

APLICAÇÃO DE ÍNDICE DE VULNERABILIDADE À EROÇÃO NO ESTADO DO AMAZONAS

APPLICATION OF INDEX OF VULNERABILITY TO EROSION IN THE STATE OF AMAZONAS

Brychtn Ribeiro de Vasconcelos¹
Mirelle Tainá Vieira Lima²
Antonio Conceição Paranhos Filho³

¹ Universidade do Estado do Amazonas (UEA). E-mail: brychtn@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). E-mail: mirellet.vieira@gmail.com

³ Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS). E-mail: toniparanhos@gmail.com

RESUMO: O artigo busca mensurar o nível de vulnerabilidade à erosão antrópica presente no Estado do Amazonas, analisando fatores ambientais intrínsecos ao processo erosivo. Metodologicamente, baseou-se em sensoriamento remoto e geoprocessamento. As variáveis utilizadas foram normalizadas em valores de 1 a 3 e ponderadas para a confecção do mapa final, com base em pesos gerados pelo método de ponderação analítica Analytic Hierarchy Process. Por meio da aplicação deste índice foi possível atribuir níveis de vulnerabilidade à erosão maiores ou menores, comparativamente, dentro do Estado. Os locais com maior indicativo de vulnerabilidade foram, também, os que apresentavam maior pluviosidade média.

Palavras-chave: Análise Ambiental. Gestão. Geotecnologias. Sistema de Informações Geográficas.

ABSTRACT: The article seeks to measure the level of vulnerability to anthropogenic erosion present in the State of Amazonas, analyzing environmental factors intrinsic to the erosive process. Methodologically, it was based on remote sensing and geoprocessing. The variables used were normalized in values from 1 to 3 and weighted for the preparation of the final map, based on weights generated by the analytical weighting method Analytic Hierarchy Process. Through the application of this index it was possible to attribute levels of vulnerability to erosion that were comparatively higher or lower within the State. The places with the highest indication of vulnerability were also those with the highest average rainfall.

Keywords: Environmental analysis. Management. Geotechnologies. Geographic Information System.

Sumário: Introdução – 1 Procedimentos Metodológicos – 2 Resultados e Discussão – Considerações – Referências.

INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um fenômeno complexo que envolve processos de desprendimento, arrastamento, transporte e deposição de solo e outros materiais terrestres, que são impulsionados pelas propriedades do solo, inclinação do terreno, vegetação, quantidade e intensidade de chuva (Kar et al., 2022). O impacto da erosão pode atingir grandes escalas, uma vez que os sedimentos podem ser carregados por corpos hídricos e constituir uma fonte de poluição, devido ao transporte de fertilizantes e pesticidas de áreas agrícolas (Berteni et al., 2021).

A previsão e avaliação da erosão do solo ainda é um desafio para os pesquisadores devido à falta geral de informações precisas necessárias para analisar adequadamente a intensidade do fenômeno. Contudo, a integração de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG) possibilita inúmeros caminhos para avaliar a vulnerabilidade e/ou intensidade da erosão, em grandes extensões geográficas, a exemplo de biomas como a Amazônia (Berteni et al, 2021).

A bacia amazônica compreende a maior área contínua de florestas tropicais do mundo, onde o desmatamento na porção brasileira intensifica a erosão, principalmente durante a conversão de áreas desmatadas em áreas agrícolas e de pastagens, constituindo um importante e amplo campo de estudo (Lense et al, 2020). O monitoramento do desmatamento e das práticas conservacionistas, assim como o manejo adequado do solo, são essenciais para reduzir as chances de ocorrência deste risco ambiental (Gomes et al, 2020). Autores como: Gomes et al. (2020), Vidal; Silva Neto (2020), e Colares et al. (2022), desenvolveram índices para mensurar o potencial erosivo em regiões amazônicas, geralmente em nível de pequenas bacias hidrográficas.

Desse modo, o objetivo da pesquisa que deu origem ao presente artigo é medir o nível de vulnerabilidade à erosão antrópica que ocorre no estado do Amazonas, utilizando a análise dos fatores ambientais intrínsecos ao processo de erosão. A metodologia se baseada em sensoriamento remoto e geoprocessamento.

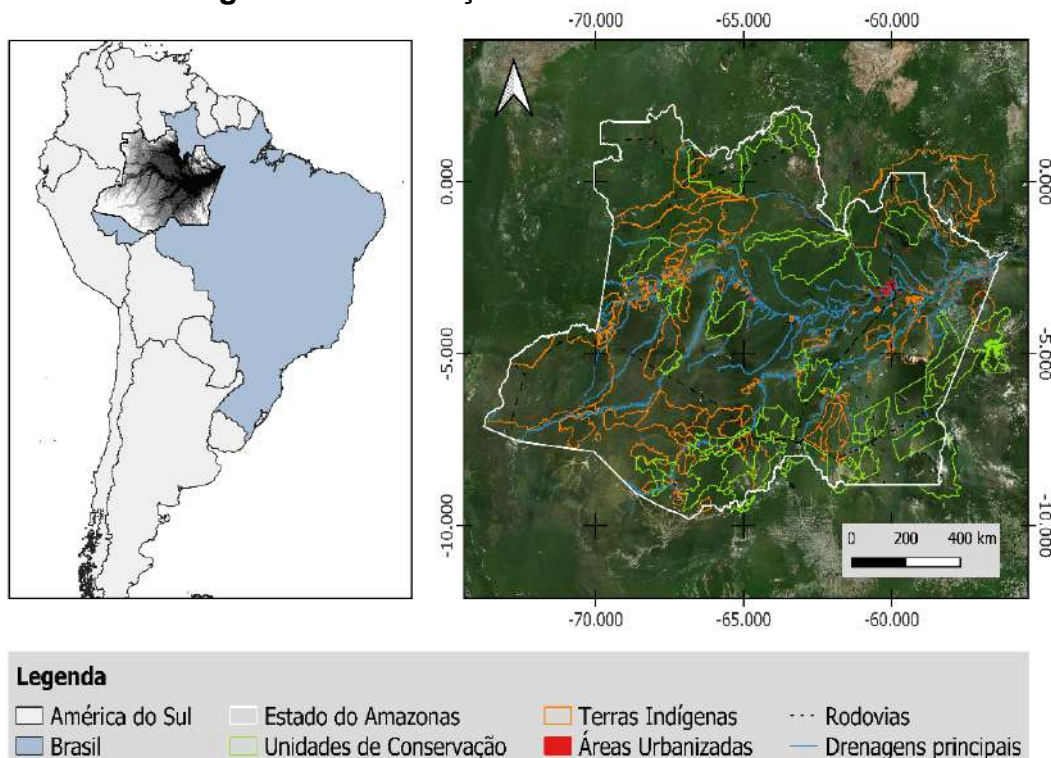
1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

a) Área de estudo

A área de estudo compreende o Estado do Amazonas, localizado ao Norte do Brasil, nas coordenadas de 73°48'5" W à 2°14'5" N, com extensão territorial de 1.559.255,881 km², população de 3.941.613 habitantes e densidade demográfica aproximada de 2,53 hab./km², segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). O estado apresenta área urbanizada corresponde a 669,46 km², ou 0.043% da área estadual total (IBGE, 2022). Sua área representa, aproximadamente, 23.45% da área total do bioma amazônico; sendo que, parte considerável da área de estudo compreende reservas indígenas e unidades de

conservação. Para além disso, consiste no maior e mais complexo sistema fluvial do mundo, sendo capaz de transferir sedimentos e solutos com as distâncias continentais, estabelecendo-se como o maior cinturão contínuo de planície de inundação da Terra (Latrubesse, et al, 2017). Além de sustentar um mosaico de zonas úmidas com mais de 1 milhão de metros quadrados de superfície (Figura 1).

Figura 1 - Localização do Estado do Amazonas



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A classificação climática Köppen para o Estado, subdivide-se em: 82,3% como tipo Af, com clima tropical úmido ou superúmido, sem estação seca e, 17,7% como Am, ou seja, clima tropical úmido ou subúmido (Alvares et al, 2013). As temperaturas médias mensais no Estado variam de 25,3 (julho) a 26,6 °C (outubro) e a precipitação de 124,4 (agosto) a 316,2 mm (março). A precipitação média anual por município varia de 2.086 mm a 3.619 mm (Alves et al, 2019).

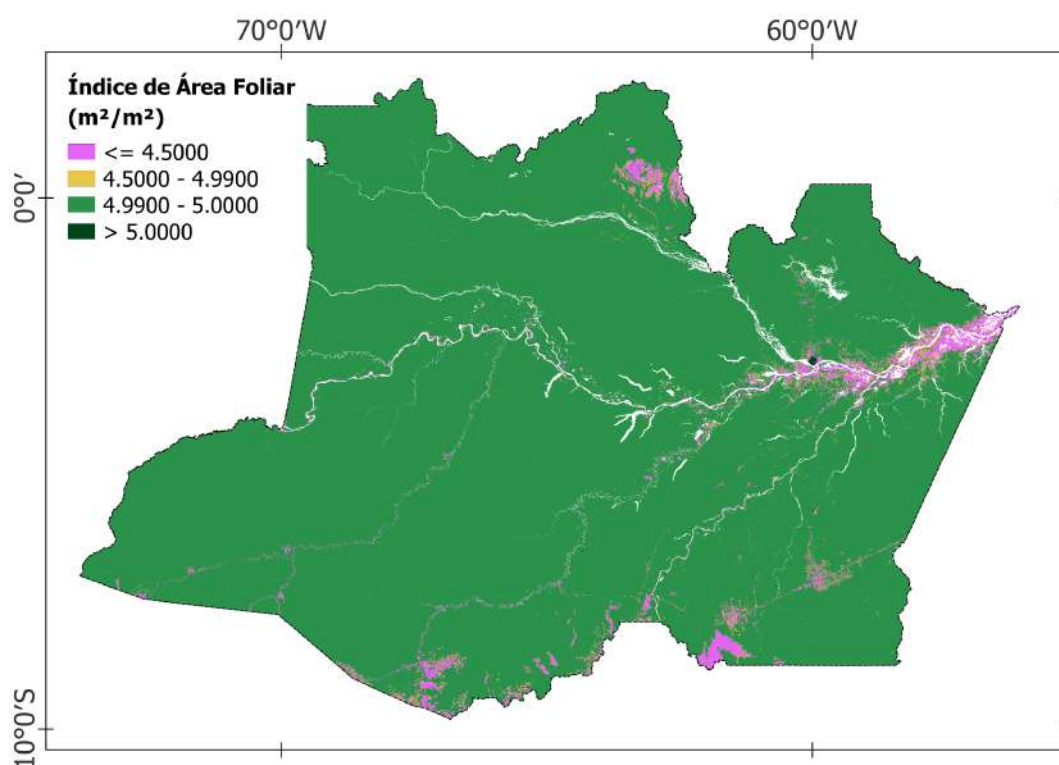
b) Índice de vegetação

Para análise da cobertura vegetal, optou-se pelo índice de área foliar (IAF) ou *Leaf Area Index* (LAI), o qual corresponde à metade da área desenvolvida de elementos fotossinteticamente ativos da vegetação por unidade de área horizontal

do solo. Ou seja, o IAF (ou LAI) é um índice biofísico definido pela razão entre a área total de todas as folhas de uma planta e a área do solo ocupada pela planta e, varia de 0 a 10. O IAF determina o tamanho da interface para troca de energia – como a radiação solar – e massa entre o dossel e a atmosfera, sendo uma variável primária intrínseca do dossel e não dependente das condições de observação (EO41, 2022).

Para a obtenção de composições médias espacializadas do LAI em todo o estado do Amazonas (Figura 2), foi utilizado o produto de cobertura terrestre MCD12Q1 versão 6.1 (Friedl; Sulla-Menashe, 2022), que consiste em um combinado do espectrorradiômetro de imagem de resolução moderada (MODIS) Terra e Aqua e fornece tipos de cobertura terrestre globais em intervalos anuais entre 2001 e 2021 (IPDAAC, 2022). As imagens do produto MCD12Q1, camada LC_Type3, foram solicitadas por meio da plataforma AppEEARS (2022), correspondentes aos anos de 2001 a 2020.

Figura 2 - LAI médio para o estado do Amazonas entre 2001 e 2020



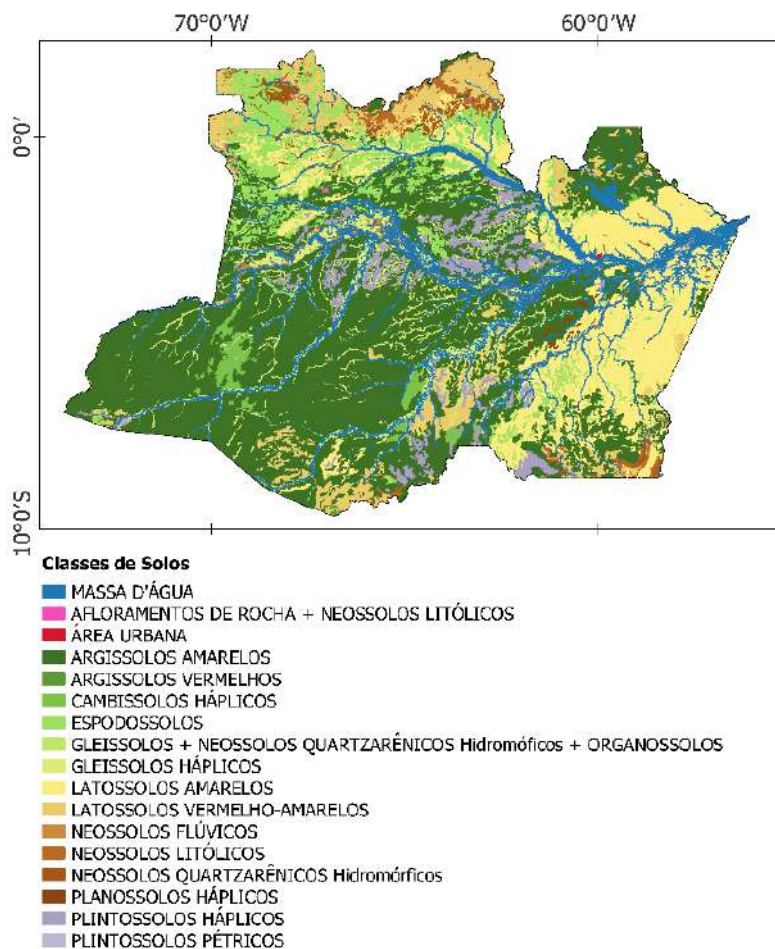
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Nota-se que, a maior parte do Estado compreende índice de área foliar entre 4,99 e 5 m²/m². As áreas com maiores nuances e redução do LAI compreendem as áreas urbanizadas, concentradas às margens dos principais cursos de rios (sobretudo próximo à capital, Manaus), e nas áreas com uso agrícola mais intensificado.

c) Aspectos do terreno

Os mapeamentos de litologia e pedologia para o estado do Amazonas (Figura 3) foram obtidos por meio do Levantamento de Geodiversidade, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2015), atual Serviço Geológico do Brasil (SGB). Percebe-se que, predominam os solos do tipo Argissolos e Latossolos, bem como, as rochas de origem sedimentar.

Figura 3 - Mapeamentos de litologia e pedologia para o Estado do Amazonas



Fonte: CPRM (2015).

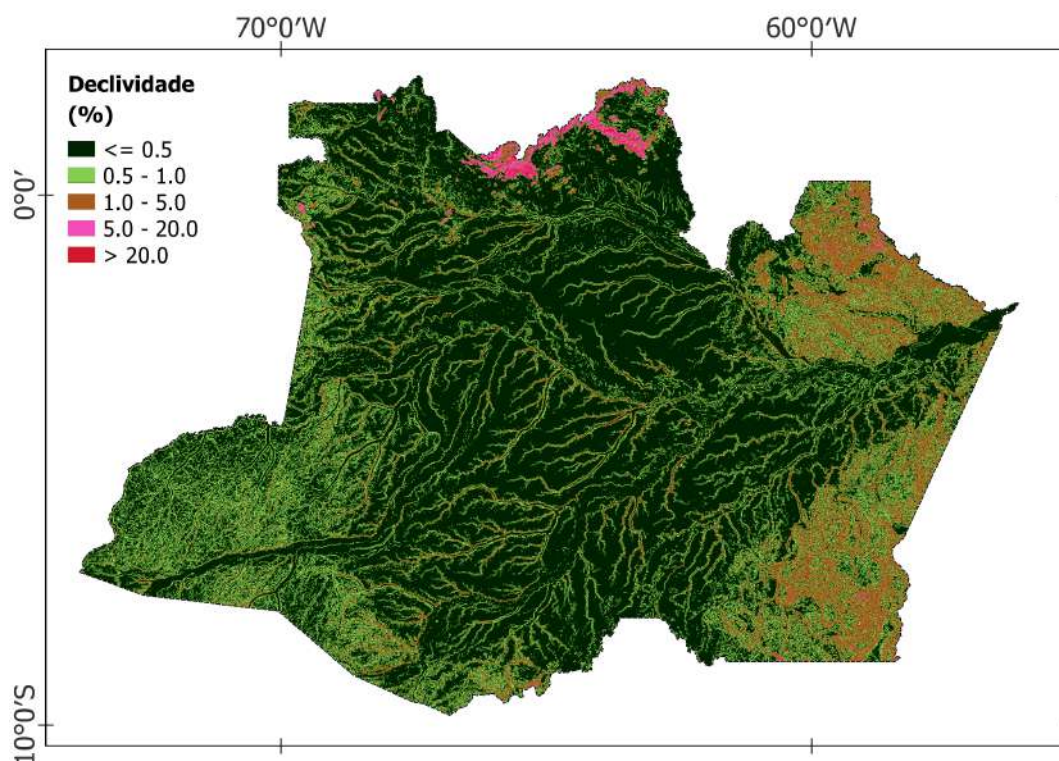
Posteriormente, as classes de solo e rochas foram reclassificadas em índices que variam de 1 a 3 (Tabela 1); onde, quanto mais próximo ao 3 maior a vulnerabilidade à erosão, conforme metodologia proposta por Crepani (2001) e complementada por autores como Muller (2017), Batista (2012), Arnesen (2009) e Aquino et al. (2020).

Tabela 1 - Pesos atribuídos as classes de solo e rocha presentes na área de estudo

Classes de Rochas	Nota
Ígnea	1
Ígnea, metamórfica	1.5
Metamórfica	2
Metamórfica, Sedimentar (ou Sedimentos)	2.5
Ígnea, Sedimentar (ou Sedimentos)	2.5
Sedimentar (ou Sedimentos)	3
Classes de Solo	Nota
Afloramentos de Rocha + Neossolos Litólicos	3
Área Urbana	2
Argissolos Amarelos	2
Argissolos Vermelhos	2
Cambissolos Háplicos	2.5
Espodossolos	2
Gleissolos + Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos + Organossolos	3
Gleissolos Háplicos	3
Latossolos Amarelos	1
Latossolos Vermelho-Amarelos	1
Massa D'água	0
Neossolos Flúvicos	3
Neossolos Litólicos	3
Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos	3
Planossolos Háplicos	3
Plintossolos Háplicos	3
Plintossolos Pétricos	3

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O modelo digital de elevação (MDE) do terreno utilizado consiste no produto do sensor Modis Land/sea mask and digital elevation model - remapped ou MODDEM1KM. A partir do MDE, obteve-se a declividade do terreno, utilizando-se a ferramenta *Slope* do software QGIS 3.26 (Figura 4). A declividade média do terreno é de 0,58%, variando de 0 a 57,2%.

Figura 4 - Declividade do terreno em % no estado do Amazonas

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

d) Dados históricos de chuva

As séries históricas de dados pluviométricos foram obtidas na plataforma Hidroweb, da Agência Nacional das águas e Saneamento Básico (ANA, 2022). Filtrando pesquisa por estações do tipo pluviométricas e localizadas no Estado do Amazonas, foram identificados 299 pluviômetros disponíveis, os quais foram tabulados e organizados em planilha eletrônica. Para fins de adaptação da metodologia, foram excluídas estações com menos de 60% de dados entre 1976 e 2020, restando 92 estações.

Os dados faltantes encontrados na série foram preenchidos no *software* estatístico R, por meio do pacote *dlookr*, utilizando-se a função 'imputate na' e o algoritmo 'mice' como método de imputação (Ryu, 2019). Em seguida, os dados pontuais das estações pluviométricas foram espacializadas por meio da interpolação de polígonos de *Thiessen*, utilizando o complemento SAGA do QGIS. Os mapas gerados foram recortados nas delimitações do estado do Amazonas e convertidos em *Raster*, por meio da ferramenta GDAL do QGIS.

e) Composição final

O mapa de vulnerabilidade final é produto das variáveis LAI, pluviosidade média dos últimos trinta anos, pedologia, litologia e declividade. Para garantir a equivalência dos pesos, as variáveis foram normalizadas individualmente para transformar os valores brutos, com unidades de medida diferentes, em valores de índice corresponde de 1 a 3, em que quanto mais próximo ao 3 mais vulnerável à erosão. O método utilizado, é adaptado da metodologia utilizada por Waquil (2010) e foi operacionalizado a partir das equações 1 (LAI) e 2 (pluviosidade e declividade):

$$\text{Se a relação é negativa: } I = 1 + \left(\left(\frac{M-x}{(M-m)+\sqrt{M}} \right) * 3 \right) \quad (1)$$

$$\text{Se a relação é positiva: } I = \left(\left(\frac{x-min}{(M-m)+\sqrt{M}} \right) * 3 \right) \quad (2)$$

Em que, I = índice calculado referente a cada variável, para cada município analisado; x = valor observado específico para aquela variável e município; m = valor mínimo observado e M = valor máximo observado.

Por conseguinte, na calculadora *raster* do QGIS, o mapa final foi computado com base em pesos, gerados pelo método de ponderação analítica Analytic Hierarchy Process (AHP), introduzido por Saaty (1991). Os pesos para cada variável foram atribuídos no site AHP Calculator (<https://bpmmsg.com/ahp/ahp-calc.php>). A equação final, obtida por meio dos pesos, que é expressa da seguinte maneira (Equação 3).

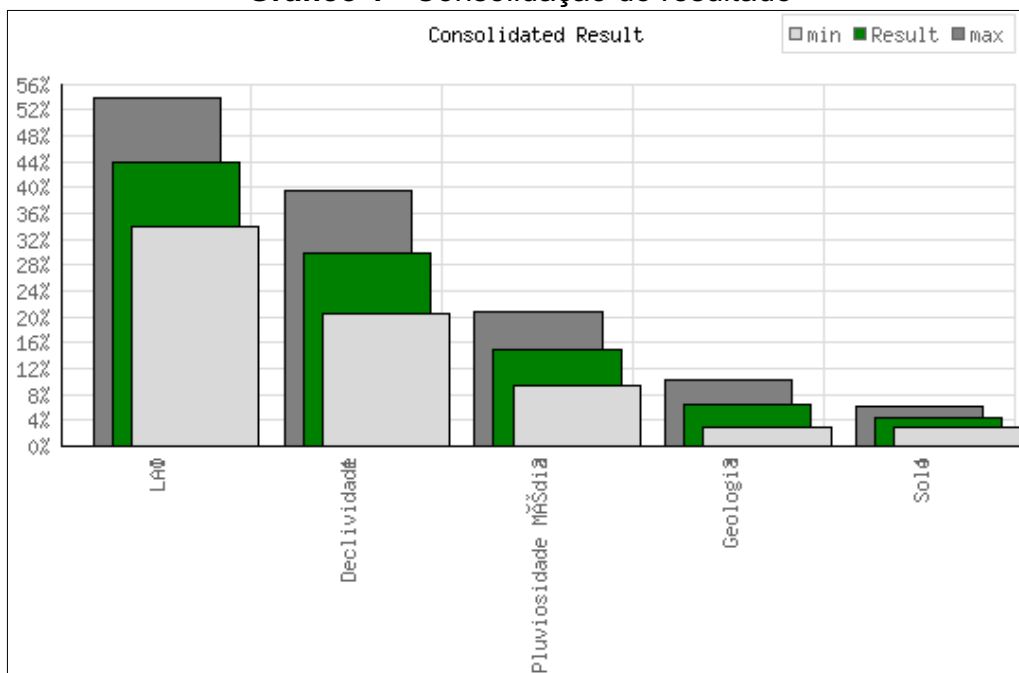
$$(0.44 * LAI) + (0.3 * Declividade) + (0.15 * Pluviosidade Média) + (0.065 * Litologia) + (0.045 * Solos) \quad (3)$$

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do método AHP, obteve-se uma razão de consistência (RC) igual a 6,4%. É recomendado RC inferior a 10% para considerar aceitáveis as comparações de nível de importância entre as variáveis (Saaty, 1991). O RC é gerado após a escolha das relações de importância de cada variável, e é utilizado para determinar o grau de coerência das escolhas, pois mede a probabilidade das

comparações terem sido geradas aleatoriamente (Bezerra Neto et al., 2022). Na presente pesquisa considerou-se que a importância das variáveis para determinar a vulnerabilidade ambiental à erosão se dá na seguinte ordem: LAI, declividade, pluviosidade média, pedologia e litologia (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Consolidação do resultado



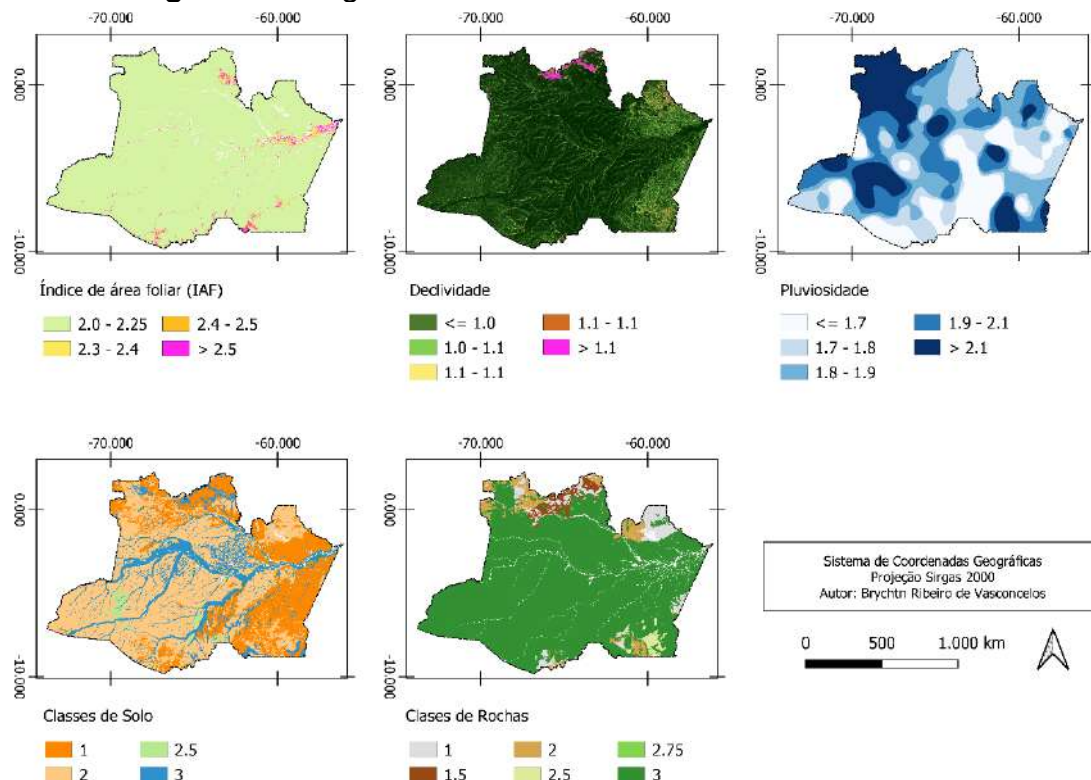
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Santos e Nascimento (2021), realizando análises multicriterial para determinar a suscetibilidade e vulnerabilidade à erosão hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, no estado de Sergipe, utilizaram o AHP, com os seguintes critérios: erodibilidade, erosividade, hipsometria, declividade e cobertura do solo, dando superior importância ao critério de declividade. Consideraram a dissecação de relevo o fator mais importante para identificar a fragilidade ambiental à erosão do solo, seguido da declividade, hipsometria e precipitação. Colares et al. (2022) utilizaram declividade, solo, geologia e uso da terra, considerando os dois últimos como mais importantes, analisando a vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, Amazonas.

A Figura 5 apresenta o mapeamento do índice de área foliar e da pluviosidade médias entre 2001 e 2021; bem como, da declividade, litologia e pedologia no estado do Amazonas. Os valores originais de cada *raster* foram

normalizados em uma escala que varia de 1 a 3, em que, quanto mais próximo a 3 maior a vulnerabilidade do terreno à erosão, conforme cada variável.

Figura 5 - Imagens reclassificadas das variáveis analisadas



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Percebe-se que o IAF obteve índice de vulnerabilidade maior em áreas pontuais de desmatamento, com formação de pastagem, vegetação campestre e urbanização, não apresentando dados ao longo dos principais cursos de rios. Barbino et al. (2021), aplicando o IAF e fração da radiação fotossinteticamente ativa (fPAR) em áreas de floresta e pastagem na Amazônia Ocidental, obtiveram IAF entre 5.45 e 1.71 m² m⁻², para floresta e pasto, respectivamente.

Os autores concluíram que o IAF e a fPAR são importantes indicadores para a dinâmica vegetal, principalmente em anos de eventos extremos. Afirmaram, ainda, que os produtos do sensor MODIS para a determinação de IAF e fPAR produzem dados confiáveis e constituem alternativa à escassez de dados observacionais na Amazônia.

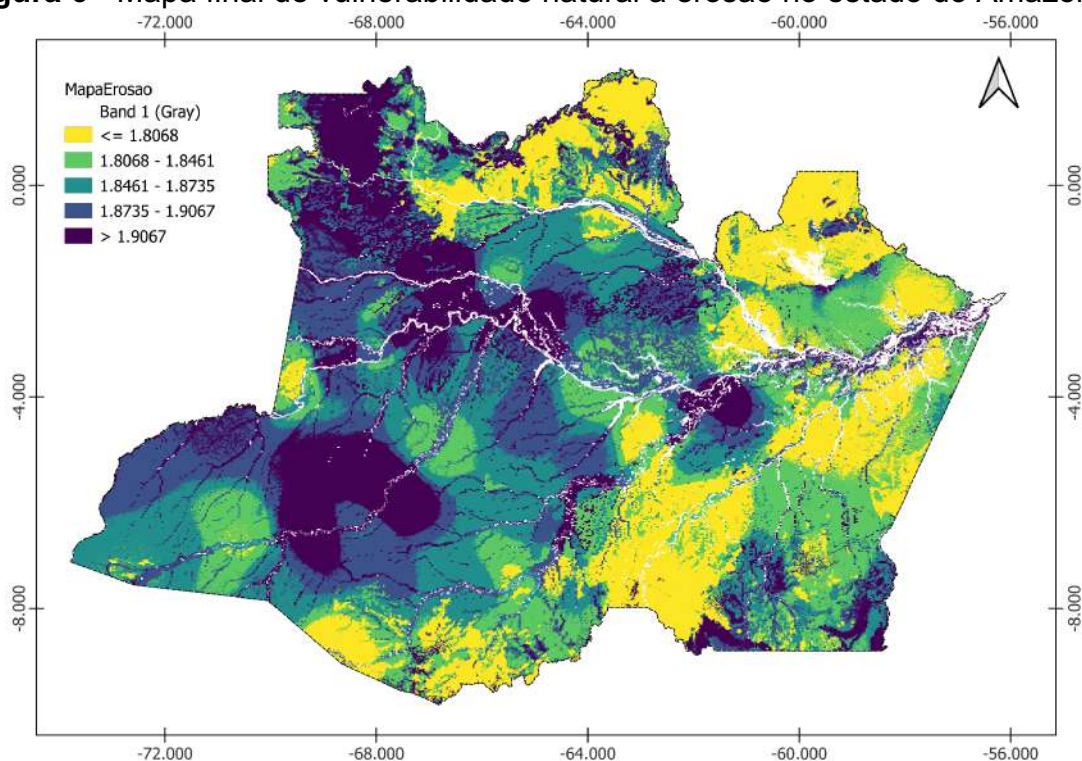
O tipo de vegetação, a cobertura vegetal e a característica das plantas podem afetar substancialmente os processos hidrológicos e erosivos, à medida que

controla o escoamento superficial (Yue et al, 2020). Ou seja, mesmo em um solo com elevada declividade, a cobertura vegetal adequada se sobressai à declividade e pode ser capaz de controlar a perda de solo. No estado do Amazonas, a declividade apresenta variações muito pequenas em todo o Estado. Pois, quanto maior o grau de declividade maior a erodibilidade e vulnerabilidade natural da área a erosão do solo (Silva; Rosa, 2019).

O estudo realizado por Yue et al. (2020), verificou que a cobertura vegetal de diferentes tipos de vegetação poderia efetivamente diminuir o escoamento superficial e a erosão do solo sob 11 eventos erosivos de chuva durante 2015 a 2019 ocorridos na região de Loess Plateau, China. Foram verificadas reduções de 68,0% a 97,4% da profundidade do escoamento superficial e 98,0% a 99,9% da perda de solo em comparação a terra nua sob eventos de chuvas erosivas. Observaram, também, que a erosão relativamente alta do solo pode ocorrer em certos eventos erosivos de chuva devido à alta intensidade da chuva e ao teor de umidade do solo antecedente.

A intensidade da chuva é outro fator decisivo para a vulnerabilidade a erosão do solo. Gomes et al. (2020) apontam para o risco ambiental erosivo iminente sobre a Bacia Hidrográfica do Médio-Baixo rio Madeira, na Amazônia Ocidental, devido às elevadas intensidades de chuva, especialmente quando somadas à eventos extremos de precipitação pluvial, associados ao fenômeno *La Niña*. A pluviosidade variou de 95,7 mm.mês⁻¹ em Humaitá a 357,1 mm.mês⁻¹ em São Gabriel da Cachoeira. Com base no mapa de interpolação das chuvas, obteve-se média de 204,7 mm.mês⁻¹ no Estado. Notam-se as maiores médias de pluviosidade no entorno dos municípios São Gabriel da Cachoeira, Jutai, Maraã, Presidente Figueiredo, Beruri e Novo Aripuanã.

A ponderação das variáveis resultou no mapa final de vulnerabilidade à erosão no estado do Amazonas (Figura 6). Observa-se que nos locais com maiores pluviosidades médias, como nos municípios de São Gabriel da Cachoeira e Jutai, obtiveram-se os maiores índice de vulnerabilidade à erosão.

Figura 6 - Mapa final de vulnerabilidade natural à erosão no estado do Amazonas

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Considerou-se as pedologias próximas às drenagens de rios (gleissolos e depósitos aluvionares) como as mais vulneráveis aos processos erosivos, devido ao nível de desagregação das partículas. As áreas consideradas menos vulneráveis, do ponto de vista pedológico, encontram-se na porção Leste do Estado, bem como ao Norte. Assim como a maior parte do território é coberta por rochas do tipo sedimentar, e são consideradas como mais vulneráveis aos processos erosivos, comparativamente às demais classes presentes no Estado.

CONSIDERAÇÕES

A utilização de ferramentas de SIG, associadas ao método AHP, apresenta-se como uma possibilidade na produção de índices de identificação de áreas mais vulneráveis à erosão, sobretudo devido ao avanço na disponibilidade de dados espaciais. O presente artigo sugere a viabilidade da aplicação de índices em grandes áreas, mas requer estudos de validação dos resultados, e não substitui estudos em nível local. Neste índice, locais com maiores médias históricas de pluviosidade obtiveram maiores índice de vulnerabilidade à erosão, como nos municípios de São Gabriel da Cachoeira e Jutai.

O estudo proporciona percepções valiosas sobre a vulnerabilidade ambiental à erosão no estado do Amazonas, empregando o método AHP para priorizar variáveis críticas. A RC de 6,4% validou a robustez das escolhas feitas, estando abaixo do limite de 10% sugerido por Saaty (1994), o que reforça a confiabilidade dos resultados apresentados.

Por fim, este estudo contribui para um entendimento da vulnerabilidade à erosão no estado do Amazonas. O mapeamento resultante desta pesquisa pode ser aplicado como um recurso para políticas públicas voltadas à conservação ambiental e ao manejo sustentável dos recursos naturais na região.

Agradecimentos

Professor Dr. Brychtn Ribeiro de Vasconcelos agradece a Universidade do Estado do Amazonas pela concessão da Gratificação de Produtividade Acadêmica (Portaria N° 409/2021 - GR/UEA).

Mirelle Tainá Vieira Lima agradece o apoio científico da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo provimento de bolsa de pesquisa em nível de doutorado. Professor Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho agradece ao CNPq pela concessão de Bolsa Produtividade em Pesquisa ao (PQ-1D - CNPq Processo 304644/2022-6).

REFERÊNCIAS

Alvares, C. A.; et. al. Köppen's climate classification map for Brazil.

Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

Alves, R. C.; et al. Classificação climática para o estado do Amazonas segundo as zonas de vida de Holdridge. **Revista de Ciências Agrárias**. Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 62, 2019. Disponível em: <http://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/3095>. Acesso em: 29 ago. 2023.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Catálogo de metadados da ANA**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/>. Acesso em: 06 fev. 2023.

ANA - Agência Nacional de Águas. HIDROWEB. **Estações Pluviométricas do Amazonas**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 06 nov. 2022.

Aquino, J. N. de; et al. Zoneamento do Potencial de Uso Conservacionista na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos-RS. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 3, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/38571>. Acesso em: 06 nov. 2022. DOI: https://doi.org/10.11137/2020_3_292_302

Arnesen, A. S. Análise da vulnerabilidade natural à erosão na bacia hidrográfica do Rio Tijucas/SC através de técnicas de geoprocessamento: um subsídio à governança territorial. 2009. 96p. **Trabalho de Conclusão do Curso** (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/124313>. Acesso em: 29 ago. 2023.

Barbino, G. C; et al. Sensoriamento Remoto aplicado ao Índice de Área Foliar e fração da radiação fotossinteticamente ativa em áreas de floresta e pastagem na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, 2021. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/810>. Acesso em: 29 ago. 2023.

Batista, C. T.; Veríssimo, C. U. V. Vulnerabilidade geoambiental da região metropolitana de Fortaleza: análise comparativa de dois métodos com enfoque a processos erosivos. **Geociências**, v. 31, n. 1, p. 47-56, 2012. Disponível em: http://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/31_1/Art04_Batista_&_Ver%EDssimo.pdf. Acesso em: 29 ago. 2023.

Berteni, F.; Barontini, S.; Grossi, G. Evaluating soil erosion by water in a small alpine catchment in Northern Italy: Comparison of empirical models. **Acta Geochimica**, v. 40, n. 4, p. 507-524, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11631-020-00447-x>. Acesso em: 29 ago. 2023.

Bezerra Neto, J. A.; Nascimento, P. S. R.; de Barros, G. V. P. Análise hierárquica aplicada à erosão do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe (SE). **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 82-106, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/49367>. Acesso em: 29 ago. 2023.

Colares, I. S; et al. Suscetibilidade do Solo à erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (Amazonas-Brasil). **Caminhos de Geografia**. Uberlândia-MG, v. 23, n. 89, p. 367-389, 2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/60655>. Acesso em: 29 ago. 2023. DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG238960655>

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Levantamento de Geodiversidade**. 2015. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 04 nov. 2022.

Crepani, E; et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: **INPE**, 124 p., 2001. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

EO41. **Earth Observation for Agro-Insurance. Vegetation Indices: LAI, NDVI**. [S.l.]. Disponível em: <https://earsportal.eu/display/EO41/Vegetation+Indices%3A+LAI%2C+NDVI>. Acesso em: 03 nov. 2022.

Friedl, M; Sulla-Menashe, D. MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500m SIN Grid V061 [Base de dados]. **NASA EOSDIS** Land Processes DAAC, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD12Q1.061>. Acesso em: 02 nov. 2022.

Gomes, D.; da Silva, L. P.; de Lima, A. M. M. Vulnerabilidade ambiental na Sub-Bacia do Médio Tapajós (AM-PA). **Revista Geonorte**, v. 11, n. 38, p. 71-89, 2020. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/8054>. Acesso em: 29 ago. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am.html>. Acesso em: 06 fev. 2023.

IPDAAC. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd12q1v061/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

Kar, S. K; et al. Process-based modelling of soil erosion: scope and limitation in the Indian context. **Curr Sci**, v. 122, n. 5, p. 533-541, 2022. Disponível em: <https://www.currentscience.ac.in/Volumes/122/05/0533.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2023.

Latrubesse, E. M; et al. Damming the rivers of the Amazon basin. **Nature**, v.546, n.7658, 2017, p. 363–369. doi:10.1038/nature22333. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature22333>. Acesso em: 20 ago. 2023.

Lense, G. H. E; et al. Effects of deforestation on water erosion rates in the Amazon region. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, p. 1-7, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/48130>. Acesso em: 30 set. 2023.

Muller, M. B. Análise da vulnerabilidade ambiental à erosão do município de Itaguaçu-ES: subsídios ao planejamento territorial e gestão de recursos naturais. 2017. 72p. **Monografia** (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. Vitória-ES, 2017. Disponível em: <https://geo.ufes.br/sites/geografia.ufes.br/files/field/anexo/mirella.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2023.

NASA. Laads Daac. **Dem. moddem1km**. Land/sea mask and digital elevation model - remapped. Disponível em: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/products/MODDEM1KM>. Acesso em: 19 nov. 2022.

QGIS.ORG. **QGIS** Geographic Information System (v 3.26). QGIS Association, 2022. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/. Acesso em: 02 nov. 2022.

Ryu, C. dlookr: Tools for Data Diagnosis, Exploration. Transformation, p. 352, 2019. Disponível em: <https://rdr.io/github/choonghyunryu/dlookr/>. Acesso em: 02 nov. 2022.

Saaty, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Makron Books, 1991, 367p.

Santos, M. S; Nascimento, P. S. de R. Análise da vulnerabilidade e vulnerabilidade à erosão hídrica pelo processo analítico hierárquico (AHP). **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 1-19, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/37588>. Acesso em: 29 ago. 2023.

Silva, A. S.; Rosa, R. Mapa de capacidade e potencial do uso da terra do município de Catalão (GO). **Caderno de Geografia**, v. 29, n.59, p. 954-977, 2019. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/19522>. Acesso em: 29 ago. 2023.

Vidal, B. S.; Silva Neto, J. C. A. Análise do potencial erosivo da bacia hidrográfica do Igarapé, Cacaú Pirêra, Iranduba, Amazonas, Brasil. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeeducacionais**, v. 11, n. 1, p. 711-727, 2020. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5528/552861694057/552861694057.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2023.

Waquil, P; et al. Avaliação de desenvolvimento territorial em quatro territórios rurais no Brasil. *Redes*. **Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 15, n. 1, p. 104-127, 2010. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/redes/article/view/48>. Acesso em: 29 ago. 2023.

Yue, L; et al. Response of runoff and soil erosion to erosive rainstorm events and vegetation restoration on abandoned slope farmland in the Loess Plateau region, China. **Journal of Hydrology**, v. 584, p. 124694, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169420301542>. Acesso em: 29 ago. 2023