VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA REDE HIDROGRÁFICA DE CÁCERES (MT) UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

Autores: Ricardo Jair de Oliveira[1], Vinicius de Souza Monteiro[1], Fernanda Santos Ferreira[1], Andreyla Barbosa da Cunha[1], Iandra Victória Pinto Guimarães[1], Mauricio Borges do Nascimento[1], Alisson da Silva Nogueira[1].

[1]Universidade Federal do Espírito Santo - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Avenida Governador Lindenberg, 316, Centro - 29.550-000 - Jerônimo Monteiro - ES, Brasil, ricardo.jair@hotmail.com, viniciusmonteiro.15@hotmail.com, fernandaferreiraatm02@gmail.com, andreyla.bcunha@gmail.com, iandravictoria.eng@gmail.com, mauriciobn98@gmail.com, alisson.nogueira@edu.ufes.br.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo elaborar um mapa de vulnerabilidade ambiental na faixa de influência da rede hidrográfica do município de Cáceres (MT), utilizando técnicas de geoprocessamento e lógica Fuzzy. Foram consideradas as classes antrópicas Área Urbanizada, Cultivo Agrícola, Pastagem e Silvicultura, obtidas do MapBiomas Coleção 10. Para representar a influência espacial desses usos, foram gerados mapas de distância euclidiana, posteriormente padronizados por meio da função Fuzzy Linear Decrescente. Os mapas resultantes foram integrados pelo operador Fuzzy Gamma (γ = 0,7) e analisados em um buffer de 500 m no entorno da rede hidrográfica. A metodologia permitiu espacializar a influência potencial dos usos antrópicos nas proximidades da rede hidrográfica. O índice de vulnerabilidade foi classificado em cinco níveis, permitindo identificar a distribuição espacial das áreas sob diferentes graus de influência antrópica com aplicação no planejamento e na conservação dos recursos hídricos no município.

Palavras-chave: Geoprocessamento. MapBiomas. Recursos hídricos. Uso da terra.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias: Engenharia Florestal.

Introdução

Os recursos hídricos são fundamentais na manutenção dos ecossistemas e no atendimento às diferentes demandas da sociedade. A expansão e a intensificação das atividades antrópicas, especialmente a agricultura, a pecuária, a silvicultura e a urbanização, podem exercer pressão sobre os ambientes associados à rede hidrográfica. Alterações no uso e cobertura da terra podem modificar processos hidrológicos e contribuir para a degradação das condições ambientais dos cursos d'água, tornando relevante a identificação espacial de áreas submetidas a maior influência antrópica. Estudos de vulnerabilidade ambiental demonstram que a análise integrada da ocupação da terra constitui uma importante ferramenta para identificar áreas com maior potencial de pressão ambiental e subsidiar ações de planejamento e conservação (Oliveira-andreoli *et al.*, 2021).

Devido sua grande importância nacional e internacional, assim como os demais biomas, o Pantanal, uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta, cuja dinâmica ecológica está fortemente condicionada pelo regime hidrológico sazonal e pelo pulso de inundação. A alternância entre períodos de cheia e seca influencia a distribuição dos ambientes terrestres e aquáticos, a ciclagem de nutrientes, a biodiversidade e a disponibilidade de habitats para diferentes espécies (Junk; Bayley; Sparks, 1989; Junk; Silva, 1999). Além de sua importância ecológica, o Pantanal desempenha funções relacionadas à regulação hídrica e à manutenção de serviços ecossistêmicos, sendo considerado uma região de elevada relevância para a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais (Dallacort *et al.*, 2014; Miranda, *et al.*, 2018). A dinâmica hidrológica e a conectividade proporcionada por sua rede de rios e áreas inundáveis tornam o bioma particularmente sensível às alterações promovidas nas áreas de contribuição e nas proximidades dos sistemas fluviais.

O município de Cáceres, no estado de Mato Grosso, está inserido no contexto do Pantanal de Cáceres e possui forte relação territorial com a dinâmica do rio Paraguai e de seus tributários, sendo

essencial para análises relacionados à conservação dos recursos hídricos. Estudos realizados no município demonstram que alterações no uso e ocupação da terra ao longo dos corredores fluviais e das bacias hidrográficas podem estar associadas a impactos ambientais sobre os sistemas hídricos, reforçando a necessidade de análises espaciais voltadas ao planejamento e à conservação dessas áreas (Cruz *et al.*, 2017; Leandro; Nascimento; Souza, 2019).

A relação entre uso da terra e recursos hídricos é influenciada pela extensa rede de drenagem associada à Bacia do Alto Paraguai. Pesquisas realizadas no Pantanal de Cáceres demonstram como a rede hidrográfica é crucial para a dinâmica ambiental regional e como a ocorrência de diferentes formas de ocupação nas proximidades dos cursos d'água, incluindo áreas destinadas à pecuária e outros usos antrópicos influenciam nesta dinâmica (Leandro; Nascimento; Souza, 2019). A proximidade entre atividades humanas e sistemas fluviais, constitui um aspecto relevante para a avaliação da pressão potencial exercida sobre os ambientes aquáticos.

Nesse contexto, a rede hidrográfica se faz indispensável para a análise da influência dos usos da terra sobre os recursos hídricos espacialmente. A utilização de técnicas de geoprocessamento permite integrar diferentes informações espaciais e representar a relação entre a distribuição das atividades antrópicas e sua proximidade em relação aos cursos d'água. A distância euclidiana pode ser empregada para representar essa influência espacial de maneira contínua, enquanto a lógica *Fuzzy* possibilita transformar os valores de distância em diferentes graus de pertinência, permitindo representar a redução gradual da influência à medida que aumenta a distância em relação às fontes de pressão. Essa abordagem já foi empregada em estudos de vulnerabilidade ambiental no Brasil, inclusive na Amazônia, utilizando classes antrópicas, distância euclidiana e funções de pertinência fuzzy (Fiedler *et al.*, 2023; Scaramussa *et al.*, 2023).

A lógica *Fuzzy* apresenta particular interesse para estudos dessa natureza por permitir representar transições graduais entre diferentes níveis de vulnerabilidade, evitando a adoção de limites rígidos entre áreas consideradas vulneráveis e não vulneráveis (Santos *et al.*, 2024; Godoy *et al.*, 2025). Em estudos realizados em bacias hidrográficas, sua aplicação tem sido associada à análise espacial e multicritério para representar a variação contínua das condições ambientais e apoiar o planejamento e a conservação dos recursos naturais (Lira *et al.*, 2022).

A avaliação da proximidade dos usos antrópicos em relação aos cursos d'água é relevante porque diferentes formas de ocupação podem exercer pressões distintas sobre os sistemas fluviais. No Pantanal de Cáceres, estudos sobre uso e ocupação da terra identificaram alterações nas áreas próximas ao corredor fluvial do rio Paraguai, evidenciando a importância do acompanhamento das transformações da paisagem para a gestão ambiental (Leandro; Nascimento; Souza, 2019). Dessa forma, a espacialização da influência potencial desses usos pode contribuir para identificar setores que demandem maior atenção no planejamento territorial e na conservação dos recursos hídricos.

Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo modelar e espacializar a vulnerabilidade ambiental associada à influência dos usos antrópicos sobre a rede hidrográfica do município de Cáceres (MT), utilizando técnicas de geoprocessamento e lógica *Fuzzy*.

Metodologia

A área de estudo compreende o município de Cáceres, Mato Grosso. Foram utilizados dados do *MapBiomas* Coleção 10 e da rede hidrográfica adquiridos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Todos os dados foram reprojetados para o sistema *WGS 84 / UTM Zona 21 Sul* (*EPSG:32721*).

Foram selecionadas apenas as classes Área Urbanizada, Cultivo Agrícola, Pastagem e Silvicultura, por representarem os principais usos antrópicos que potencialmente podem exercer pressão sobre os recursos hídricos. As demais classes naturais não integraram a modelagem.

As classes de uso e cobertura da terra selecionadas foram convertidas para o formato raster e reamostradas para uma resolução espacial de 10 m, visando padronizar a resolução dos dados e proporcionar maior detalhamento espacial na modelagem. Em seguida, para cada classe foi gerado um mapa de distância euclidiana, representando a distância de cada *pixel* em relação à ocorrência mais próxima da respectiva classe de uso da terra. A utilização da distância euclidiana permitiu representar de forma contínua a influência espacial exercida pelas classes antrópicas sobre a paisagem, assumindo que o potencial de impacto sobre os recursos hídricos diminui gradativamente à medida que aumenta a distância em relação às fontes de pressão.

Os mapas de distância foram então padronizados por meio da função de pertinência *Fuzzy* Linear Decrescente, na qual áreas mais próximas das classes antrópicas receberam maiores valores de pertinência, enquanto áreas mais distantes apresentaram menores valores. Posteriormente, os mapas *Fuzzy* resultantes foram integrados utilizando o operador *Fuzzy Gamma* ($\gamma = 0,7$), gerando um índice contínuo de vulnerabilidade ambiental.

Após a obtenção do mapa contínuo, foi aplicado um *buffer* de 500 m ao redor da rede hidrográfica e o índice foi recortado para essa faixa de análise. A adoção dos 500 m foi inspirada no maior limite de APP previsto pela Lei nº 12.651/2012, sendo utilizada como critério metodológico para concentrar a avaliação nas áreas potencialmente mais influenciadas pelos usos antrópicos próximos aos cursos d'água. O índice final foi reclassificado em cinco classes: Muito Baixa (0,00–0,20), Baixa (0,20–0,40), Média (0,40–0,60), Alta (0,60–0,80) e Muito Alta (0,80–1,00), conforme metodologia adaptada de estudos de vulnerabilidade ambiental.

Resultados

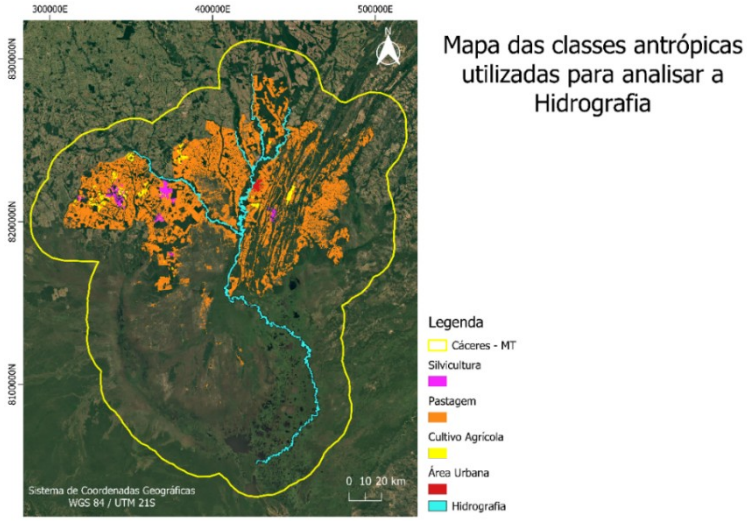
Após o recorte do mapa de vulnerabilidade pela faixa de 500 m da rede hidrográfica, foram calculados a área (km²) e o percentual de ocupação das classes utilizadas na modelagem. Esses resultados permitiram quantificar a representatividade dos usos antrópicos presentes na área analisada.

Tabela 1 - Valores obtidos das classes em relação ao *buffer* de 500m gerado a partir dos rios principais dentro do no municipio de Cáceres, no estado do Mato Grosso.

Classes	Área (km²)	Percentual (%)
1 – Muito baixa	59.10	7,05
2 - Baixa	65.78	7,85
3 - Média	52.79	6,30
4 - Alta	74.82	8,93
5 - Muito Alta	585.70	69,88
Total	838.19	100

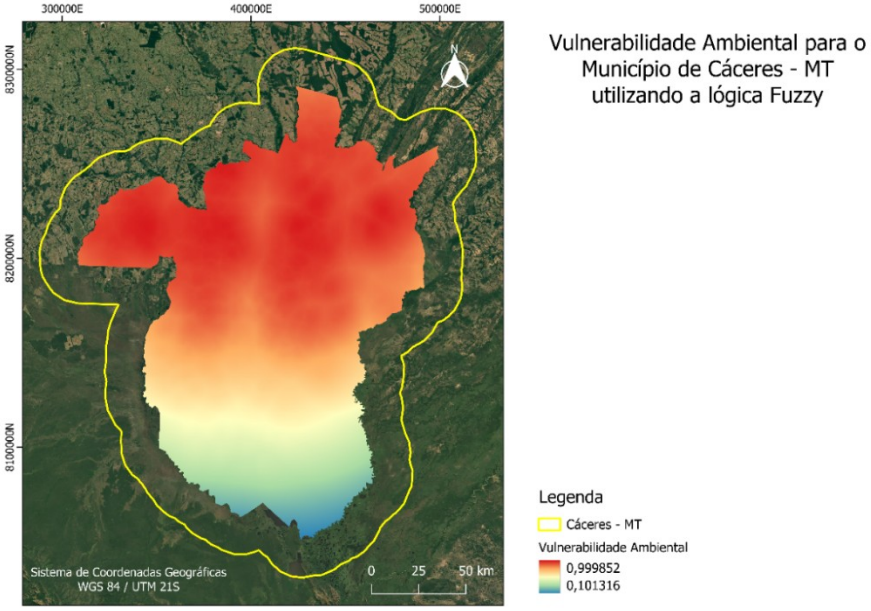
Fonte: Do autor (2026)

Figura 1 - Mapa das classes antrópicas utilizadas no municipio de Cáceres, no estado do Mato Grosso.



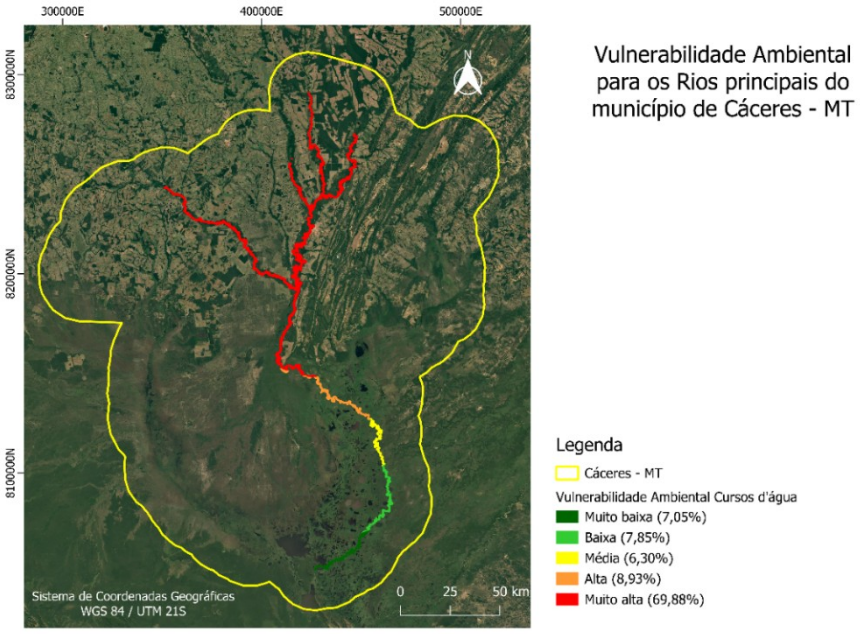
Fonte: Do autor (2026)

Figura 2 - Vulnerabilidade Ambiental utilizando lógica *Fuzzy* aplicada no municipio de Cáceres, no estado do Mato Grosso.



Fonte: Do autor (2026)

Figura 3 - Mapa final de vulnerabilidade Ambiental para a rede hidrografica principal do municipio de Cáceres, no estado do Mato Grosso.



Fonte: Do autor (2026)

Discussão

A predominância da classe Muito Alta na faixa de 500 m indica maior potencial de pressão antrópica sobre os ambientes associados à rede hidrográfica de Cáceres, especialmente nos setores ocupados por atividades agropecuárias, áreas urbanizadas, pastagens, cultivos agrícolas e silvicultura. Esses usos apresentaram maiores graus de pertinência na modelagem *Fuzzy*, que permite representar

gradualmente a influência dos diferentes padrões de uso da terra, evitando limites rígidos entre as classes de vulnerabilidade (Lira *et al.*, 2022). Estudos recentes também têm demonstrado a aplicabilidade da integração entre *SIG*, lógica *Fuzzy* e análise multicritério na avaliação espacial da fragilidade e vulnerabilidade de bacias hidrográficas (Pautz *et al.*, 2023; Godoy *et al.*, 2025).

A concentração de usos antrópicos nas proximidades da rede de drenagem pode aumentar a pressão sobre os sistemas hidroambientais, uma vez que alterações no uso e cobertura da terra podem modificar o escoamento superficial e favorecer processos erosivos e o transporte de sedimentos para os cursos d'água. Dessa forma, a identificação de setores com maior concentração de usos potencialmente impactantes constitui importante informação para o planejamento e manejo das áreas adjacentes à rede hidrográfica.

No contexto de Cáceres, os resultados corroboram com outros estudos realizados na bacia do Córrego Cachoeirinha, onde a fragilidade ambiental foi relacionada à interação entre características físicas e padrões de uso e cobertura da terra. Os autores destacam a importância dessas informações como subsídio à conservação ambiental e ao desenvolvimento sustentável do município (Santos *et al.*, 2022).

É importante destacar que o modelo desenvolvido neste estudo avaliou especificamente a vulnerabilidade associada aos usos antrópicos na faixa de 500 m da rede hidrográfica. Assim, a classe Muito Alta não deve ser interpretada como indicação direta de degradação ambiental, mas como representação de setores nos quais os padrões de uso da terra apresentam maior potencial de pressão sobre os ambientes associados à drenagem. Modelos que integram múltiplos critérios, incluindo variáveis naturais e antrópicas, como declividade, solos, geologia, distância dos corpos d'água e uso e cobertura da terra, permitem uma avaliação mais abrangente da fragilidade dos sistemas hidroambientais (Lira *et al.*, 2025).

Nesse sentido, a espacialização das classes de vulnerabilidade constitui importante subsídio para o planejamento territorial e para a definição de setores prioritários para monitoramento e ações de conservação. A integração entre geotecnologias, análise multicritério e lógica *Fuzzy* apresenta potencial para apoiar processos de tomada de decisão relacionados ao manejo ambiental e à conservação dos recursos hídricos.

Conclusão

A metodologia permitiu espacializar a vulnerabilidade potencial associada aos usos antrópicos na faixa de 500 m da rede hidrográfica de Cáceres, destacando setores prioritários para monitoramento e planejamento ambiental. A aplicação da lógica *Fuzzy* mostrou-se adequada à integração gradual dos diferentes usos da terra e à representação espacial dos níveis de vulnerabilidade. Os resultados reforçam o potencial das geotecnologias como suporte ao ordenamento territorial, à gestão dos recursos hídricos e à definição de estratégias de conservação. Ressalta-se, entretanto, que a vulnerabilidade identificada está relacionada especificamente à influência dos usos antrópicos, sendo recomendável, em estudos futuros, a integração de variáveis naturais e socioambientais para uma avaliação mais abrangente da vulnerabilidade ambiental.

Referências

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012.

CRUZ, J. S. B.; DE SOUZA, C. A.; PAULA, W. C. D. S.; SILVA, V. N. O uso da terra e dos recursos hídricos da bacia do Córrego Facão, Pantanal de Cáceres, Mato Grosso. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 10-21, 2017. https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1773

DALLACORT, R.; NEVES, S. M.A. S.; NUNES, M. C. M. Variabilidade da temperatura e das chuvas de Cáceres/Pantanal Mato-Grossense-Brasil. **Geografia (Londrina)**, v. 23, n. 1, p. 21-33, 2014.

FIEDLER, N. C.; JESUS, R. M. D.; MOREIRA, F. Z.; RAMALHO, A. H.; SANTOS, A. R. D.; SOUZA, K. B. D. Environmental vulnerability evolution in the Brazilian Amazon. **Anais da Academia Brasileira de**

Ciências, v. 95, n. 2, p. e20210333, 2023. https://doi.org/10.1590/0001-3765202320210333

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river- floodplain systems. **Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences**, v. 106, n. 1, p. 110-127, 1989.

JUNK, W. J.; SILVA, C. J. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. Pp.17-28. **Anais do II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal**, Manejo e Conservação, 1999.

LEANDRO, G. R. S.; NASCIMENTO, F. R.; SOUZA, C. A. Evolução espaço-temporal do uso e ocupação da terra no corredor fluvial do rio Paraguai, Pantanal superior - brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 39, p. 1–21, 2019. https://doi.org/10.5216/bgg.v39i0.58285

LIRA, K. C. D. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. e62872, 2022. https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-62872

LIRA, K. C. S.; JONG, M. V. Z.; KING, M.; COWX, I. G. A watershed fragility index for assessing the vulnerability of river ecosystems. **Ecological Indicators**, v. 178, p. 113908, 2025. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113908

GODOY F. P. H.; DA SILVA, T. A.; DUARTE, M. L.; DE SOUSA, J.; DUPAS, F. A. Fuzzy inference system for environmental vulnerability assessment of protected areas: a case study of the Itupararanga environmental protection area in southeastern Brazil. **International Journal of River Basin Management**, v. 23, n. 1, p. 123-138, 2025. https://doi.org/10.1080/15715124.2023.2260361

MIRANDA, M. R. S.; LUZ, C. C. S.; NEVES, S. M. A. S.; SCHEUER, J. M. Cobertura vegetal e uso da terra no Assentamento Paiol-Brasil: Subsídios Para a Conservação do Pantanal. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 8, n. 1, 2018.

OLIVEIRA-ANDREOLI, E. Z.; MORAES, M. C. P.; FAUSTINO, A. S.; VASCONCELOS, A. F.; COSTA, C. W.; MOSCHINI, L. E.; MELANDA, E. A.; JUSTINO, E. A.; DI LOLLO, J. A.; LORANDI, R. Multi-temporal analysis of land use land cover interference in environmental fragility in a Mesozoic basin, southeastern Brazil. **Groundwater for Sustainable Development**, v. vol. 12, p. p.p. 100536, fev. 2021. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100536

PAUTZ, C. *et al*. Mapping the environmental vulnerability of a lagoon using fuzzy logic and the AHP method. **Water**, v. 15, n. 11, p. 2102, 2023. https://doi.org/10.3390/w15112102

Projeto MapBiomas - Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra no Brasil - Coleção 10, acessado em 10 de julho de 2026 a partir do link: *https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_10/lulc/coverage/brazil_coverage_2024.tif*

SANTOS, A. R; SCARAMUSSA, L. M; BORGES, L. A. C; MOREIRA, T. R; SILVA, J. P. M; FERRARI, J.L. **Operadores Fuzzy: Guia Prático no QGIS** . Alegre: CAUFES, 2024. **https://doi.org/10.29327/5407101** .

SANTOS, M.; SOUZA, C. A.; SOUSA, J. B. The environmental fragility within the Cachoeirinha stream Hydrographic basin, in Cáceres city, Mato Grosso state. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. e594111033111-e594111033111, 2022. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.33111

SCARAMUSSA, L. M.; BORGES, L. A. C.; SANTOS, A. R. D.; VIEIRA, M. P. L.; PAUTZ, C.; SCARAMUSSA, M.; SOUZA, R. M. D. Environmental vulnerability of itabira natural monument, ES, BRAZIL. **Revista Árvore**, v. 47, p. e4725, 2023. https://doi.org/10.1590/1806-908820230000025