

VARIÁVEIS PARA IDENTIFICAÇÃO DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS E HÍDRICAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: uma revisão sistemática da literatura

Cibele dos Santos Peretta¹
Maria Rita Raimundo e Almeida²
Marina Batalini de Macedo³

Recursos hídricos e qualidade da água

Resumo

A fragilidade ambiental, agravada pela exploração intensiva dos recursos naturais e pela crescente degradação ambiental, destaca a necessidade do planejamento e gestão ambiental. O zoneamento ambiental e os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) são ferramentas que auxiliam na identificação e consideração das fragilidades, por meio de variáveis ambientais que servem de base para representar as inter-relações do ambiente e orientar o planejamento ambiental e territorial. Ainda, os métodos de análise multicritério, como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e a lógica fuzzy, proporcionam suporte a esses processos, subsidiando as tomadas de decisão e levando a julgamentos mais precisos. Diante disso, esta pesquisa objetivou identificar as variáveis utilizadas na produção de mapas de fragilidades ambientais e hídricas em bacias hidrográficas e os procedimentos metodológicos empregados. Essa identificação foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica sistemática para identificar os estudos científicos que empreguem os métodos AHP e lógica fuzzy para orientar processos de tomada de decisão em diferentes níveis de governança. Para isso, aplicou-se o protocolo metodológico da *Collaboration for Environmental Evidence* (CEE). Pelo menos seis variáveis ambientais são predominantemente utilizadas para representar as fragilidades ambientais e hídricas, empregando o método AHP, integrados ou não à lógica fuzzy, sendo: declividade, uso do solo, pedologia, pluviometria, geologia e altimetria. Ainda, foi observado que todos os estudos usaram SIG. Desse modo, as variáveis e os métodos citados têm sido amplamente aplicados em processos de tomada de decisão, orientando estudos voltados às fragilidades ambientais e hídricas e em ações de conservação e zoneamento ambiental.

Palavras-chave: Zoneamento ambiental; Análise multicritério; AHP (Analytic Hierarchy Process); Lógica fuzzy; Tomada de decisão.

¹ Mestranda em Engenharia Hídrica, Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Hídrica (MPEH), d2023101044@unifei.edu.br

² Prof.^a Dr.^a da Universidade Federal de Itajubá – Instituto de Recursos Naturais, mrralmeida@unifei.edu.br

³ Prof.^a Dr.^a da Universidade Federal de Itajubá – Instituto de Recursos Naturais, marinamacedo@unifei.edu.br

INTRODUÇÃO

A exploração intensiva dos recursos naturais e a sua contínua degradação, impulsionadas pelo crescimento econômico e populacional, geram pressões consideráveis nos ecossistemas e na sociedade (Barger *et al.*, 2018). Paralelamente, a falta de planejamento nas ações de transformação do uso da terra, como a conversão de ecossistemas naturais em áreas urbanas e agrícolas, a poluição resultante da gestão intensiva do solo e a busca por uma distribuição equitativa dos recursos, aumentam os desafios já existentes e intensificam as fragilidades ambientais (IPCC, 2019).

A fragilidade ambiental consiste na vulnerabilidade do ambiente a intervenções ou alterações que podem levar ao colapso quando o estado de equilíbrio dinâmico é perturbado, resultando em situações de risco (Spörl, 2007). Nesse contexto, o planejamento e a gestão ambiental são fundamentais para que as intervenções humanas sejam cuidadosamente planejadas e para que as metas de ordenamento territorial sejam definidas de forma clara, visando otimizar o aproveitamento dos recursos naturais e humanos e detectar e mitigar as fragilidades ambientais (Ross, 1994).

Nesse cenário, o zoneamento ambiental surge como instrumento para direcionar as ações de planejamento e gestão ambiental, permitindo a delimitação de áreas com diferentes graus de aptidão para uso, além de estabelecer vedações, restrições e alternativas de exploração dos recursos naturais em diferentes níveis de governança, seja municipal, estadual, federal, de bacia hidrográfica ou outra unidade territorial (Ribeiro; Ribeiro, 2022).

O zoneamento das fragilidades ambientais pode ser determinado por meio de modelos que integram diversas variáveis, representando propriedades e simulando fenômenos e processos do mundo real (Spörl, 2007). A seleção das variáveis ambientais é uma etapa importante na elaboração dos mapas de fragilidade ambiental, pois as condições da paisagem e as características naturais de regiões, bem como, as atividades antrópicas, são bases para análise e planejamento territorial (Bojórquez-Tapia *et al.*, 2013). Crepani *et al.* (2001), por exemplo, desenvolveram um modelo para identificar a vulnerabilidade natural à perda de solo, com o propósito de subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia.

A análise e combinação de dados e informações espaciais e ambientais são facilitadas pelo uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), ferramentas que permitem a integração e proporcionam uma compreensão sistemática das variáveis ambientais, resultando na produção de produtos como os mapas de fragilidade ambiental (Strauch; Souza, 1998). É importante destacar que os SIGs podem subsidiar tomadas de decisão diante dos desafios envolvendo a necessidade de alcançar diversos objetivos, considerando uma variedade de critérios e alternativas (Vettorazzi, 2006).

Assim, um dos métodos amplamente utilizados em estudos de tomada de decisão multicritério aliado aos SIGs, é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), Processo Analítico Hierárquico em português. Esse método envolve a construção de uma estrutura hierárquica de objetivos que orienta a tomada de decisões e contribui para a consecução dos objetivos e metas, estabelecendo a hierarquização dos critérios por meio de comparações sistemáticas pareadas, ou seja, par a par (Saaty, 1994).

A integração entre SIGs e o método AHP representa um processo que combina dados geográficos com julgamentos de valor, proporcionando uma reflexão das preferências do tomador de decisão (Malczewski, 2006; Greene *et al.*, 2020). Além disso, uma técnica mais avançada é a combinação do método AHP com a lógica fuzzy, que se destaca pela sua capacidade de lidar com incertezas e imprecisões (Vanti *et al.*, 2007). Essa característica é fundamental para evitar julgamentos imprecisos em muitos problemas de tomada de decisão (Bouyssou *et al.*, 2000).

Perante o exposto, esta pesquisa tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sistemática para identificar, coletar, analisar e sintetizar os estudos científicos que se utilizem de variáveis ambientais para a produção de mapas de fragilidades ambientais em bacias e sub-bacias hidrográficas, utilizando SIG e o método AHP e lógica fuzzy. Esse estudo é parte de uma dissertação de mestrado e constituiu uma etapa essencial para a identificação das variáveis ambientais e dos procedimentos metodológico a serem utilizados para apoiar processos de tomadas de decisão, planejamento, zoneamento ou conservação ambiental para os diferentes níveis de governança ambiental. Assim, espera-se que os resultados encontrados possam também servir de base e colaborar com outros trabalhos que tenham a mesma finalidade.

MMETODOLOGIA

A metodologia adotada nesta pesquisa foi uma revisão bibliográfica sistemática. Esse tipo de revisão segue um protocolo metodológico específico para fornecer uma estrutura lógica aos documentos, avaliando sua eficácia e relevância (Jones; Evans, 2000). Utilizou-se nessa pesquisa o

protocolo da *Collaboration for Environmental Evidence* (CEE) (Pullin *et al.*, 2022), o qual envolve as etapas de: formulação da pergunta de pesquisa, localização e seleção de estudos, avaliação da qualidade, coleta de dados, análise e apresentação dos resultados e interpretação.

A pergunta de pesquisa foi elaborada seguindo a estratégia SDMO (*Type Studies, Types of Data, Types of Methods e Outcome*), que busca definir os tipos de estudos relevantes (S), descrever as informações a serem coletadas e analisadas (D), detalhar as abordagens ou métodos específicos utilizados (M) e identificar os resultados específicos a serem analisados na revisão (O) (Munn *et al.*, 2018). Assim, a pergunta elaborada foi: Quais variáveis ambientais estão sendo consideradas na produção de mapas de fragilidades ambientais de bacias e sub-bacias hidrográficas utilizando métodos de análise multicritério AHP e lógica fuzzy, com o propósito de apoiar processos de tomada de decisão, planejamento, zoneamento ou conservação ambiental?

Quadro 1 - Componentes da pergunta de pesquisa baseadas na abordagem SDMO.

Tipo de estudo (S)	Tipo de dados (D)	Métodos (M)	Resultados (O)
Artigos científicos	Variáveis ambientais ou temas (declividade, tipo de solo, etc.) de bacias ou sub-bacias hidrográficas utilizados nos artigos científicos.	Critérios metodológicos de aplicação do método AHP e/ou lógica fuzzy.	Elaboração de mapa de fragilidades ambientais e hídricas para o planejamento, zoneamento e/ou conservação ambiental

Na etapa de localização e seleção dos estudos, a busca de estudos foi realizada em quatro bases de dados: Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Scielo. Antes de iniciar as buscas, foram escolhidas palavras-chave alinhadas aos elementos da pergunta de pesquisa (Quadro 2).

Quadro 2 - Palavras-chave selecionadas por componentes da pergunta de pesquisa.

	Categorias		
	Tipo de dados (D)	Métodos (M)	Resultados (O)
Palavras-chave	Watershed Hydrographic basin Basin	AHP AHP method Fuzzy Fuzzy logic	Environmental planning Environmental zoning Environmental vulnerability Environmental fragility

Em seguida, foram criadas as combinações de termos de busca (*strings* de busca) para encontrar artigos centrados em estudos que empregassem métodos de análise multicritério, especialmente o método AHP, com ou sem a inclusão da lógica fuzzy. Esses estudos também deveriam abordar as variáveis ambientais utilizadas para identificar e mapear fragilidades ambientais e hídricas em bacias ou sub-bacias hidrográficas, com o intuito de orientar processos de

planejamento, zoneamento e conservação ambiental. As palavras-chave foram combinadas utilizando os operadores booleanos 'OR' e 'AND', As palavras-chave foram combinadas utilizando os operadores booleanos 'OR' e 'AND', conforme Quadro 3. As buscas foram conduzidas nos campos: TITLE-ABS-KEY ou Título-Resumo-Palavra-chave.

Quadro 3 - Strings de busca inseridas nas bases de busca de artigos científicos.

<i>String</i>	
1	("environmental planning" OR "environmental zoning") AND ("watershed" OR "hydrographic basin" OR "basin") AND (ahp)
2	("environmental planning" OR "environmental zoning") AND ("watershed" OR "hydrographic basin" OR "basin") AND (fuzzy)
3	("environmental planning" OR "environmental zoning") AND ("watershed" OR "hydrographic basin" OR "basin") AND (“multicriteria analysis”)
4	("environmental planning" OR "environmental zoning") AND ("watershed" OR "hydrographic basin" OR "basin") AND (ahp) AND (fuzzy)
5	("environmental planning" OR "environmental zoning") AND ("watershed" OR "hydrographic basin" OR "basin") AND (ahp OR “AHP method”) AND (fuzzy OR “fuzzy logic”)
6	(watershed OR "hydrographic basin") AND (fuzzy) AND (ahp)
7	(“environmental fragility”) AND (watershed OR "hydrographic basin") AND (fuzzy) AND (ahp)
8	(“environmental vulnerability”) AND (watershed OR "hydrographic basin") AND (fuzzy) AND (ahp)
9	(watershed OR "hydrographic basin") AND (fuzzy) AND (ahp) AND ("environmental fragility" OR "environmental vulnerability")
10	(watershed OR "hydrographic basin") AND (fuzzy) AND (ahp) AND ("environmental fragility" OR "environmental vulnerability") AND (“environmental planning” OR “environmental zoning”)

Por fim, os critérios de inclusão e exclusão da seleção dos estudos são descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Critérios de inclusão e exclusão para seleção dos artigos científicos.

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Incluir apenas artigos (aplicação dos métodos ou revisão)	Excluir capítulo de livros, resenha de conferência ou revisão de conferência, erratas.
Incluir estudos publicados no período de 2013 a 2023	Excluir estudos publicados no período de anterior a 2013
Incluir estudos encontrados pelo campo de busca definido por título, resumo e palavra-chave	-
Incluir estudos publicados na língua inglesa e portuguesa	Excluir estudos que não foram publicados na língua inglês e portuguesa

Após a avaliação da qualidade dos estudos, que incluiu uma análise refinada das publicações, foi realizada uma triagem inicial para identificar e remover artigos duplicados, resultando em 145 artigos únicos de um total inicial de 228. Os artigos passaram por três níveis de triagem: o primeiro com a leitura dos títulos, incluindo títulos incertos para análise detalhada na segunda triagem; o segundo nível envolveu a leitura dos resumos, repetindo o procedimento da primeira etapa em casos de incerteza; e o terceiro nível consistiu na leitura integral dos textos, com critérios predefinidos para

a seleção dos artigos a serem utilizados na coleta de dados (Figura 1).

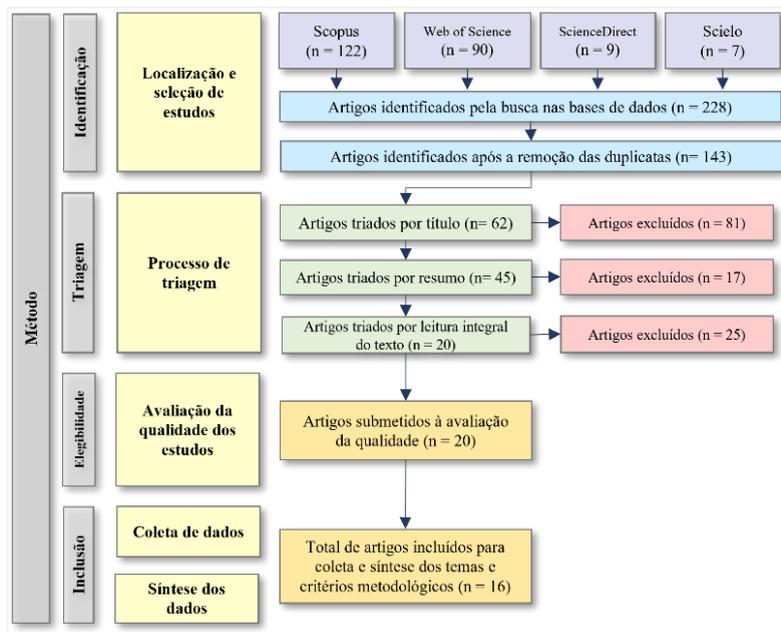


Figura 1 - Etapas do processo avaliação da qualidade dos artigos científicos.

Após avaliar a qualidade dos artigos, onde restaram 16 trabalhos, procedeu-se à coleta de dados, com o objetivo de identificar as variáveis ambientais utilizadas, os métodos empregados e se foram gerados mapas de fragilidade ambiental ou correlatos. A análise e apresentação dos resultados, bem como sua interpretação estão apresentadas a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados 16 artigos científicos em que foi possível extrair 18 variáveis ambientais diferentes (Figura 2) de um total de 88 identificadas. A partir da Figura 2, pode-se verificar o destaque de 6 variáveis: declividade, uso do solo, pedologia, pluviometria, geologia e altimetria, as quais devem ser consideradas para a identificação das fragilidades ambientais e hídricas em bacias hidrográficas.

Posteriormente, realizou-se uma análise da relação entre os temas abordados nos artigos científicos e os métodos empregados, o que reforça a relevância da utilização da AHP e da lógica fuzzy na tomada de decisões em diversos contextos. O Quadro 5 fornece uma visão detalhada dos temas tratados nos 16 artigos analisados, seus respectivos autores e os métodos utilizados.

Quanto aos métodos adotados, observou-se que além do emprego do método AHP, ele apareceu combinado com a lógica fuzzy em 9 dos artigos. Também foram identificados outros dois

métodos: Combinação linear ponderada (*Weighted Linear Combination* - WLC) e Redes Neurais Artificiais. A distribuição dos métodos nos artigos pode ser visualizada na Figura 3.

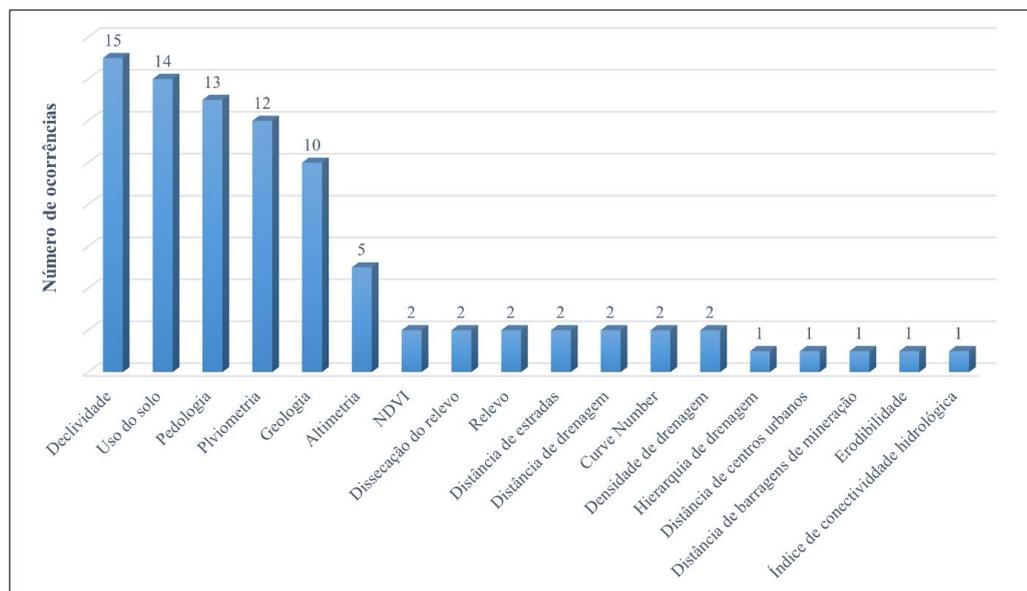


Figura 2 - Ocorrência das variáveis ambientais extraídas dos artigos analisados.

Quadro 5 – Correlação entre os temas dos artigos e os métodos utilizados.

Referência	Temas abordados	Método
Gomes e Bias (2018)	Qualidade ambiental, impactos ambientais, ordenamento territorial	AHP
França <i>et al.</i> (2020)	Fragilidade ambiental potencial	AHP
Aquino <i>et al.</i> (2020)	Potencial de uso conservacionista	AHP
Amorim <i>et al.</i> (2021)	Modelo de fragilidade ambiental geomorfológica, gerenciamento ambiental, manutenção das condições ambientais	AHP
Aires <i>et al.</i> (2022)	Suscetibilidade à erosão	AHP
Campos <i>et al.</i> (2023)	Avaliação da vulnerabilidade ambiental	AHP WLC Lógica fuzzy
Campos <i>et al.</i> (2021)	Fragilidade ambiental e capacidade do uso do solo	AHP WLC
Anjinho <i>et al.</i> (2022)	Zoneamento ambiental, melhoria do estado de conservação de bacia, serviços ecossistêmicos da água	AHP WLC Lógica fuzzy
Oliveira e Nunes (2022)	Vulnerabilidade a processos erosivos	AHP Lógica fuzzy
Kadam <i>et al.</i> (2019)	Priorização de sub- bacias hidrográficas	AHP Lógica fuzzy
Schmidt e Barbosa (2016)	Vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas	AHP Redes Neurais Artificiais lógica Lógica fuzzy
Neji, Ayed e Abida (2021)	Avaliação dos riscos de erosão hídrica	AHP Lógica fuzzy
Ferreira e Silva (2020)	Fragilidade ambiental	AHP
Shekar e Mathew (2023)	Recarga de água subterrânea	AHP Lógica fuzzy
Namdar <i>et al.</i> (2020)	Avaliar os impactos das mudanças no uso do solo na erosão do solo	AHP Lógica fuzzy WLC
Lira, Francisco e Feiden (2022)	Avaliação de fragilidade ambiental	AHP Lógica fuzzy

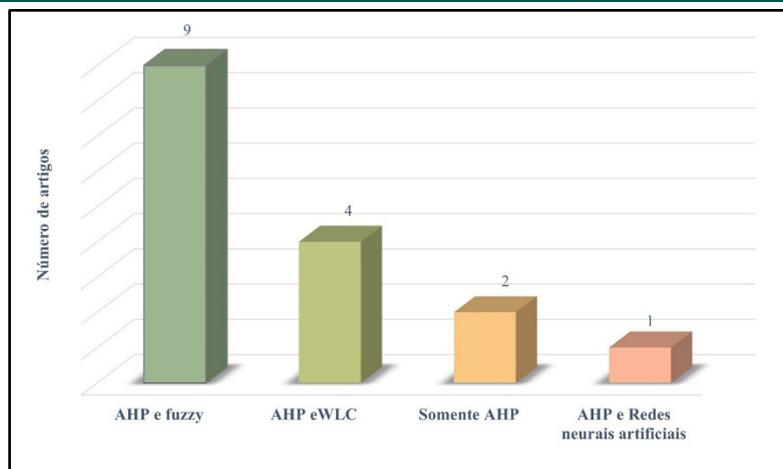


Figura 3 - Distribuição dos métodos empregados nos artigos científicos analisados.

Por meio da análise dos artigos, foi possível verificar também os tipos de produtos elaborados (Figura 4). Do total de 16 artigos, 15 deles elaboraram pelo menos um tipo de mapa de assuntos correlatos, porém diferentes. A maioria dos mapas relacionou-se à vulnerabilidade ambiental e a processos erosivos, seguido pelo mapa de fragilidade ambiental e, em terceiro lugar, por mapas de zoneamento, esses de variados tipos, por exemplo, zoneamento ambiental, de erosão e de usos conservacionistas. Todos os mapas analisados foram elaborados com base em bacias ou sub-bacias hidrográficas.

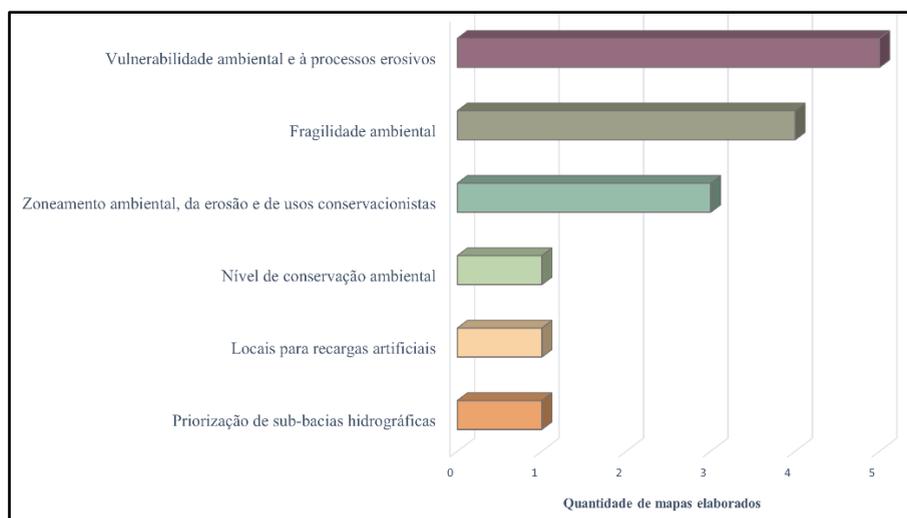


Figura 4 - Distribuição tipos de produtos elaborados nos artigos científicos analisados.

Ainda, foi possível identificar por meio da análise que em 80% dos artigos o software ArcGIS foi utilizado para elaboração dos mapas, enquanto que 20% foram produzidos utilizando-se o software Quantum GIS (QGIS).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nesta revisão sistemática, foi possível identificar que as bases mais comumente usadas na elaboração de mapas de fragilidade ambiental, vulnerabilidade a processos erosivos e zoneamento ambiental são variáveis relacionadas aos processos físicos do ambiente, ações antrópicas e suas relações, tendo amplo destaque a declividade, o uso do solo, a pedologia, a pluviometria, a geologia e a altimetria.

Observou-se, ainda, por meio da análise da revisão sistemática, que a maioria dos autores faz uso de algum software de SIG (ArcGIS ou QGIS) para a elaboração dos mapas, destacando a importância dessas ferramentas na análise espacial e na visualização de dados ambientais.

Também ficou evidente que o método AHP e a lógica fuzzy têm sido amplamente empregados em processos de tomada de decisão ambiental. Esses métodos orientam estudos sobre níveis de conservação ambiental, zoneamento do potencial de uso conservacionista, fragilidade ambiental, suscetibilidade à erosão hídrica, entre outros aspectos.

Com isso, a revisão sistemática realizada proporciona conhecimentos sobre a aplicação dos métodos para abordar diversas questões ambientais, contribuindo para uma compreensão mais profunda do campo e para a identificação de tendências e lacunas de pesquisa, o que pode orientar futuros estudos e intervenções ambientais mais eficazes.

REFERÊNCIAS

- AIRES, A. A.; COSTA, J. D.; BEZERRA, J. M.; REGO, A. T. A. Análise multicritério da suscetibilidade erosiva da microbacia hidrográfica da barragem de Pau dos Ferros/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n. 02, p. 1128-1141, 2022.
- AMORIM, A. T.; LOPES, E. R. N.; SOUSA, J. A. P.; SILVA, R. C. F.; SOUZA, J. C.; LOURENÇO, W. L. Geomorphometric environmental fragility of a watershed: a multicriteria spatial approach. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n.12, p. 850, 2021.
- ANJINHO, P. S.; TAKAKU, L. Y. R. B.; BARBOSA, C. C.; PERIOTTO, N. A.; HANAI, F. Y. MAUAD, F. F. Analysis of susceptibility to degradation of water ecosystem services as a tool for land use planning: a case study in a small brazilian watershed. **Environmental Management**, v. 70, p. 990–1003, 2022.
- AQUINO, J. N.; SALIS, H. H. C.; GAMEIRO, S.; OLIVEIRA, M. A.; RODIGHERI, G.; MENDES, A. P. S. F.; SFREDO, G. A. Zoning of the conservationist use potential in the hydrographic basin of

the Sinos River – RS. **Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ**, v. 43, n. 3, p. 292-302, 2020.

BARGER, N. N., GARDNER, T. A., SANKARAN, M., BELNAP, J., BROADHURST, L., BROCHIER, V., ISBELL, F., MEYFROIDT, P., MOREIRA, F., NIEMINEN, T. M., OKURO, T., RODRIGUES, R. R., SAXENA, V., ROSS, M. Chapter 3: Direct and indirect drivers of land degradation and restoration. In IPBES (2018): **The IPBES assessment report on land degradation and restoration**. MONTANARELLA, L., SCHOLLES, R., BRAINICH, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, p. 137-218, 2018.

BOJÓRQUEZ-TAPIA, L. A., CRUZ-BELLO, G. M., LUNA-GONZÁLEZ, L. Connotative land degradation mapping: a knowledge-based approach to land degradation assessment. **Environmental Modelling & Software**, v. 40, p. 51-64, 2013.

BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T.; PIRLOT, M.; PERNY, P.; TSOUKIAS, A.; VINCKE, P. **Evaluation models: a critical perspective**. Kluwer, Boston, 2000.

CAMPOS, J. A.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C.; FILHO, F. C. M. M. Environmental fragility and land use capacity as instruments of environmental planning, Caratinga River basin, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 264, 2021.

CAMPOS, J. A.; SILVA, D. D.; FILHO, E. I. F.; PIRES, G. F.; AMORIM, R. S. S.; FILHO, F. C. M. M.; RIBEIRO, C. B. M.; ULIANA, E. M.; AIRES, U. R. V. Environmental vulnerability assessment of the Doce River basin, southeastern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 9, p. 1119, 2023.

PULLIN, A. S.; FRAMPTON, G. K.; LIVORELI, B.; PETROKOFISKY, G. Collaboration for **Environmental Evidence 2022: Guidelines and Standards for Evidence synthesis in Environmental Management**. Version 5.1, 2022.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; 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 do Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.

JONES, T.; EVANS, D. Conducting a systematic review. **Australian Critical Care**, v. 13, n. 2, p. 66-71, 2000.

FERREIRA, P. S.; SILVA, C. A. O método AHP e a álgebra de mapas para determinar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul /Brasil), proposições para a gestão do território. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, v. 46, 2020.

FRANÇA, L. C. J.; MUCIDA, D. P.; SANTANA, R. C; MORAIS, M. S.; GOMIDE, L. R. BATEIRA, C. V. M. AHP approach applied to multi-criteria decisions in environmental fragility mapping. **FLORESTA**, v. 50, n. 3, p. 1623-1632, 2020.

GOMES, R. C.; BIAS, E. S. Integração do método AHP e SIG como instrumento de análise do nível

de conservação ambiental em bacias hidrográficas. **Geociências**, v. 37, n. 1, p. 167-182, 2018.

GREENE, R.; DEVILLERS, R.; LUTHER, J. E.; EDDY, B. G. GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. **Geography Compass**, v. 5, n. 6, p. 412-432, 2011.

IPCC. **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. SHUKLA, P.R.; SKEA J.; CALVO BUENDIA, E.; MASSON-DELMOTTE V.; PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D. C.; ZHAI, P., SLADE, R.; CONNORS, VAN DIEMEN, S. R., FERRAT, M.; HAUGHEY, E.; LUZ, S.; NEOGI, S.; PATHAK, M.; PETZOLD, J.; PEREIRA, P. J.; VYAS, P.; HUNTLEY, E.; KISSICK, K.; BELKACEMI, M.; MALLEY, J. (eds.), 2019.

KADAM, A.; KARNEWAR, A. S.; UMRİKAR, B.; SANKHUA, R. N. Hydrological response-based watershed prioritization in semiarid, basaltic region of western India using frequency ratio, fuzzy logic and AHP method. **Environment, Development and Sustainability**, v. 21, p. 1809-1833, 2019.

LIRA, K. C. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. Classification of environmental fragility in watershed using Fuzzy logic and AHP method. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. e62872, 2022.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p. 703-726, 2006.

MUNN, Z.; STERN, C.; AROMATARIS, E; LOCKWOOD, C.; JORDAN, Z. What kind of systematic review should I conduct? A proposed typology and guidance for systematic reviewers in the medical and health sciences. **Medical Research Methodology**, v. 18, n. 5, p. 1-9, 2018.

NAMDAR, F.; MAHMOUDI, S.; OURI, A. E.; PAZIRA, E. Investigating the effect of land use changes on soil erosion using RS GIS and AHP Fuzzy based techniques (Case Study: Qaresu Watershed, Ardabil, Iran). **Nexo**, v. 33, n. 2, p. 525-538, 2020.

NEJI, N.; AYED, R. B.; ABIDA, H. Water erosion hazard mapping using analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy logic modeling: a case study of the Chaffar Watershed (Southeastern Tunisia). **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 13, p. 1208, 2021.

OLVEIRA, U. C.; NUNES, A. B. A. Análise de áreas de vulnerabilidade a processos erosivos por meio de lógica fuzzy e análise multicritério na bacia hidrográfica do rio Boa Viagem, Ceará, Brasil. **Revista Geociências - UNESP**, v. 41, n. 4, p. 927-942, 2022.

RIBEIRO, P. F. R. V.; RIBEIRO, J. C. J. O Zoneamento Ecológico Econômico como instrumento de planejamento de políticas públicas municipais: um estudo sob a perspectiva do ciclo de políticas públicas. **CONPEDI Law Review**, XI Encontro Internacional do CONPEDI Chile, Santiago, v. 8, n. 1, p. 169-191, 2022.

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

SAATY, T. L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 19-43, 1994.

SCHMIDT, M. A.; BARBOSA, G. R. Uso de redes neurais artificiais na ponderação inicial da técnica AHP em análise de vulnerabilidade de bacias hidrográficas. **Boletim Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 3, p.511-525, 2016.

SHEKAR, P. R.; MATHEW, A. Delineation of groundwater potential zones and identification of artificial recharge sites in the Kinnerasani Watershed, India, using remote sensing-GIS, AHP, and Fuzzy-AHP techniques. **AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society**, v. 72, n. 8, p. 1474-1498, 2023.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelo de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

STRAUCH, J. C.; SOUZA, J. M. Uma Metodologia para Implantação de Sistemas de Informações Geográficas. In: NAJAR, A. L.; MARQUES, E. C. (Org.) **Saúde e espaço: estudos metodológicos e técnicas de análise**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1998. pp. 109-123.

VANTI, A. A.; LINDSTAEDT, A. R. S.; MIOTTO, G. R.; PUGUES, L. M.; MURARO, M. A controladoria utilizando a lógica fuzzy no auxílio à empresa para definição das prioridades do planejamento estratégico: um estudo em uma empresa de turismo. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 8, n.1, p. 31-58, 2007.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. Tese (Livre Docência) Departamento de Engenharia Rural, USP – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba, 2006.