da água no solo e impedem o escoamento superficial, resultando em baixa taxa erosiva. Conforme a declividade aumenta, e o relevo passa a apresentar características onduladas, o escoamento superficial é favorecido, pois a ação gravitacional e a rampa de declive favorecem o escoamento e diminuem a taxa de infiltração, ocasionando a ocorrência de sulcos, ravinas e voçorocas. Em terrenos mais declivosos, com relevo montanhoso e escarpado, o escoamento superficial é muito intenso,

beneficiando os processos erosivos (Silva & Machado, 2014). Estas informações coincidem com os resultados do presente estudo, onde áreas mais declivosas, próximas aos corpos hídricos, com feições de elevada dissecação se mostraram mais suscetíveis a erosão quando comparadas a regiões com relevo plano, pouco acidentado, como aqueles presentes na porção central do município, que apresentaram vulnerabilidade menor. O mesmo foi observado em outros estudos (Bisognin *et al.*, 2018; Vaz *et al.*, 2021; Lisboa *et al.*, 2024), que detectaram maior suscetibilidade à erosão, e/ou fragilidade, nas áreas mais declivosas.

### **Pedologia**

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), na área de estudo predominam duas classes, Cambissolo Háplico Ta Eutrófico Típico e Latossolo Vermelho Distroférico Típico, como apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Solos do Município de Três de Maio.



Fonte: Autores, 2024.

Os Latossolos Vermelhos Distroféricos são provenientes do elevado intemperismo químico sobre terrenos de rochas basálticas ricas em ferro, são solos resistentes à erosão laminar devido às características físicas como permeabilidade e porosidade, contudo, quando submetido a processos que acarretem sua compactação superficial ocorre aumento da suscetibilidade à erosão. Nas regiões mais íngremes dos vales encaixados, predominam Cambissolos Háplicos Eutróficos, por serem solos

rasos, pouco desenvolvidos e estarem situados em regiões de relevo dissecado, o que os tornam mais propensos a eventos erosivos (Dantas *et al.*, 2010).

O Latossolo Vermelho Distroférico Típico, classificado como um solo de muito baixo risco de fragilidade, predomina em 56,58% da área do município de Três de Maio, abrangendo 23.887,30 ha, enquanto que o Cambissolo Háptico Ta Eutrófico Típico, caracterizado por alto risco de fragilidade, está presente em 43,42% do território, compreendendo 18.332,50 ha.

Os Latossolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico abaixo de qualquer tipo de horizonte de diagnóstico superficial, exceto hístico. Entre os solos identificados na área em estudo, estes são menos propensos a processos erosivos, visto que se caracterizam por serem solos em elevado estado de intemperização, avançada pedogênese, muito bem desenvolvidos com atuação do processo de latolização, variando de fortemente a bem drenados, em virtude das altas taxas de infiltração ( $>7,6$  mm/h) (Vaz *et al.*, 2021). Esses solos são, normalmente, muito profundos, fortemente ácidos e com baixa saturação por bases, desenvolvendo-se geralmente em relevos planos. Desta forma, são menos propensos a movimentos de massa e a erosão por apresentarem características que reduzem o escoamento superficial (Santos *et al.*, 2005; Streck, 2018).

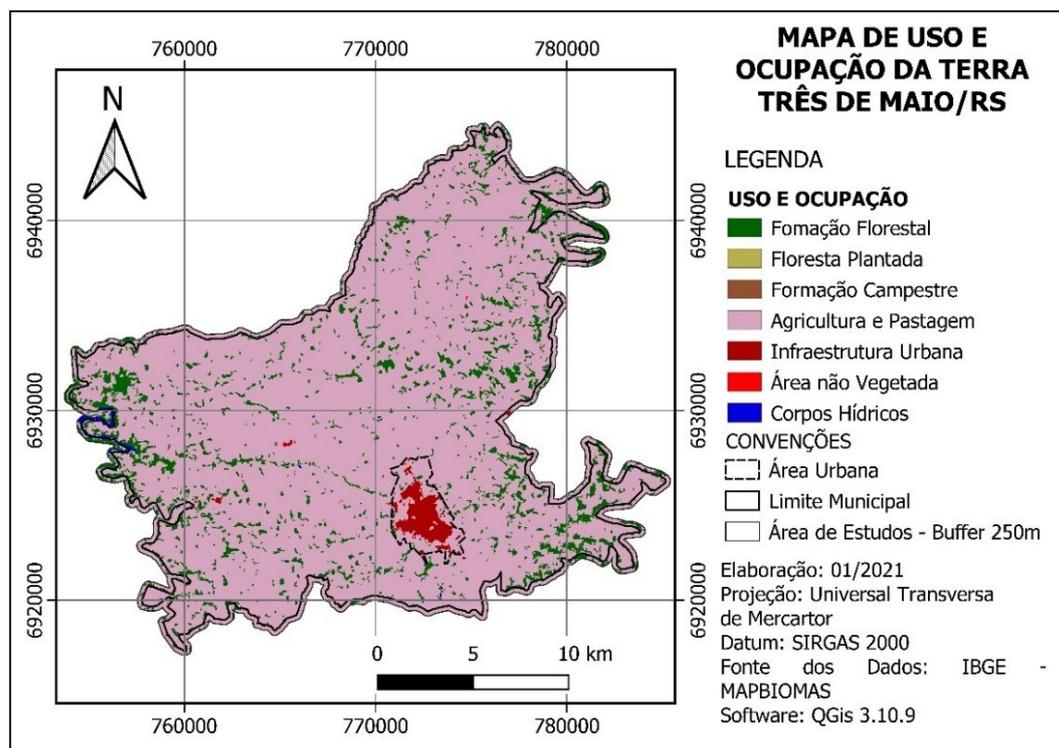
As regiões mais vulneráveis aos processos erosivos na área em estudo estão compreendidas em porções territoriais onde dominam os Cambissolos, que podem ser caracterizados como solos jovens, pouco desenvolvidos, possuindo uma pedogênese pouco avançada e um horizonte B incipiente. Por serem solos rasos, com condições de drenagem que variam de não drenados a imperfeitamente drenados ( $<1,2$  mm/h) (Vaz *et al.*, 2021), a presença de fragmentos de rocha é comum no perfil deste tipo de solo, que ocorrem em ambientes de elevada pluviosidade e em relevo ondulado a forte ondulado (EMBRAPA, 2006; Streck, 2018). Bonna (2011) explana que por serem solos rasos e desenvolverem-se em área de terreno declivoso, o que dificulta a infiltração da água, estão mais suscetíveis a movimentos de massa e a processos erosivos motivados pelo escoamento superficial, corroborando com os resultados do presente estudo.

### ***Uso e Ocupação da Terra***

A classificação de uso e ocupação da terra, a partir dos dados fornecidos pelo projeto MapBiomias (2021), permitiu identificar sete classes de usos da terra: formação florestal, floresta plantada, formação campestre, agricultura e pastagem, infraestrutura urbana, área não vegetada e recursos hídricos (Figura 5).

A classe de maior ocorrência foi a destinada a agricultura e pastagem, ocupando 88,91% do espaço, seguida pela área de formação florestal, abrangendo 9,44% e infraestrutura urbana, com domínio de 1,32%. Florestas plantadas, formação campestre, locais com ausência de vegetação e recursos hídricos somam menos de 1% da extensão territorial, como pode ser constatado na Tabela 11.

Figura 5 - Uso e ocupação da terra do Município de Três de Maio.



Fonte: Autores, 2024.

Tabela 11 - Representatividade dos usos e ocupações da terra no Município de Três de Maio.

Classe de Uso e Ocupação da Terra	Representatividade da Área		Risco de Fragilidade
	ha	%	
Formação Florestal	3.987,20	9,44	Muito Baixo
Floresta Plantada	18,80	0,04	Baixo
Formação Campestre	7,90	0,02	Baixo
Pastagem e Agricultura	37.539,70	88,91	Médio
Infraestrutura Urbana	559,10	1,32	Muito Alto
Área Não Vegetada	36,30	0,09	Muito Alto
Corpos Hídricos	70,80	0,17	-
<b>Total</b>	<b>42.219,80</b>	<b>100,00</b>	

Fonte: Autores, 2024.

Áreas de pastagem e agricultura foram classificadas como sendo de risco médio (3), formação florestal risco muito baixo (1), floresta plantada e formação campestre risco baixo (2), e infraestrutura urbana e área não vegetada, em risco muito alto (5). Os resultados deste estudo, baseados na proposta

de Crepani et al. (2001), indicam maior vulnerabilidade das áreas quanto menor a densidade de vegetação, o que também é apontado por Flach *et al.* (2023). Similar aos resultados deste manuscrito, esses autores identificaram que 79,94% da sua área de estudo, também no noroeste do Rio Grande do Sul, possuía interferência antrópica, considerando-as de maior fragilidade ambiental. Resultados análogos são apresentados por Bisognin et al. (2018), ao destacarem a infraestrutura urbana, solos expostos/áreas não vegetadas e áreas agricultáveis como de fragilidade extremamente alta, muita alta e média, respectivamente, gerando maior risco de perda de solo por erosão e, ainda, contaminação, onde as áreas agricultáveis se destacam pela extensão territorial. No mesmo sentido, Lisboa *et al.* (2024) enfatiza que os processos erosivos são fortemente influenciados pela ação antrópica, por meio das formas de uso e ocupação da terra, em que as áreas não vegetadas/solos descobertos representam o maior grau de risco de fragilidade, como observado neste estudo.

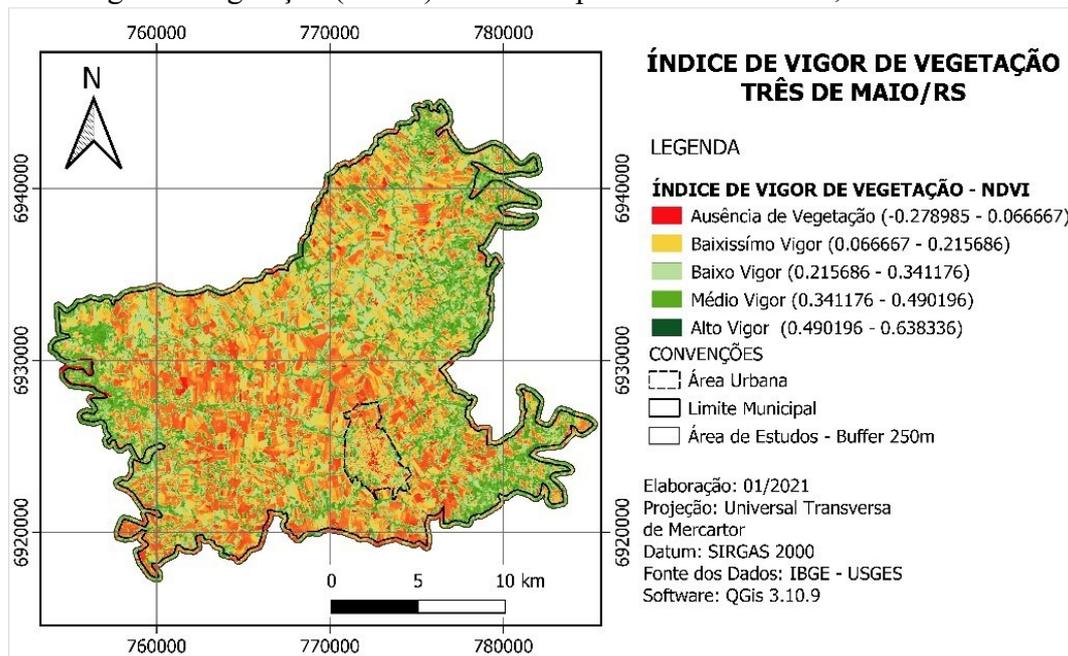
Da mesma forma, Silva & Machado (2014) ponderam em seus estudos que áreas de mata densa são menos suscetíveis a processos erosivos, pois a cobertura protege o solo dos efeitos da água da chuva. Já locais como campos agrícolas e gramíneos, estão submetidos, por muitas vezes, a coberturas rarefeitas, processos de revolvimento do solo e tráfego de máquinas, que afetam a estruturação dos agregados favorecendo a erosão. Em relação a área urbana e ao solo exposto, os mesmos autores descrevem que, a ausência de cobertura vegetal, a compactação e impermeabilização são características intrínsecas destes locais, estando assim condicionados a alto risco de vulnerabilidade, como no presente estudo.

A identificação dos padrões de uso e ocupação da terra e métricas de análise da paisagem, baseados em SIG e dados georreferenciados, são muito importantes, à medida que auxiliam na implementação de estratégias de gestão do meio ambiente como um todo (Flach *et al.*, 2023). Assim, para melhor compreensão dos riscos associados aos processos erosivos, minimização de desastres e otimização do planejamento ambiental, recomenda-se a realização de estudos futuros para a obtenção detalhada do uso da terra no município.

### ***Índice e Vigor de Vegetação***

O NDVI auxilia, a partir de imagens de satélite, evidenciar o vigor e a caracterizar a vegetação de determinada área. O resultado pode variar de -1, com maior índice de solos expostos, a 1, com maior índice de vegetação fotossinteticamente ativa, como apresentado na Figura 6, referente ao mês de dezembro de 2020 do Município de Três de Maio.

Figura 6 - Vigor de vegetação (NDVI) do Município de Três de Maio, em dezembro de 2020.



Fonte: Autores, 2024.

Observa-se a ocorrência de todas as classes de NDVI na área de estudo, que refletem o uso e ocupação da terra. A variação do índice foi de -0,278985 a 0,638336, com a predominância de baixo e baixíssimo vigor em 65,41% do território, majoritariamente em áreas de pastagem, agricultura e infraestrutura urbana, ou seja, regiões com forte intervenção humana que representam a alteração da paisagem natural e supressão da vegetação nativa, assim como observado por Flach *et al.* (2023). Outros 33,59% foram classificados de alto e médio vigor, principalmente em áreas de formação florestal, às margens dos corpos hídricos, floresta plantada, formação campestre e com culturas em desenvolvimento, e menos de 1% da área territorial com ausência de vegetação ou solo exposto (Tabela 12).

Tabela 12 - Representatividade do NDVI do Município de Três de Maio, em dezembro de 2020.

Classe de Índice de Vigor de Vegetação	Representatividade da Área		Risco de Fragilidade
	ha	%	
0,490196 a 0,638336 – Alto Vigor	3.845,60	9,11	Muito Baixo
0,341176 a 0,490196 – Médio Vigor	10.388,90	24,61	Baixo
0,215686 a 0,341176 – Baixo Vigor	10.577,30	25,05	Médio
0,066667 a 0,215686 – Baixíssimo Vigor	17.249,70	40,86	Alto
- 0,278985 a 0,066667 – Ausência de Vegetação	158,30	0,37	Muito Alto
<b>Total</b>	<b>42.219,80</b>	<b>100,00</b>	

Fonte: Autores, 2024.

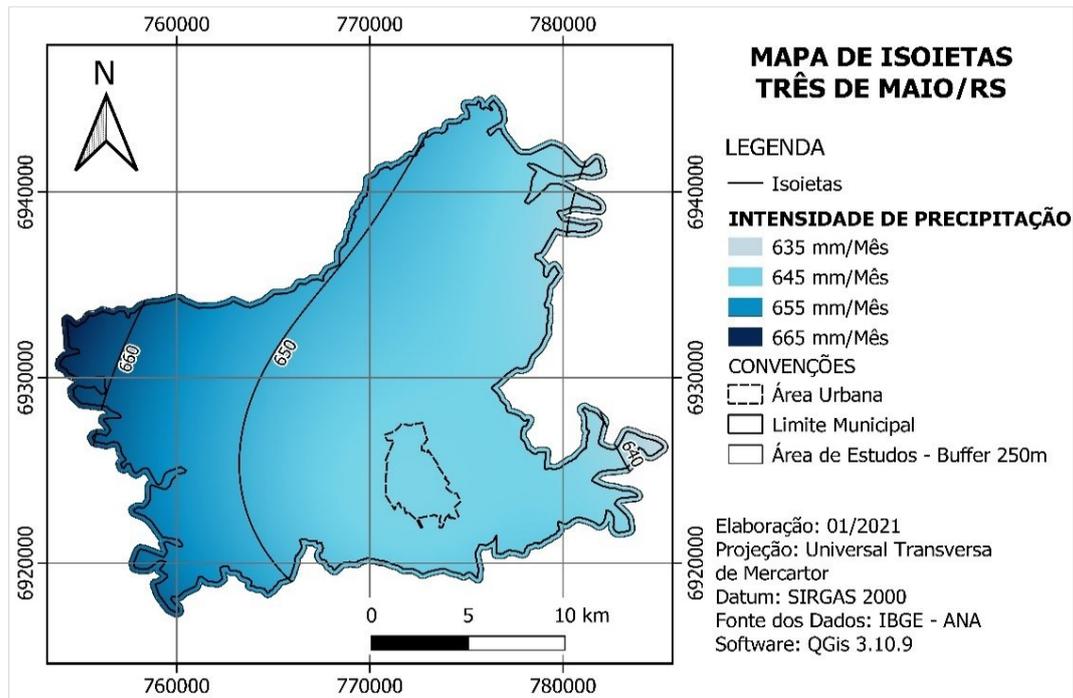
Em relação a influência do NDVI nos processos erosivos, constatou-se que locais sem vegetação ou com baixo vigor, como áreas urbanas, lavouras sem plantio ou com solo exposto, estão

mais suscetíveis à erosão quando comparadas a áreas cobertas por vegetação vigorosa e densa, a exemplo de mata nativa. A cobertura vegetal é um fator de grande importância na proteção do solo contra a erosão, pois aumenta a rugosidade superficial e diminui o impacto das gotas de chuva sobre a superfície, reduzindo a velocidade de escoamento, enquanto que o sistema radicular aumenta a estabilidade dos agregados do solo e auxilia na percolação da água no solo. Portanto, regiões com baixo vigor de vegetação são mais vulneráveis a processos erosivos do que as que apresentam alto vigor (Martins & Santos, 2017; Flach *et al.*, 2023). Outros estudos corroboram esta informação evidenciada neste estudo (Vaz *et al.*, 2021; Lisboa *et al.*, 2024), ao indicar que as áreas com menor potencial de erodibilidade possuíam, dentre outras características, maior índice de vegetação.

### Intensidade Pluviométrica

A precipitação média anual calculada para o Município, entre os anos de 1999 e 2019, é de 1996,08 mm e a média anual de dias com ocorrência de precipitação, para o mesmo intervalo de tempo, é de 93 dias. A intensidade pluviométrica, ao longo da área de Três de Maio, variou de 635 mm/mês na região sudeste, até 665 mm/mês na região noroeste, conforme Figura 7.

Figura 7 - Intensidade pluviométrica média do Município de Três de Maio, nos anos de 1999 a 2019.



Fonte: Autores, 2024.

O risco de fragilidade para a área em estudo, levando em consideração a intensidade pluviométrica, é muito alto, segundo a proposta de Ross (1994), pois supera os 525 mm/mês. De

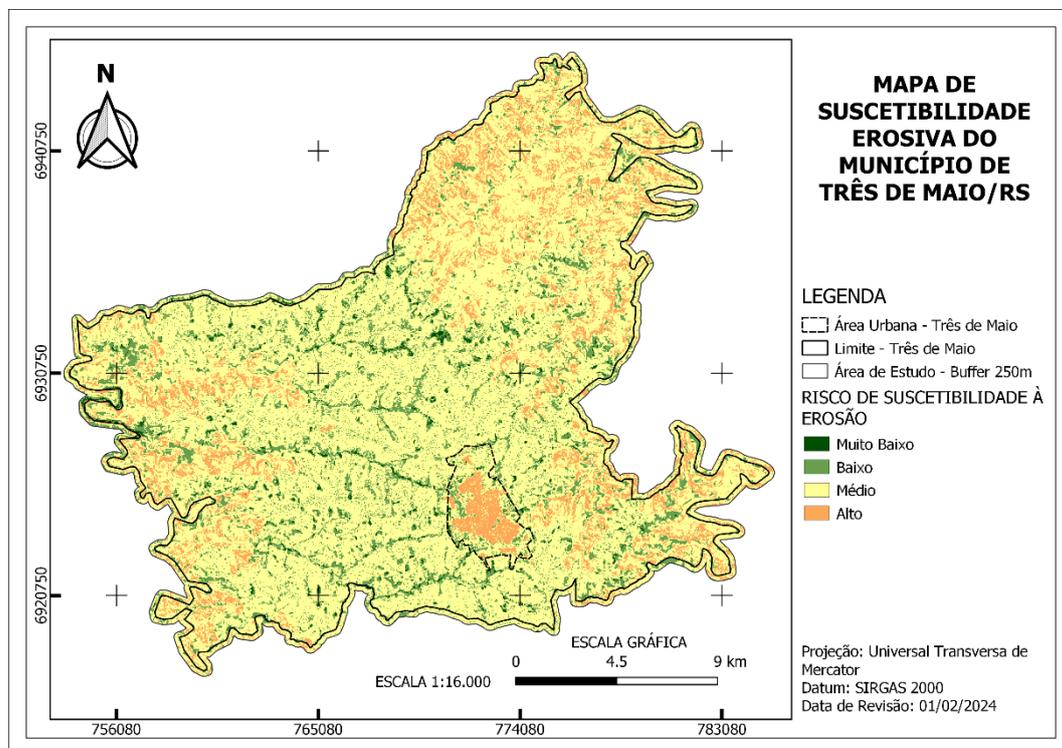
acordo com Crepani *et al.* (2004), os dados climatológicos, em especial os de intensidade pluviométrica, possuem grande relevância na caracterização da morfodinâmica das unidades da paisagem, visto que permitem a mensuração, mesmo que empírica, do grau de risco a que determinada unidade está submetida. Nesse sentido, Lisboa *et al.* (2024) complementa que a intensidade pluviométrica é um dos fatores mais importantes entre os diversos ligados aos processos erosivos e deve ser avaliado em cada região, considerando as escalas temporal e espacial como realizado neste estudo.

Ross (1994), Crepani *et al.* (2001) e Vaz *et al.* (2021) destacam em suas pesquisas que a elevada pluviosidade e intensidade, ocasionam maior escoamento superficial e, por consequência, maior capacidade erosiva, principalmente quando associada a outros fatores como elevada declividade e reduzida cobertura vegetal, conforme apresentado a seguir.

### Mapa de Suscetibilidade Erosiva

O mapa de risco à suscetibilidade erosiva do Município de Três de Maio, obtido por meio da álgebra de mapas entre os fatores elencados ao longo deste estudo, é apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Suscetibilidade erosiva do município de Três de Maio.



Fonte: Autores, 2024.

Constatou-se a ocorrência de quatro graus de suscetibilidade erosiva na área do Município, variando de muito baixo (cor verde-escuro) em 1,22% do território, baixo (verde-claro) em 14,40%,

médio (amarelo) em 72,25% e alto (laranja) em 12,13%. Não foram identificadas áreas com peso 5, caracterizadas com o grau de vulnerabilidade muito alto. Nota-se que as regiões nordeste e leste apresentaram maior suscetibilidade quando comparadas à porção central, com exceção da área urbana, que também apresentou alto risco. Esses resultados corroboram os estudos de Silva & Machado (2014), que demonstraram a influência dos fatores antrópicos na suscetibilidade erosiva da bacia do Córrego Mutuca, em Nova Lima/MG, destacando o uso inadequado do solo como elemento determinante para o aumento da erosão.

A partir do mapeamento da suscetibilidade à erosão, tendo como base os critérios de Crepani *et al.* (2004), verifica-se que 84,38% da área do município possui características de instabilidade (média a alta) e está propensa a processos erosivos, enquanto 15,62% pode ser considerada estável e com baixo risco à erosão. Rovani *et al.* (2015) reforçam essa análise ao destacar a importância do zoneamento ecológico-econômico na identificação de vulnerabilidades naturais, evidenciando a relação entre pedogênese e morfogênese na dinâmica dos solos.

As áreas de alto risco de suscetibilidade ocorreram nos locais com terreno variando de ondulado a forte ondulado, com declividades superiores a 20%, em áreas destinadas à agricultura e pastagem desenvolvidas sobre Cambissolo Háplico, bem como, se observou a ocorrência da classe em áreas não vegetadas e com a presença de infraestrutura urbana. No estudo realizado por Lisboa *et al.* (2024) sobre a bacia hidrográfica do Rio dos Cachorros, foi constatado que a presença de solos expostos, assim como este estudo, e atividades de mineração potencializam significativamente a erosão, evidenciando a importância da cobertura vegetal na redução da vulnerabilidade erosiva.

As áreas de médio risco de suscetibilidade a erosão predominaram nas áreas com relevo variando de suave ondulado e ondulado, com declividade entre 8 e 20%, com uso e ocupação destinado à agricultura e pastagem desenvolvidas em Latossolos Vermelhos. Entretanto, também se observou média suscetibilidade em áreas de Cambissolo Háplicos em terrenos com declividade não muito acentuada, variando entre 3 e 8%. Rovani *et al.* (2015) indicam que solos rasos, como os Cambissolos, são mais vulneráveis à erosão devido à baixa retenção de umidade e menor proteção contra o impacto das chuvas.

Áreas de baixo risco de suscetibilidade à erosão estiveram associadas aos locais em que o relevo variou de plano a suave ondulado, com declividade entre 0 e 8%, com cobertura florestal, bem como, em áreas de relevo plano, com declividade não superior a 3% quando associadas a uso e ocupações destinados à agricultura e pastagem no domínio dos Latossolos Vermelhos. Lisboa *et al.*

(2024) também apontam que as áreas menos propensas à erosão correspondem a solos mais profundos e bem drenados, como os Latossolos.

Para o estudo em questão pode-se observar que os fatores como uso e ocupação da terra, declividade e tipo de solo tiveram grande contribuição para a mensuração da suscetibilidade a erosão, bem como, a intensidade pluviométrica que atua como agente ativo na formação das paisagens, sendo, para a região, o principal agente atuante sobre o relevo, e conseqüentemente, responsável pelos processos erosivos pluviais. Silva & Machado (2014) reforçam que a pluviosidade elevada pode potencializar significativamente a erosão, especialmente quando combinada com declividades acentuadas e solos menos coesivos.

Dessa forma, o mapa de suscetibilidade erosiva do município de Três de Maio contribui para o ordenamento do uso e ocupação de áreas potencialmente suscetíveis à erosão, sinalizando as áreas que carecem de maior atenção pelas autoridades locais quanto aos riscos de erodibilidade. A adoção de medidas preventivas, como revegetação e práticas conservacionistas, são essenciais para mitigar os impactos da erosão e garantir a sustentabilidade ambiental da região.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo apresentou a variação na suscetibilidade erosiva da área analisada, evidenciando a influência de fatores como declividade, tipo de solo, vegetação, uso e ocupação da terra e intensidade pluviométrica na determinação dos graus de vulnerabilidade. Observou-se que a maior parte do município (72,25%) apresenta suscetibilidade média à erosão, enquanto regiões com solos expostos, declividades acentuadas e infraestrutura urbana tendem a apresentar um risco mais elevado.

Dentre os fatores determinantes para os processos erosivos, destaca-se a intensidade pluviométrica como um agente ativo essencial na formação das paisagens. A precipitação intensa potencializa a erosão, especialmente em áreas declivosas, com baixa cobertura vegetal e solos menos coesivos.

Diante do exposto, torna-se fundamental a implementação de medidas conservacionistas na região, visando a mitigação dos impactos da erosão e a preservação ambiental. A adoção de práticas como a revegetação de áreas suscetíveis, o uso de técnicas de terraceamento e a manutenção da cobertura do solo pode minimizar os efeitos erosivos e garantir maior estabilidade ao relevo. Além

disso, o zoneamento ecológico-econômico e um planejamento adequado do uso da terra são ferramentas indispensáveis para a gestão sustentável da área.

Assim, o mapeamento da suscetibilidade erosiva realizado contribui não apenas para o entendimento da dinâmica ambiental local, mas também para gerar subsídios à formulação de políticas públicas e ações preventivas que garantam a conservação dos recursos naturais e a segurança da população, considerando que o solo é um recurso imprescindível.

## REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portal HidroWEB**. 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 27 dez 2020.

BDGEx – BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS DO EXÉRCITO. **Cartas Topográficas: escala 1:50.000 do Município de Três de Maio – MI 2898-4**. 1979. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br/mediador/>. Acesso em: 27 dez 2020.

BISOGNIN, R. P.; ZIANI, P.; BAGGIOTTO, C.; FERNANDES, G.; CRUZ, R. C. Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica à montante do Reservatório de Ernestina/RS. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 22, n. 14, p. 01-12, 2018.

BONNA, J. L. **Mapeamento pedológico e de suscetibilidade erosiva no alto córrego Prata (Ouro Preto-MG)**. 2011, 132f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. **Mapa Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2009. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14710>. Acesso em: 27 dez 2020.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; 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, SP: INPE, 2001.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; PALMEIRA, A. F. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. São José dos Campos, SP: INPE, 2004.

DANTAS, M. E.; VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. da. **Origem das paisagens**. In: VIERO, A.C. (Org.). Geodiversidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CRPM, 2010.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FABRIM, E. **Plano Diretor do Município de Três de Maio/RS: Uma Análise da sua Contribuição para a Conservação de Biomas**. 86 f. Dissertação. (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento). Univates. Lajeado. 86p. 2020.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION; WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Status of the World's Soil Resources**. Roma, Itália: FAO, WHO, 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>. Acesso em: 11 mar 2021.

FLACH, K. A.; BISOGNIN, R. P.; ROSA, G. M.; BONES, U. A.; SIPERT, W. W. Avaliação do uso e cobertura da terra e da qualidade da água da sub-bacia do Lajeado Pardo no Noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Geografia**, v.40, n.3, p. 159-184. 2023.

FOLLMANN, F. M.; MANFIO, J. C.; CRUZ, R. C.; BOHRER, R. E. G.; TIECHER, T. L.; LUIZ, T. B. P. Determinação da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica em relação à suinocultura utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v.40, n. 33, 2018.

FRANCISCO, A. B. **A erosão periurbana em Rancharia-SP: a análise espaço-temporal e as propostas de recuperação da boçoroca do córrego do Grito**. Presidente Prudente (SP). 2017. 201f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2017.

FREITAS, L. de; OLIVEIRA, I. A. de; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores de qualidade física e química do solo sob diferentes sistemas de manejo. **UNIMAR Ciências**, v. 26, n. 1-2, p. 08-25, 2017.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 192 p.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000**. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 2010

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico de 2022**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/tres-de-maio/panorama>. Acesso em: 26 fev 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário de 2017**. 2017. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017>. Acesso em: 22 dez 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas Territoriais 2019**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=27733&t=downloads>. Acesso em: 28 dez 2020.

LIMA, S. T.; SOUZA, J. B. de. O geoprocessamento aplicado na identificação de áreas com suscetibilidade a movimento de massas no Parque das Mangabeiras em Belo Horizonte – MG.

**Revista e-Scientia UniBH**, v. 1, n. 1, 2008. Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcbas/article/view/118>. Acesso em: 21 dez 2020.

LISBOA, G. S.; BEZERRA, J. F. R.; GOVÊA, K. V. Mapeamento de áreas potenciais à erosão laminar na Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros, São Luís – Maranhão. **Revista Contexto Geográfico**, v.9, n.18, p. 317-325. 2024.

MAPBIOMAS. Plataforma Brasil. **MapBiomias 6.0**. 2021. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 27 dez 2020.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. de O.; BARROS, M. da S. O uso do método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. *In: XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 41, Porto Seguro (BA), 2009. Anais. Porto Seguro, BA: UNIFACS, 2009.

MARTEN, G. H.; MINELLA, J. P.G. The expansion of Brazilian agriculture: soil erosion scenarios. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 1, n. 3, p. 37-48, dez. 2013.

MARTINS, C. dos S.; SANTOS, A. M. M. dos. Influência da vegetação na erosão hídrica em ambiente semiárido: uma revisão de literatura. *In: Encontro Latino Americano De Iniciação Científica, 21, Encontro Latino Americano De Pós-Graduação, 17, Encontro De Iniciação À Docência, 7*, São José dos Campos (SP), 2017. Anais. São José dos Campos, SP: UNIVAP, 2017.

MUNICÍPIO DE TRÊS DE MAIO. Lei 2.566, de 24 de agosto de 2010. **Instituí o Plano Diretor de Desenvolvimento Participativo do Município de Três de Maio**. Três de Maio (RS), 2010.

NASCIMENTO, D. T. F.; ROMÃO, P. de A.; SALES, M. M.; VARGAS, C. A. L.; AMARAL, C. dos S. Mapeamento da suscetibilidade e potencialidade a processos erosivos laminares e lineares ao longo do duto obras da Petrobras. **Geociências**, v. 35, n. 4, p.585-597, 2016.

NASA – ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DA AERONÁUTICA E ESPAÇO. **Projeto Earthdata**. Modelo Digital de Elevação. Satélite AlosPalsar, data de passagem em: 7 set. 2016. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS>. Acesso em: 27 dez 2020.

OLIVEIRA, F. F.; SANTOS, R. E. S.; ARAUJO, R. C. Processos erosivos: dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 5, n. 3, p. 60-83, abr./jun., 2018.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de; KAMINSKI, J. Solos urbanos. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1647-1653, set./out., 2004.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 628-636, 2007.

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

ROVANI, F. F. M.; CASSOL, R.; WOLLMANN, C. A.; SIMIONI, J. P. D. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solos. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 29, p. 264-282, 2015.

ROVANI, F. F. M.; VIEIRA, M. Vulnerabilidade de solos de Silveira Martins-RS. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 151-160, abr./jun. 2016.

SAATY, T. L. Analytic Hierarchy Process. **Encyclopedia of Biostatistics**, v. 1, p. 1-9, 15/jul 2005.

SAATY, T. L. The Analytic Network Process. **Decision Making With The Analytic Network Process**, v. 1, p. 1-26, 2006.

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SCHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa, MG: SBCS, 2005.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. de S. SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 66-87, 2014.

SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. da C.; OLIVEIRA, R. A. de; SABONARO, D. Z.; ROSA, A. H. Análise da suscetibilidade do solo a processos erosivos do Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade (PNMCBIO) de Sorocaba (SP). **RA'EGA**, v. 44, p. 169-180, mai. 2018.

SOARES, D. P. A. **Impactos derivados da exploração dos recursos naturais: perspectiva dos alunos no contexto da educação para o desenvolvimento sustentável e direitos humanos**. 2017. 115f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Geografia) – Universidade do Porto, Porto, 2017.

STRECK, E. V. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS – Ascar, 2018.

QGIS DEVELOPMENT TEAM (2022). Disponível em: <https://www.qgis.org>. Acesso em: 22 dez 2020.

UFRGS – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Dados geoespaciais**. 2020. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/downloads/220-dados-espaciais>. Acesso em: 28 dez 2020.

USGS – SERVIÇO GEOLÓGICO DOS ESTADOS UNIDOS. Projeto EarthExplorer. **Imagem do satélite Landsat 8**, sensor OLI/TIR órbita 223/79, data de passagem em: 21 dez. 2020. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 27 dez 2020.

VAZ, A. P. M. S; RAMOS, S. M.; FROEHNER, S. J. Bacia Hidrográfica do Rio Balsas: diagnóstico físico e avaliação qualitativa de áreas suscetíveis a erosão. **Eng. Sanit. Ambient.** v.26 n.1, p. 77-87, 2021.