

Caio Tavoraro **MELO*** 

Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Brasil
caiotavolaro@gmail.com

Igor Cardoso **SILVA**** 

Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Brasil
igor.silva@sou.unifal-mg.edu.br

Natã Rômulo Ramos **DA COSTA***** 

Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Brasil
natan.ramos@sou.unifal-mg.edu.br

Débora Zumkeller **SABONARO****** 

Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Brasil
debora.sabonaro@unifal-mg.edu.br

Rodrigo José **PISANI******* 

Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Brasil
rodrigo.pisani@unifal-mg.edu.br



GEOGRAPHIA
OPPORTUNO
TEMPORE



ANÁLISE EMPÍRICA DE FRAGILIDADE DO MEIO FÍSICO DO MUNICÍPIO DE PIQUETE-SP

Empirical analysis of the fragility of the physical environment in the municipality of Piquete-SP

Análisis empírico de la fragilidad del medio físico en el municipio de Piquete (SP)

RESUMO

As mudanças no uso da terra causadas pelas ações antrópicas alteram as dinâmicas naturais e provocam a acentuação de processos naturais, como a erosão hídrica. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar a fragilidade ambiental do município de Piquete-SP, por análises de pesos utilizando o QGIS. Para isso, utilizamos uma adaptação da metodologia da fragilidade empírica proposta por Ross (1994). No caso foi realizada uma Análise Multicriterial Simples para classificar e dar pesos com a mesma importância para cada variável observada, como declividade, uso da terra e pedologia, para gerar mapas de fragilidade potencial e emergente da região. Esses mapas evidenciaram locais com maior e menor suscetibilidade a processos erosivos de perda de solo, categorizando em cinco classes, desde fragilidade muito baixa, até muito alta. Destacam-se que as classes de maior fragilidade ocorreram em áreas de declive mais acentuado associado a solos mais suscetíveis e a usos da terra com maiores pesos. Nessas áreas foi possível observar erosões lineares em vários locais reforçando a hipótese da pesquisa. Esses resultados associados a metodologia aplicada mostraram-se importantes para a compreensão e um manejo ambiental eficiente, uma vez que as ações antrópicas influenciam diretamente na fragilidade da paisagem.

Palavras-chave: erosão; geoprocessamento; vulnerabilidade ambiental.

ABSTRACT

Alterations in land use caused by anthropogenic activities change natural dynamics and intensify natural processes such as water erosion. Considering this, this work aims to characterize the environmental fragility of the municipality of Piquete, state of São Paulo, by means of weights analysis using QGIS software. To this end, we adapted the empirical fragility method proposed by Ross (1994). A simple multicriteria analysis was carried out to classify and ascribe weights of equal importance to each variable observed, such as slope, land use and pedology, to create maps of both potential and emerging fragility in the region. These maps showed the locations that had greater and lesser susceptibility to erosive processes of soil loss, which were categorized into five classes, from very low to very high fragility. It was found that the most vulnerable classes occurred in areas with steeper slopes associated with more susceptible soils and higher weights regarding land use. In these areas it was possible to observe linear erosion in several places, corroborating the research hypothesis. Such results, together with the applied methodology, proved to be relevant for understanding and for an efficient environmental management, since anthropogenic activities have direct impacts on the fragility of the landscape.

Keywords: erosion; geoprocessamento; environmental vulnerability.

RESUMEN

Cambios en el uso del suelo causados por actividades antropogénicas modifican la dinámica natural y amplifican procesos naturales como la erosión hídrica. Teniendo esto en cuenta, el objetivo de este estudio es caracterizar la fragilidad ambiental del municipio de Piquete, estado de SP, por medio del análisis de pesos utilizando el software QGIS. Para ello, se adaptó el método de fragilidad empírica propuesto por Ross (1994). Se realizó un análisis multicriterio simple para clasificar y dar pesos de igual importancia a cada variable observada, como declive, uso del suelo y edafología, con el fin de generar mapas de fragilidad potencial y emergente de la región. Estos mapas mostraron las localidades con mayor y menor susceptibilidad a procesos erosivos de pérdida de suelo, que han sido categorizadas en cinco clases, de muy baja a muy alta vulnerabilidad. Cabe destacar que las clases más vulnerables fueron las de áreas con pendientes más pronunciadas, asociadas a suelos más susceptibles y a usos del suelo con mayor peso. En estas áreas fue posible observar erosión lineal en varios lugares, lo que apoya la hipótesis de la investigación. Estos resultados, junto con la metodología aplicada, demostraron ser importantes para la comprensión y la gestión ambiental eficiente, ya que las acciones antropogénicas tienen impacto directo en la fragilidad del paisaje.

Palabras clave: erosión; geoprocementamiento; vulnerabilidad ambiental.

INTRODUÇÃO

A expansão das áreas urbanas e industriais resulta para o meio físico consequências ambientais significativas. Esta expansão desordenada e sem planejamento altera os ciclos sedimentares e hidrológicos (Taylor; Owens, 2009), além de ocasionar perda de habitats naturais e redução da biodiversidade (Chen; Liu, 2023). Essas mudanças no uso da terra impactam sua permeabilidade, levando a alterações no escoamento superficial e na dinâmica de produção de sedimentos (Myronidis; Ioannou, 2018).

Com a dinâmica de produção de sedimentos alterada devido a ação antrópica ocorre a intensificação dos processos erosivos hídricos impactando significativamente na perda do solo, surgimento de ravinas, voçorocas, além do assoreamento de rios e córregos. No Brasil, por exemplo, cerca de 8 bilhões de toneladas de solo são perdidas por ano, resultando em diminuição da produtividade agrícola (Albuquerque *et al.*, 2015). Desse modo, fica claro que as atividades antrópicas que degradam os ambientes naturais também afetam negativamente a dinâmica da sociedade que vivemos. Logo, a intensificação dos processos erosivos e perda de solo devido às ações antrópicas, exige a realização de constantes estudos na área.

Tais estudos são cruciais para avaliar as unidades ecodinâmicas e compreender a aptidão agrícola e a fragilidade ambiental do solo frente aos desafios ambientais trazidos pela erosão hídrica. As progressivas mudanças ambientais feitas pela sociedade humana modificam e degradam cada vez mais a funcionalidade dos sistemas naturais (Brondizio, 2019). Assim, é essencial que as necessidades humanas sejam alinhadas com a potencialidade dos recursos ambientais, mas principalmente com a sua fragilidade (Ross, 2012).

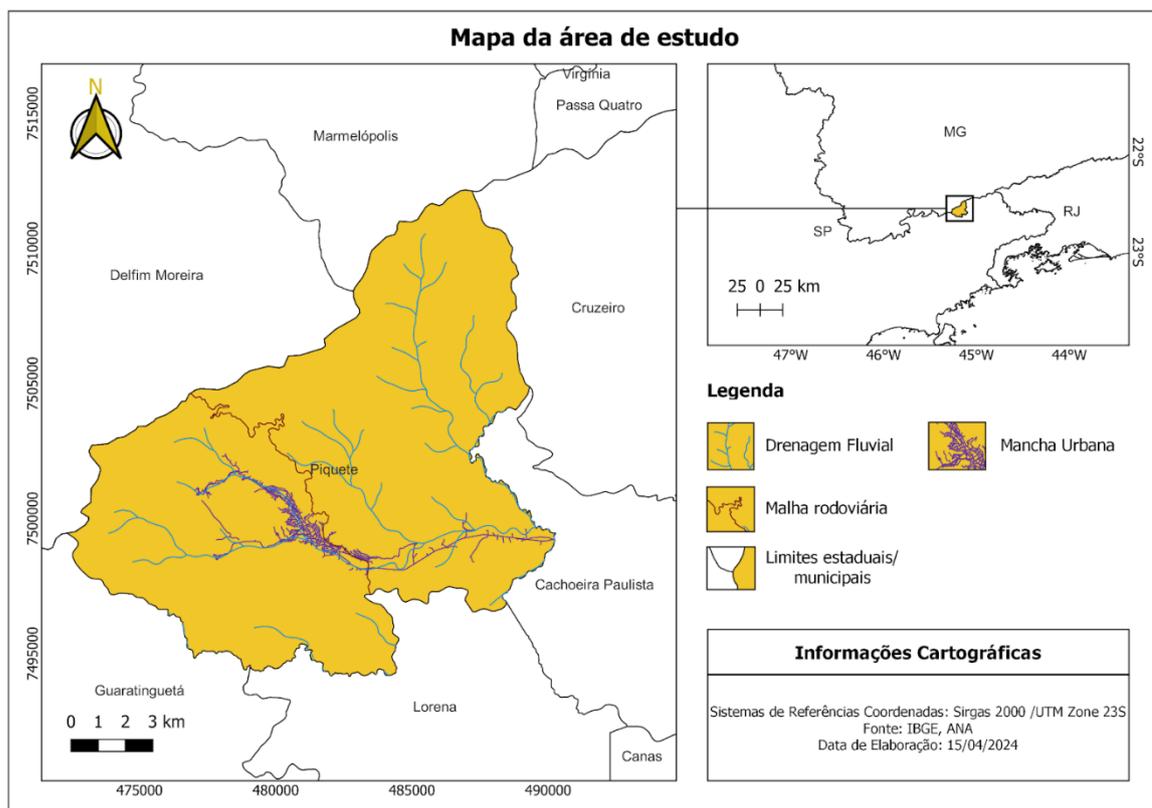
Deste modo, o presente estudo tem como objetivo caracterizar a fragilidade ambiental do solo do município de Piquete-SP para uma maior compreensão da sua suscetibilidade à degradação. A partir das análises, das unidades ecodinâmicas e da suscetibilidade do solo à erosão hídrica, o estudo busca identificar áreas de maior risco ambiental e com os resultados obtidos pode fornecer subsídios para auxiliar a implementação de medidas de manejo adequadas para a proteção do solo e a promoção da sustentabilidade ambiental.

Área de estudo

De acordo com o IBGE (2022) Piquete é um município localizado na mesorregião do Vale do Paraíba Paulista, na porção leste do estado de São Paulo, situado nas coordenadas geográficas 22°36'50"S e 45°10'33"O (Figura 1). O clima predominante na região é o tropical de altitude, que é típico das áreas elevadas da região Sudeste. Segundo dados presentes no site da Prefeitura Municipal, a pluviosidade anual média é de cerca de 1700 mm, com temperaturas que variam de 10 a 26° C. Por se encontrar nas encostas da Serra da Mantiqueira, o relevo do município é bastante acidentado, com a porção norte atingindo cerca de 2420m no Pico dos Marins e a área urbana situando-se a cerca de 640m.

Localização geográfica do município de Piquete (SP)

Figura 1 -



Fonte: Autores (2024).

Piquete possui uma população de aproximadamente 12,5 mil habitantes (IBGE, 2022). As duas principais vias que fornecem acesso ao município de Piquete são as rodovias BR-459, que percorre tanto o estado de São Paulo quanto o de Minas Gerais, e a rodovia SP-183. A BR-459 assume um papel central para o município, pois, além de conectá-lo com cidades de outro estado

como Wenceslau Braz e Itajubá, ela percorre uma significativa parcela municipal. Devido a essa importância para o fluxo rodoviário das cidades que a utilizam, manter a integridade dessa rodovia é vital para garantir a fluidez do tráfego e evitar possíveis impactos econômicos negativos para seus usuários e a região em geral.

A região do município e seus arredores enfrentam sérios problemas de erosão, evidenciados por sulcos, ravinas e voçorocas nas encostas. Sendo assim, é urgente abordar as questões relacionadas ao uso da terra e ocupação do solo nessa área, pois esses processos erosivos causam impactos prejudiciais na qualidade da água, na saúde geral e na sustentabilidade do ecossistema (Brito Neto *et al.*, 2020).

Levantamento de dados

Para realizar a caracterização da fragilidade ambiental da área de estudo foi-se utilizado uma adaptação da metodologia da fragilidade empírica proposta por Ross (1994), fazendo o uso de ferramentas de SIG para obter e processar os materiais cartográficos do município de Piquete (SP). Dessa forma, os produtos e os processos de coleta de dados realizados para o processamento foram: (I) Dados vetoriais municipais e estaduais, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022); (II) Modelo digital de elevação (MDE) de Piquete, proveniente do programa Copernicus GLO-30, adquirido através da extensão OpenTopography do software Qgis; (III) Mapa pedológico da região, obtido através do site do Governo do Estado de São Paulo em escala de 1:750.000; (IV) Posteriormente, todos os dados e mapas obtidos foram recortados para a área de estudo, para que se desse prosseguimento com o processamento de imagens no Qgis, versão 3.20.3, utilizando o sistema de referência de coordenadas (SRC) Sirgas 2000 / UTM 23S como projeção do estudo; (V) Mapa do uso e ocupação do solo do município no ano de 2022, proveniente da coleção 8.0 do MapBiomas (Souza Júnior *et al.*, 2020), adquirido através do Google Earth Engine; (VI) Mapa da declividade da área de estudo, obtido a partir do processamento do MDE utilizando a ferramenta “Declive” do complemento GDAL do Qgis. Em relação a pluviosidade, esta ficou abaixo dos valores mínimos para a ponderação pela metodologia, por isso não foi considerada para a análise.

Para a realização dos produtos de fragilidade, foi necessária uma reclassificação dos dados dos mapas de declividade, pedologia e o de uso e cobertura da terra. O mapa de fragilidade potencial visa juntar elementos físicos particulares da paisagem natural e para sua elaboração é necessário a sobreposição dos mapas reclassificados de declividade e pedologia. Consequentemente, o mapa de fragilidade emergente, estabelece uma união entre os itens citados anteriormente, mas também levando em consideração a atividade antrópica na paisagem, para sua composição são combinados os mapas de uso e cobertura da terra classificada, e o mapa de fragilidade potencial. A partir dessa interpolação final, é possível compreender e mensurar os níveis de fragilidade ambiental da paisagem (Tavares, 2006).

Os mapas e seus dados foram classificados de acordo com a Análise Multicriterial Simples, que determina pesos com a mesma importância para cada variável, com critérios escolhidos para os pesos de 1 até 5. Sendo viável a utilização de pesos iguais para variáveis distintas devido ao número pequeno de variáveis utilizadas no estudo, evitando assim, uma supervalorização de alguma variável sob outra, logo, influenciando o produto final.

A primeira variável a ser classificada foi a declividade, através da função de processamento “reclassificar por tabela” presente no software Qgis 3.20.3, conforme a metodologia utilizada por Albuquerque *et al.* (2015) (Quadro 1).

Quadro 1 - Classes de Declividade do Município de Piquete-SP

Declividade	Descrição de relevo	Pontuação/Peso
0-3	Plano	1
3-8	Suavemente Ondulado	2
8-20	Ondulado	3
20-45	Forte Ondulado	4
>45	Montanhoso e Escarpado	5

Fonte: Autores (2024).

A segunda variável a ser classificada através de sua própria lista de atributos, e posteriormente sendo convertida de vetor para raster, foi a pedologia, em que foi seguido uma metodologia adaptada de Crepani *et al.* (2001), como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Classes de Solos do Município de Piquete-SP

Solos	Classes de Fragilidade	Pontuação/Peso
Latossolos	Fraco	2
Cambissolos	Forte	4
Gleissolos	Muito Forte	5
Neossolos	Muito Forte	5

Fonte: Autores (2024).

Em relação à classificação do uso e ocupação da terra, usamos a função de “reclassificar tabela”, utilizando uma adaptação da metodologia de Ross (1994), classificando as classes de uso e ocupação de acordo com o nível de proteção aos solos pela cobertura vegetal, e conseqüentemente, pontuando da classe mais protegida (1 - Muito alta) até mais vulnerável (4 - Baixa) encontrada na área de estudo em questão a partir dos dados do Map Biomas (Quadro 3).

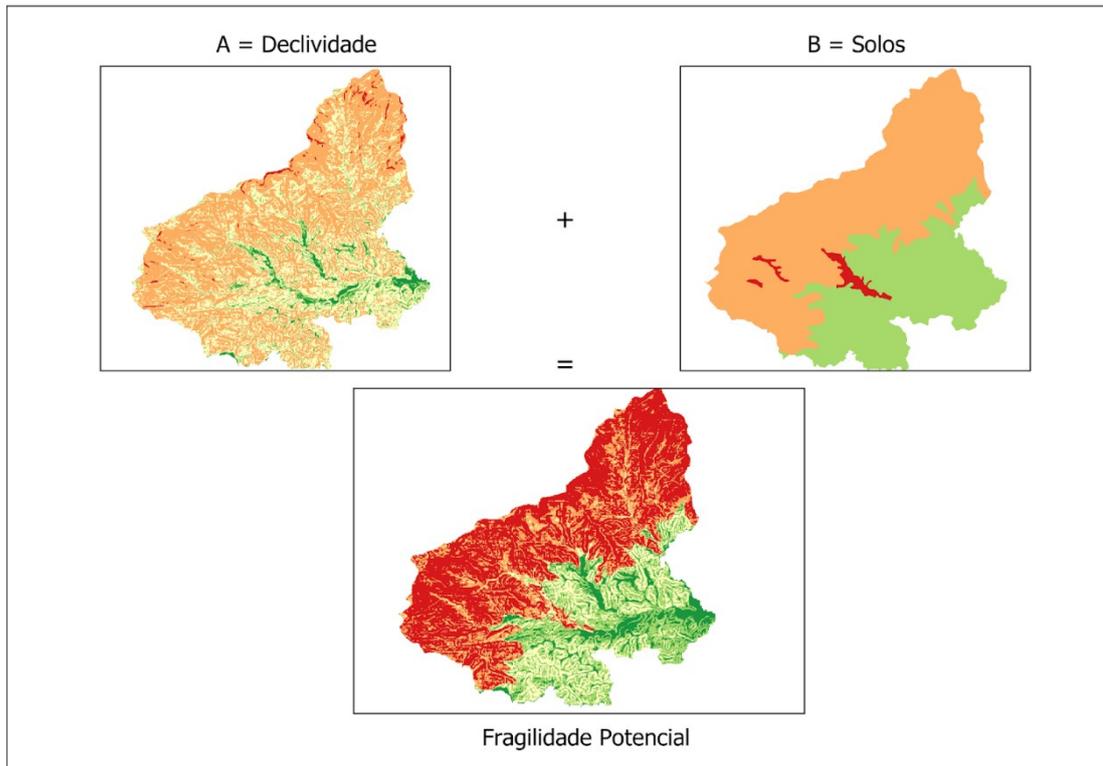
Quadro 3 – Classes de Uso e Ocupação da Terra do Município de Piquete-SP

Proteção do solo	Categorias (Map Biomas)	Descrição	Pontuação/Peso
Muito Alta	3-9	Floresta	1
Alta	33	Lagoa	2
Média	24-25	Infraestrutura urbana/ Áreas não vegetadas	3
Baixa	15-21/29/39-41-46-48	Pastagem e Agricultura	4

Fonte: Autores (2024).

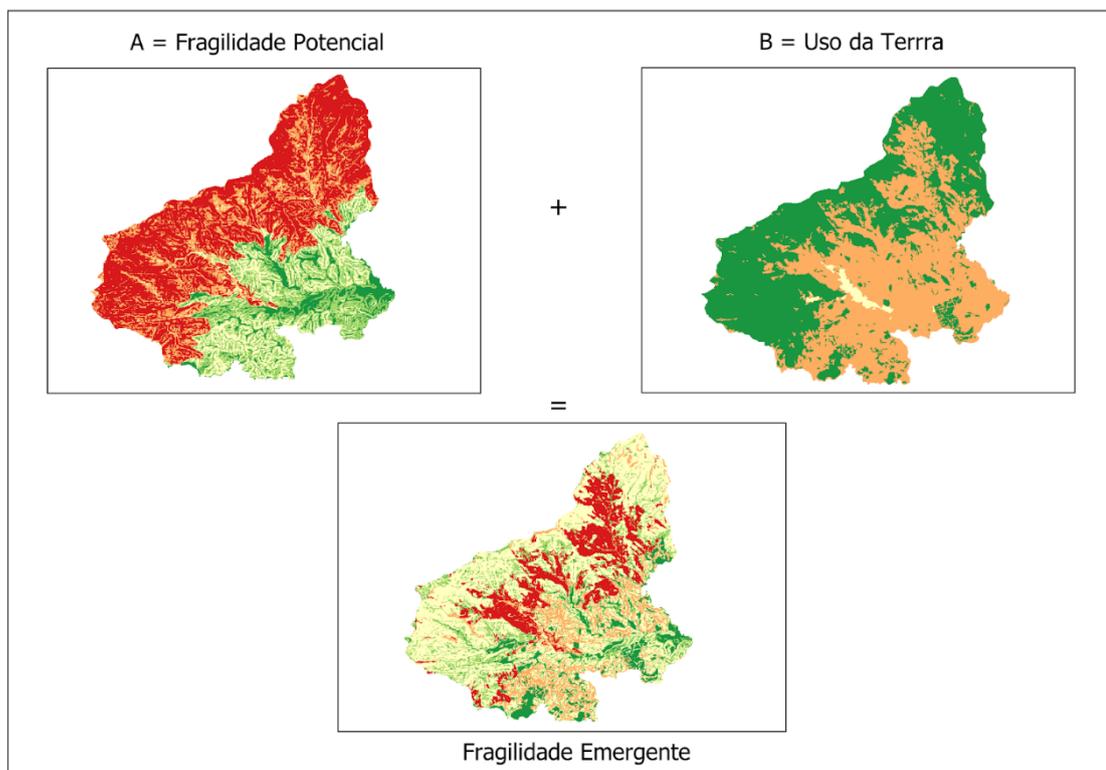
Com as imagens das variáveis reclassificadas, o próximo passo para obtenção dos produtos de fragilidade do município foi utilizar a função “calculadora raster” dentro do software Qgis 3.20.3, que permite a manipulação das camadas através de fórmulas específicas. Para o mapa de fragilidade potencial utilizamos o operador de soma com as camadas de solos e de declividade (Figura 2). Em seguida, somamos o resultado da operação anterior com o mapa de uso e cobertura do solo para obtermos o mapa de fragilidade emergente (Figura 3).

Figura 2 - Sobreposição de mapas para mapeamento de fragilidade potencial



Fonte: Autores (2024).

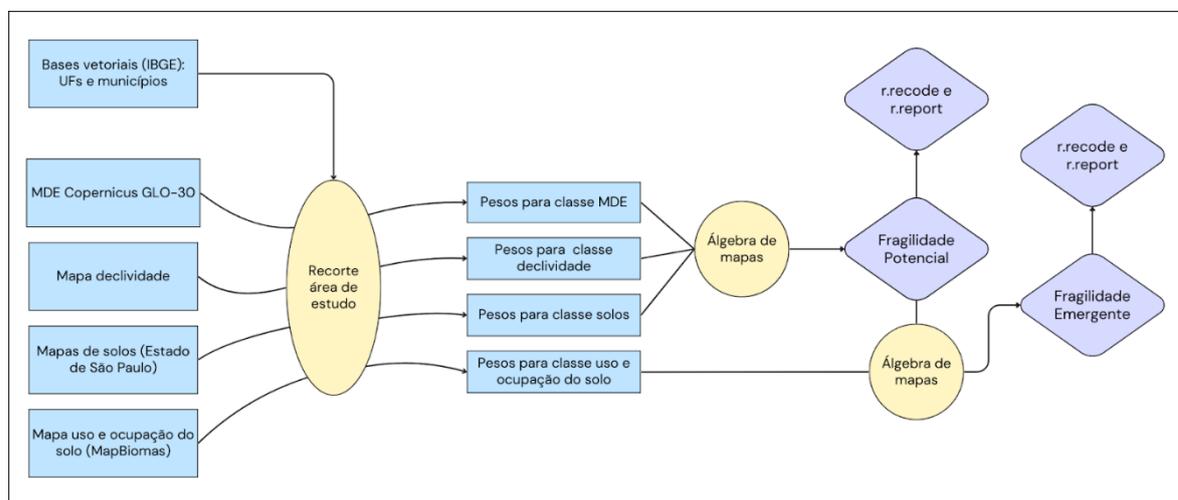
Figura 3 - Sobreposição de mapas para mapeamento de fragilidade emergente



Fonte: Autores (2024).

Com os mapas de fragilidade realizados, foi necessário realizar uma função no Qgis para mensurar de maneira mais precisa o total de área em Km² que cada categoria de fragilidade obteve, tanto no mapa potencial quanto no emergente. Para isso, utilizamos uma função disponível na caixa de ferramentas chamada “r.recode” para recodificar as categorias de fragilidade em cada mapa para 5 classes: 1 - Muito baixa; 2 - Baixa; 3 - Média; 4 - Alta; e 5 - Muito Alta. Em seguida utilizamos a função “r.report” para gerar o relatório de estatísticas de área de cada classe de fragilidade de ambos os mapas. A figura 4 ilustra resumidamente os processos realizados desde a obtenção dos dados até a realização dos mapas de fragilidade.

Figura 4 - Metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo

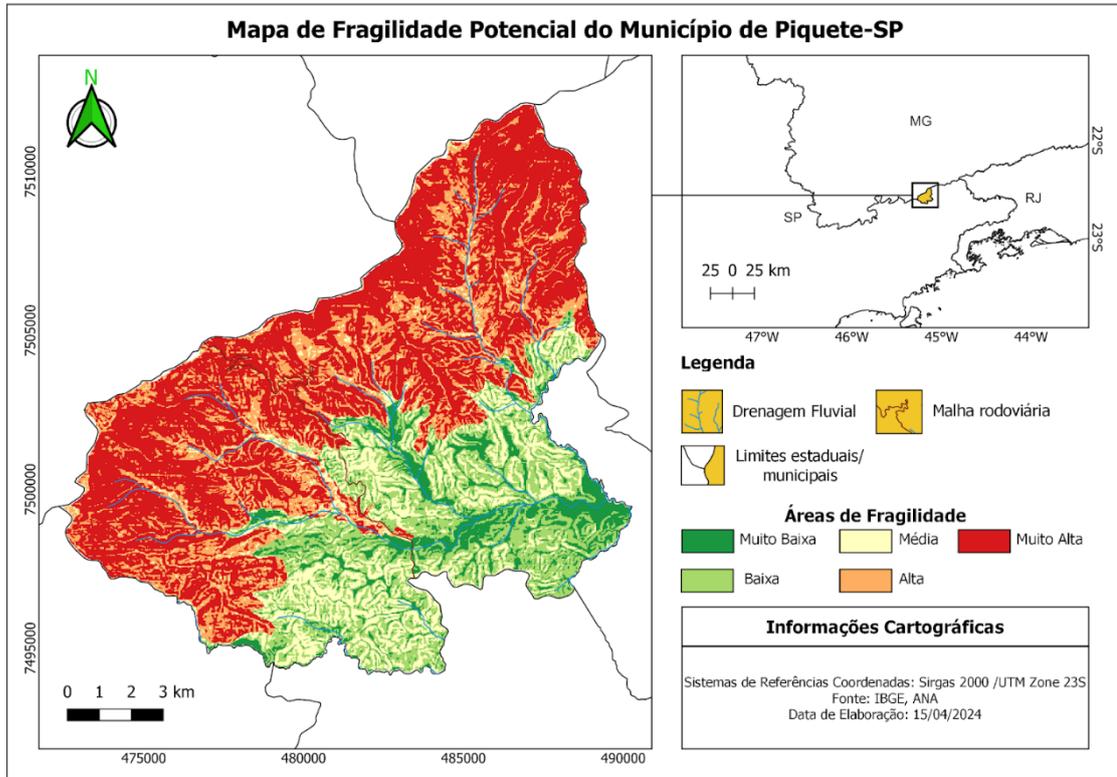


Fonte: Autores (2024)

RESULTADOS

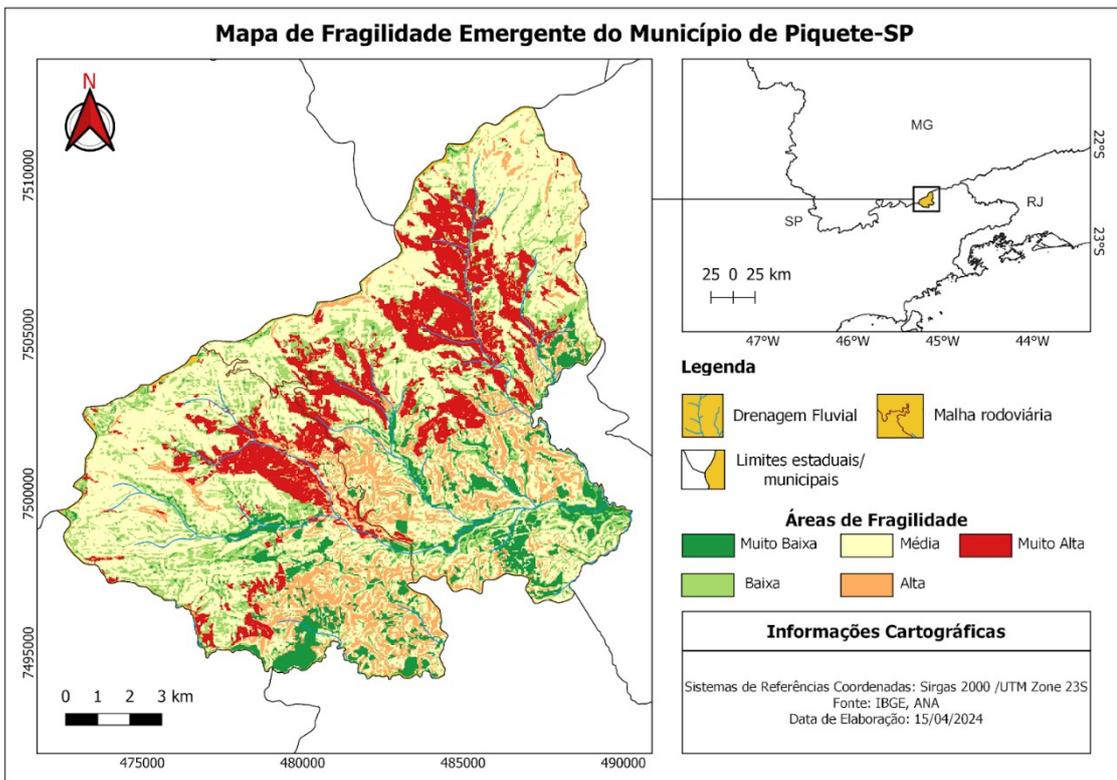
Após o primeiro processamento de sobreposição das imagens, obtivemos o mapa de fragilidade potencial da área de estudo (Figura 5). Com a junção do mapa da fragilidade potencial com o mapa de uso e ocupação do solo obtivemos o mapa de fragilidade emergente do município de Piquete (Figura 6). Evidenciando áreas de níveis de fragilidade distintos na paisagem, desde muito baixa até muito alta.

Figura 5 - Mapa de Fragilidade Potencial



Fonte: Autores (2024).

Figura 6 - Mapa de Fragilidade Emergente



Fonte: Autores (2024).

Os relatórios de estatísticas de área das classes de fragilidade (Quadros 4 e 5) mostram a importância da cobertura vegetal para a diminuição da fragilidade do meio físico. Através da análise da fragilidade ambiental, podemos observar que mais de 60% da área total do município de Piquete se encontra em áreas de fragilidade alta ou muito alta. Após o processamento da fragilidade emergente, vemos que esse valor caiu para cerca de 29%. Essa mudança ocorreu principalmente pela considerável cobertura vegetal encontrada nas porções mais altas do município, que amenizou grande parte da área de fragilidade potencial.

Quadro 4 - Resultado da quantificação de área para a fragilidade potencial

Categoria / fragilidade	Km ²
1 / muito baixa	14,157
2 / baixa	23,744
3 / média	29,1
4 / alta	30,258
5 / muito alta	75,707
Total: 172,968	

Fonte: Autores (2024).

Quadro 5 - Resultado da quantificação de área para a fragilidade emergente

Categoria / fragilidade	Km ²
1 / muito baixa	15.972300
2 / baixa	27.251100
3 / média	80.105400
4 / alta	21.127500
5 / muito alta	28.512000
Total: 172.968300	

Fonte: Autores (2024).

DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos, fica evidente a presença de uma extensa área no município de Piquete que se enquadra em zonas de fragilidade emergente média a muito alta, podendo ser associados com atividades como ação antrópica, como rodovias, matrizes de pastoreio, agricultura e perímetro urbano por exemplo. Entre essas zonas de fragilidade emergente muito alta, destaca-se uma parcela significativa da BR-459, uma rodovia de importância vital para o próprio município e também para diversas localidades na região. Já que essa malha viária interliga diversas cidades do entorno e também os estados de São Paulo e Minas Gerais (Brasil, 2018).

Os processos erosivos representam uma ameaça significativa para a integridade da infraestrutura rodoviária, resultando na deterioração de trechos e na inutilização de vias, o que por sua vez gera custos consideráveis para reparos e manutenção. Além disso, quando as estradas estão em estado precário devido à erosão, há um sério risco à segurança pública (Brasil, 2018, Carvalho; Molinari, 2014 *apud* Carvalho; Vieira, 2020; Oliveira, 2011). O histórico de interdições na BR-459, seja por deslizamentos de terra, erosão ou outros danos, ressalta a necessidade de uma vigilância mais atenta para evitar recorrências desses incidentes. Tais interrupções não se limitam aos transtornos citados anteriormente, mas se estendem também em impactos significativos na logística de transporte associados a essa rodovia (Brasil, 2018, 2023a)

Desta maneira, esses estudos auxiliam na compreensão dos padrões de erosão ao longo da rodovia permitindo identificar áreas vulneráveis a processos erosivos, como o deslizamento de terra e o desgaste do solo. Isso é essencial para o planejamento e a implementação de medidas preventivas, como a construção de barreiras de contenção, a estabilização de encostas por meio da vegetação e a implementação de drenagem adequada (Campagnolo *et al.*, 2018; Oliveira, 2011; Piazza *et al.*, 2015). Tais medidas ajudam a reduzir o risco de danos à rodovia e, conseqüentemente, a interrupção do fluxo de tráfego.

Um elemento da paisagem característico de Piquete, visível inclusive por imagens de satélite, são as trilhas causadas pelo pisoteio de gado em pastagens com relevo desregular (Figura 7), presentes grandemente em regiões de fragilidade média a muito alta. Segundo Silva *et al.* (2019) as áreas de trilhas de gado apresentam uma menor taxa de porosidade total e uma maior densidade de solo, em relação a áreas de pastagem e floresta nativa. Esses indicativos demonstram a diminuição da qualidade do solo causado pela atividade pastoril. Aliado a essas características, a formação de caminhos de gado nas encostas, tal qual é observado na paisagem do município,

desencadeiam processos como a redução da infiltração, aumento da exposição do solo e corroboram para a intensificação de processos erosivos (Thomaz; Dias, 2009).

Figura 7 - Imagem de satélite de trilhas de gado observadas na paisagem do município de Piquete



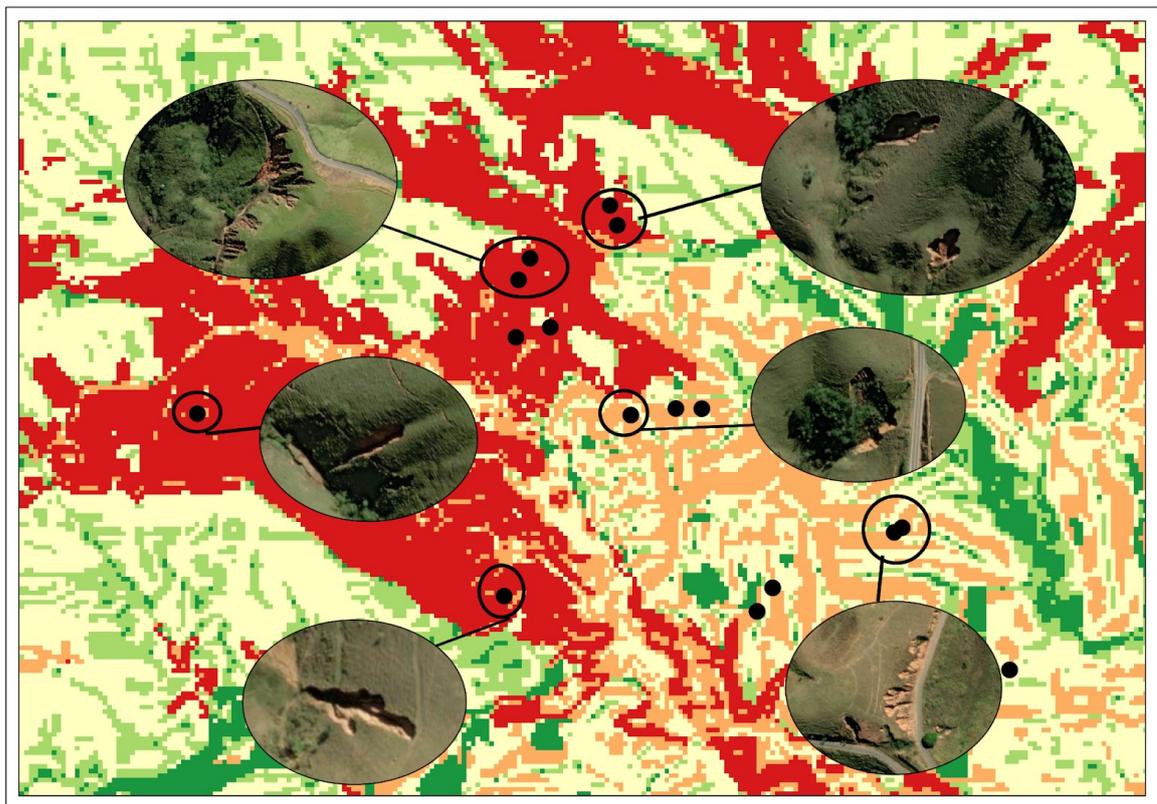
Fonte: Dos autores com base em Google Earth (2024).

O mapa de fragilidade emergente, evidenciou áreas que possuem diferentes graus de fragilidade, desde muito baixo até muito alta. Podemos encontrar na paisagem algumas evidências dessa alta fragilidade, uma vez que algumas vertentes apresentam processos erosivos de sulcos, ravinas e em estados mais avançados, voçorocas. De acordo com Stefanuto (2019), voçorocas tendem a se constituir em áreas onde ocorre um uso da terra voltado para utilização de pastagens para pecuária, conseqüentemente um mal controle em relação às técnicas de manejo. Esses processos erosivos são encontrados principalmente em áreas de alta fragilidade ambiental, mas pode ser encontrado também em locais com uma fragilidade média. Sendo preocupante, uma vez que esse processo não ocorra somente em áreas mais fragilizadas, mas também havendo possibilidade de que possa acontecer em locais com uma fragilidade média como mostrado na figura 8, estando ligada com a própria ação antrópica.

Através de softwares que mostram imagens de satélite, como foi observado no Google Earth, é possível observar a evolução desses processos erosivos por meio de uma análise temporal que mostra imagens de anos anteriores, sendo possível observar que a maior quantidade das

voçorocas e ravinas encontradas, começaram a se desenvolver em menos de 20 a 10 anos atrás. Imagens de anos mais recentes mostram uma evolução acelerada de voçorocas antigas, mas também sulcos e ravinas em novas áreas, evidenciando um problema grave relacionado à fragilidade de certas áreas e suas possíveis consequências.

Figura 8 - Pontos de ravinas e voçorocas em áreas de fragilidade distintas (de média a muito alta) localizadas no mapa de fragilidade emergente.



Fonte: Autores (2024).

Desse modo, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos futuros que identifiquem de maneira efetiva a qualidade do solo e a intensidade de processos erosivos nessas regiões. A partir dessas informações é possível pensar e escolher práticas de manejo que mitiguem as problemáticas indicadas, de acordo com as necessidades e condições de cada produtor rural. Exemplos de práticas de manejo de áreas de PASTAGENS inclui pastagem rotacionada, renovação e recuperação de áreas sem cobertura vegetal (Silva *et al.*, 2019).

DISCUSSÃO

Através dos resultados desse estudo, podemos inicialmente observar uma variedade de áreas no município de Piquete que se encontram em um estado de fragilidade ambiental alta. Essa alta fragilidade emergente, é devido a uma maior suscetibilidade a processos erosivos e de degradação. Notavelmente, muitas dessas áreas de fragilidade emergente são justamente aquelas onde estão localizadas as voçorocas. Esse padrão observado corrobora os resultados obtidos, sugerindo uma associação entre a presença de voçorocas e a fragilidade ambiental do solo. Essa conexão entre a alta fragilidade do solo e a ocorrência de voçorocas destaca a importância de ações preventivas e de manejo adequado do solo para mitigar os impactos negativos desses processos erosivos e promover a sustentabilidade ambiental na região.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Mestrado. Cód. 001.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A. de; GATIBONI, L. C.; ROVEDDER, A. P.; COSTA, F. de S. Fragilidade de solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância agrícola para o Brasil. In: CASTRO, S. S. de; HERNANI, L. C. (Ed.). **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Cap. 1, p. 25-50.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Tráfego na BR-459/SP/MG, Serra do Piquete, será liberado no domingo, dia 07/10**. Brasília, DF: DNIT, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/trafego-na-br-459-sp-mg-serra-do-piquete-sera-liberado-no-domingo-dia-07-10>. Acesso em: 21 abr. 2024. DNIT. **Tráfego na BR-459/SP/MG, Serra do Piquete, será liberado no domingo, dia**

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT alerta para interdição total da BR-459/SP, em Piquete. Brasília, DF: DNIT, 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/central-de-contudos/noticias-alerta-de-servicos/dnit-alerta-para-interdicao-total-da-br-459-sp-em-piquete>. Acesso em: 21 abr. 2024. DNIT. **Alerta para interdição total da BR-459/SP, em Piquete**

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT alerta para retomada do sistema de PARE E SIGA na BR-459/SP, em Piquete. Brasília, DF: DNIT, 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/central-de-conteudos/noticias-alerta-de-servicos/dnit-alerta-para-retomada-do-sistema-de-pare-e-siga-na-br-459-sp-em-piquete>. Acesso em: 21 abr. 2024. **DNIT alerta para retomada do sistema de PARE E SIGA na BR-459/SP, em Piquete.**

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT atua na contenção de pontos críticos na BR-459/SP. Brasília, DF: DNIT, 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/dnit-atua-na-contencao-de-pontos-criticos-na-br-459-sp>. Acesso em: 21 abr. 2024. **DNIT atua na contenção de pontos críticos na BR-459/SP.**

BRITO NETO, R. L.; TAGLIAFERRE, C.; LEMOS, O. L.; ROCHA, F. A.; PAULA, A. de; GONÇALVES, L. J. Morphology of pardo river watershed at the border of the states of Bahia and Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, [s. l.], v. 28, n. Contínua, p. 499–511, 2020. DOI: 10.13083/reveng.v29i1.8256. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/8256>. Acesso em: 21 maio. 2024.

BRONDIZIO, E. S.; SETTELE, J.; DÍAZ, S.; NGO, H. T. (Ed). **IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**. Bonn, Germany: IPBES Secretariat, 2019.

CAMPAGNOLO, Karla; KOBIYAMA, Masato; MAZZALI, Laís Helena; PAIXÃO, Maurício Andrades. A influência da vegetação na estabilidade de encostas com ênfase em margem de rio. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1, 2018, Porto Alegre: ABRHidro.

CARVALHO, Daniela Paiva; VIEIRA, Antonio Fábio Sabbá Guimarães. Mapeamento e caracterização de voçorocas na Rodovia BR-174 (Manaus - Presidente Figueiredo/AM). In: VIEIRA, Antônio Fábio Sabbá Guimarães; MOLINARI, Deivison Carvalho (org.). **Geografia física da Amazônia**. São Paulo: Alexa Cultural; Manaus: EDUA, 2020. v. 1, cap. 4, p. 61-78.

CHEN, Shuaipeng; LIU, Wenping. Impacts of different levels of urban expansion on habitats at the regional scale and their critical distance thresholds. **Environmental Research**. [s.l.], v.18, n.4, 044001, 2023. DOI: 10.1088/1748-9326/acbfd2. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/acbfd2>. Acesso em: 21 maio 2024.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simão de; HERNANDEZ FILHO, Pedro; FLORENZANO, Teresa Gallotti; DUARTE, Valdete; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Copernicus Global Digital Elevation Models**. San Diego: OpenTopography, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Acesso em: 20 abr. 2024.

MAPBIOMAS. **Coleções mapbiomas**. Coleção 8. [Série anual de mapas de uso e cobertura da terra do Brasil]. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 1 abr. 2024.

MYRONIDIS, Dimitrios; IOANNOU, Konstantinos. Forecasting the urban expansion effects on the design storm hydrograph and sediment yield using artificial neural networks. **Water**, Basel, v. 11, n. 1, p. 31, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11010031>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/1/31>. Acesso em: 20 abr. 2024.

OLIVEIRA, Bruno Eduardo Nóbrega. **Mapeamento, identificação e análise dos fatores relacionados aos processos erosivos no Distrito Federal (DF): ênfase nas voçorocas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

PIAZZA, Gustavo A.; OLIVEIRA, Laio Zimermann de; AUMOND, Juarês José; SEVEGNANI, Lucia; GEBIEN, Glaucia; ORTIZ, Marilha; ALVES, Thiago Caique. Modelo de avaliação de obras de contenção de pequenos movimentos de massa. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 6, n. 1, p. 101-118, 2015. DOI: 10.18472/SustDeb.v6n1.2015.10784. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/15674>. Acesso em: 21 maio 2024.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p. 63–74, 1994. DOI: 10.7154/RDG.1994.0008.0006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, p. 38–51, 2012. V. especial - RDG 30 anos DOI: 10.7154/RDG.2012.0112.0003. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/53841>. Acesso em: 21 maio 2024.

ROSSI, Marcio. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

SILVA, Antônio Soares da; COSTA, Gabriel Campos Pereira da; TÁVORA, Gabriel Spínola Garcia; SELIGER, Roman. Influência do pisoteio do gado na alteração das propriedades físicas de horizontes superficiais em Santo Antônio de Pádua. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 35, 2020. DOI: 10.12957/geouerj.2019.46650. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/46650>. Acesso em: 21 abr. 2024.

SOUZA JÚNIOR, Carlos M.; SHIMBO, Julia Z.; ROSA, Marcos R.; PARENTE, Leandro L.; ALENCAR, Ane A.; RUDORFF, Bernardo F. T.; AZEVEDO, Tasso. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, Basel, v. 12, n. 17, p. 2735. DOI: 10.3390/rs12172735, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/VJIJCL>. Acesso em: 22 maio. 2024.

STEFANUTO, Estêvão Botura. **Análise da dinâmica erosiva linear e seu potencial evolutivo em ambiente agrícola**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2019.

TAVARES, José Aribério. **Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Punaú (RN) e área litorânea adjacente**. 2006. Dissertação (Mestrado em Dinâmica e Reestruturação do Território) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2006.

TAYLOR, Kevin G.; OWENS, Philip N. Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. **Journal of Soils And Sediments**, London, v. 9, n. 4, p. 281-303, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-009-0103-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-009-0103-z>. Acesso em: 21 maio 2024.

THOMAZ, Edivaldo Lopes; DIAS, Wolliver Anderson. Bioerosão – evolução do rebanho bovino brasileiro e implicações nos processos geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 3-11, 2009. DOI: 10.20502/rbg.v10i2.125. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/125>. Acesso em: 21 maio 2024.

* Graduado em Ciências Biológicas - Bacharelado na Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da UNIFAL-MG.

** Graduado em Ciências Biológicas - Bacharelado na Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da UNIFAL-MG.

*** Graduado em Ciências Biológicas - Bacharelado na Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da UNIFAL-MG.

**** Doutora em Biologia Vegetal pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Rio Claro (UNESP - Rio Claro); Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da UNIFAL-MG.

***** Doutor em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Rio Claro (UNESP - Rio Claro). Professor do Instituto de Ciências da Natureza da Universidade Federal de Alfenas, Unifal-MG e orientador de mestrado pelo Programa de Pós Graduação em Geografia (mestrado) - PPGEIO da Unifal-MG.

Recebido em: junho de 2024

Aceito em: setembro de 2024