

VULNERABILIDADE AMBIENTAL: reflexões teóricas sobre os conceitos, metodologias e desafios contemporâneos

Juliana Abreu Crosara Petronzio

Mestre em Geografia, pela Universidade Federal de Uberlândia; Doutoranda em geografia pela Universidade Federal de Jataí, Jataí, Goiás, Brasil¹
julianapetronzio@gmail.com

Alécio Perini Martins

Doutor em Geografia; Professor da Universidade Federal de Jataí, UFJ - Campus Jatobá, Jataí, Goiás, Brasil²
alecioperini@ufj.edu.br

RESUMO: Nas últimas décadas, sobretudo após os anos 1970, a intensificação das atividades antrópicas ampliou de forma significativa os impactos sobre os sistemas naturais. Nesse contexto, emerge o conceito de vulnerabilidade ambiental, que exprime múltiplos significados e pode ser entendido, de modo geral, como a capacidade de um sistema reagir frente a situações de risco ou ameaça. O presente estudo tem como objetivo discutir os conceitos de vulnerabilidade ambiental e apresentar metodologias de análise que subsidiem a compreensão dos riscos socioambientais, contribuindo para o manejo sustentável, a formulação de políticas públicas e a definição de estratégias preventivas. A análise da vulnerabilidade ambiental envolve a escolha do sistema a ser estudado, a definição de indicadores/variáveis, o monitoramento do uso da terra e da cobertura vegetal, e a aplicação de tecnologias emergentes. Dentre estas, destacam-se as ferramentas de Inteligência Artificial, que possibilitam a projeção de cenários futuros e demandam metodologias adaptativas, capazes de considerar as particularidades de cada sistema ambiental. A adoção dessas abordagens permite compreender com maior precisão os níveis de vulnerabilidade e identificar áreas e processos críticos, além de possibilitar a construção de cenários prospectivos mais realistas, orientando medidas de mitigação e prevenção de riscos. Compreender a vulnerabilidade ambiental constitui etapa fundamental para o enfrentamento dos desafios contemporâneos, pois mais do que corrigir danos já existentes, torna-se imprescindível planejar o futuro por meio de instrumentos científicos e tecnológicos que fortaleçam a resiliência dos sistemas socioambientais e reduzam os riscos decorrentes das ações humanas.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental; Dinâmicas ambientais; Metodologias; Paisagens.

ENVIRONMENTAL VULNERABILITY: concepts, methodologies, and contemporary challenges

ABSTRACT: In recent decades, particularly since the 1970s, the intensification of human activities has significantly increased the impacts on natural systems. In this context, the concept of environmental vulnerability has emerged, which has multiple meanings and can be generally understood as a system's ability to react to situations of risk or threat. This study aims to discuss the concepts of environmental vulnerability and present analytical methodologies that support the understanding of socio-environmental risks, contributing to sustainable management, the formulation of public policies, and the definition of preventive strategies. Environmental vulnerability analysis involves choosing the system to be studied, defining indicators/variables, monitoring land use and vegetation cover, and applying emerging technologies. Among these, Artificial Intelligence tools stand out, enabling the projection of future scenarios and requiring adaptive methodologies capable of considering the particularities of each environmental system. Adopting these approaches allows for a more accurate understanding of vulnerability levels and identification of critical areas and processes, in addition to enabling the development of more realistic prospective scenarios, guiding risk mitigation and prevention measures. Understanding environmental vulnerability is a fundamental step in addressing contemporary challenges. More than just correcting existing damage, it is essential to plan for the future

¹ Endereço para correspondência: Unidade Araras, Rodovia LMG, 746 - km 01, CEP: 38300-000, Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

² Endereço para correspondência: BR 364, km 195, Setor Parque Industrial, CEP: 75801-615, Jataí, Goiás, Brasil.

using scientific and technological tools that strengthen the resilience of socio-environmental systems and reduce risks arising from human actions

Keywords: Environmental vulnerability; Environmental dynamics; Methodologies; Landscapes.

VULNERABILIDAD AMBIENTAL: conceptos, metodologías y desafíos contemporáneos

RESUMEN: En las últimas décadas, en particular desde la década de 1970, la intensificación de las actividades humanas ha incrementado significativamente los impactos sobre los sistemas naturales. En este contexto, ha surgido el concepto de vulnerabilidad ambiental, que posee múltiples significados y puede entenderse, en general, como la capacidad de un sistema para reaccionar ante situaciones de riesgo o amenaza. Este estudio busca discutir los conceptos de vulnerabilidad ambiental y presentar metodologías analíticas que apoyan la comprensión de los riesgos socioambientales, contribuyendo a la gestión sostenible, la formulación de políticas públicas y la definición de estrategias preventivas. El análisis de la vulnerabilidad ambiental implica la selección del sistema a estudiar, la definición de indicadores/variables, el monitoreo del uso del suelo y la cobertura vegetal, y la aplicación de tecnologías emergentes. Entre estas, destacan las herramientas de Inteligencia Artificial, que permiten la proyección de escenarios futuros y requieren metodologías adaptativas capaces de considerar las particularidades de cada sistema ambiental. La adopción de estos enfoques permite una comprensión más precisa de los niveles de vulnerabilidad y la identificación de áreas y procesos críticos, además de posibilitar el desarrollo de escenarios prospectivos más realistas, orientando las medidas de mitigación y prevención de riesgos. Comprender la vulnerabilidad ambiental es fundamental para abordar los desafíos contemporáneos. Más que simplemente corregir los daños existentes, es fundamental planificar el futuro utilizando herramientas científicas y tecnológicas que fortalezcan la resiliencia de los sistemas socioambientales y reduzcan los riesgos derivados de las acciones humanas.

Palabras clave: Vulnerabilidad ambiental; Dinámicas ambientales; Metodologías; Paisajes.

Introdução

O meio ambiente possui ciclos e é constantemente afetado com as alterações provocadas pela própria sociedade. A partir da década de 1970, as evidências das transformações promovidas pelas atividades humanas nos ambientes se tornaram mais nítidas (SANTOS, 2015). A retirada da cobertura vegetal, assoreamentos, ocupações em áreas com maior declive, entre outros processos, interferem significativamente nos processos naturais, ocasionando impactos emergentes, caracterizados como dinâmica ambiental. Essa dinâmica deriva do aproveitamento máximo dos recursos naturais, sem preocupação com o quanto o meio se tornará vulnerável.

Para decifrar as dinâmicas ocorridas no espaço, não se deve distingui-las como se fossem elementos distintos e isolados. Conforme afirma George (1968) apud Jr, Carpi (2020), os fenômenos podem apresentar fronteiras que, na maior parte das vezes, não se encaixam nos limites da existência cotidiana. Não é possível uma leitura isolada sobre a dinâmica. Contudo, não se nega a análise dos agentes – *ação antrópica* – da dinâmica, mas a totalidade do fenômeno a ser compreendido (GEORGE, 1968; apud Jr, CARPI, 2020), uma vez que essa dinâmica implica em uma confluência de fatores que ocasionam uma circunstância singular na área na qual eles ocorrem – a vulnerabilidade ambiental.

O termo Vulnerabilidade exprime vários significados e definições, abordando, inclusive, outros conceitos/ significados como: riscos, fragilidade, susceptibilidade. No entanto, o significado de vulnerabilidade transcende a definição clássica e simplificada, transitando por diversas áreas do conhecimento e da vida humana. Os conceitos variam conforme a aplicação da palavra, seja para os meios ambientais, urbanos, sociais, econômicos e culturais etc. A vulnerabilidade é um conceito multifacetado e cada vez mais relevante no cenário global, fato que indigita para uma necessidade de definição deste conceito.

Porém sua definição é mutável conforme o foco de uma pesquisa ou estudo. Conforme Girão, et.al., (2018), trabalhar com a vulnerabilidade requer, enquanto primeiro passo, o entendimento do seu conceito, suas multifacetadas e interpretações. Portanto, a Vulnerabilidade assume condições de alterações do meio ambiente, da sociedade e/ou de ambos. O conceito

desse termo contempla uma visão holística de todos os fatores associados ao risco e ao desastre (GIRÃO, et.al., 2018).

As relações entre a sociedade e o meio em que vive ocorrem desde os primórdios da sua existência. Ao longo dos tempos, essas relações vêm se tornando cada vez mais potencializadoras e catalizadoras de modificações nas dinâmicas das paisagens, levando às vulnerabilidades ambientais e colapsos geográficos.

Nesse sentido, Pedrosa e Souza (2014), abordam a dualidade na definição da paisagem, afirmando que se num certo sentido a paisagem pode ser entendida como uma dimensão natural, por outro, pode ser entendida também como uma dimensão das relações antrópicas (ser social) com a natureza. As paisagens do Cerrado mineiro conforme os autores, são resultados de uma ação dinâmica relacionada com elementos naturais que as compõem, como litologia, solos, formas de relevo, vegetação e a atuação continuada e diversificada da sociedade. A ação antrópica, na atualidade, é profundamente marcante e é indiscutível que o Cerrado, tal e como era conhecido no início do século XX desapareceu principalmente na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. (Pedrosa; Souza 2014)

Dessa forma a transformação rápida da paisagem do Cerrado Mineiro, é observada por meio do desaparecimento de espécies vegetais nativas, processos de erosão e compactação do solo devido ao uso intensivo, remetendo à processos de vulnerabilidades ambientais. O conceito da vulnerabilidade ambiental é de fundamental importância para o compreendimento das relações entre a sociedade e o ambiente. De forma generalizada, refere-se ao potencial de perda diante um perigo ou ameaça, associando-se a questões, problemas ou impactos ambientais.

Nesse viés de análise, o objetivo do artigo é discutir os conceitos de vulnerabilidade ambiental e apresentar metodologias de análise que subsidiem a compreensão dos riscos socioambientais, contribuindo para o manejo sustentável, a formulação de políticas públicas e a definição de estratégias preventivas. Admitindo-se as paisagens enquanto um sistema dinâmico e vulneráveis às ações humanas, a discussão conceitual e metodológica foi criteriosamente selecionada e contemplada pelas paisagens e vulnerabilidades do Cerrado mineiro, sugerindo a necessidade de uma adaptabilidade metodológica juntamente com a inserção juntamente com a inserção das Inteligências Artificiais e Redes Neurais Artificiais no estudo da Vulnerabilidade Ambiental.

Procedimentos Metodológicos

Como delineamento metodológico foi realizada uma pesquisa bibliográfica, a qual priorizou a identificação, seleção e sintetização da diversidade dos conceitos e metodologias existentes sobre a Vulnerabilidade Ambiental. A estratégia de busca consistiu na seleção de palavras chaves que atenderam melhor o intuito do artigo, como por exemplo: “Conceitos de Vulnerabilidade”, “definição de Vulnerabilidade Ambiental”, “Paisagens e Vulnerabilidades”, “Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental”, sendo excluído artigos publicados sem revisão, artigos, capítulos de livros, dissertações e teses que abordaram exclusivamente conceitos e definições da Vulnerabilidade que fogem do tema Meio Ambiente.

Esta pesquisa foi dividida em duas etapas essenciais: (a) levantamento teórico conceitual da vulnerabilidade, nessa etapa foi realizado um levantamento de livros disponibilizados online, como por exemplo Carpi Jr; Dagnino (2020) disponibilizado pela plataforma da ANAP (Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista), teses e artigos de cunho teórico que abordam os variados conceitos sobre vulnerabilidades e paisagens; pesquisa de teses acessadas no portal Capes e artigos científicos publicados em revistas como Mercator e Geopauta e em revistas internacionais como o Science Direct no intuito de realizar um levantamento das principais metodologias utilizadas para analisar a vulnerabilidade ambiental; (b) a seleção, refinamento e composição do texto de discussões sobre os conceitos

e metodologias, priorizando as pesquisas mais recentes e a seleção de autores clássicos para o respaldo teórico.

A estrutura do artigo foi elaborada de forma a percorrer brevemente pela diversidade dos conceitos existentes, com um enfoque à vulnerabilidade ambiental, no tópico conceitos de vulnerabilidades, expondo inicialmente e brevemente a aplicabilidade em áreas sociais, culturais e econômicas, visando permanecer na linha de raciocínio ambiental.

Adiante será demonstrado uma vertente de pensamento para a definição dos parâmetros de análises da vulnerabilidade ambiental, a qual se apoia nas definições da paisagem. Justificando dessa forma que a paisagem está implicitamente ligada à vulnerabilidade ambiental. Analisada as definições básicas e os parâmetros da vulnerabilidade o artigo avança com a discussão das principais metodologias de análises da vulnerabilidade ambiental. No intuito de se fazer uma chamativa para a adaptabilidade e inserção das Inteligências Artificiais, as discussões presentes no artigo chamam a atenção de como as metodologias são utilizadas em relação a cada ambiente pesquisado. As inteligências artificiais serão brevemente analisadas na conclusão deste artigo, de forma a incitar a curiosidade da aplicação desta ferramenta em análises da vulnerabilidade ambiental.

Conceitos de Vulnerabilidades

O termo Vulnerabilidade possui uma definição geral que se refere ao caráter ou qualidade de vulnerável, abrangendo o lado “fraco” de um assunto, tema ou questão. Cutter (2011), aborda-o como uma Ciência – a ciência da vulnerabilidade. Ela consiste na integração multidisciplinar das ciências sociais, das ciências naturais e da engenharia, na compreensão das circunstâncias que colocam as populações e os locais em risco, ou seja, devido aos fatores que aumentam ou reduzem a capacidade de resposta e de recuperação das populações, dos sistemas físicos ou das infraestruturas em relação às ameaças ambientais (Cutter, 2011)

De acordo com Aquino; et.al., (2017 p.13):

“A vulnerabilidade do meio ambiente, de sistemas sociais e econômicos é mais do que o resultado de riscos aos desastres ou de boas ou más formas de gerenciamento. Não se refere somente às mudanças climáticas, globalização ou acordos comerciais, mas engloba também a compreensão de como qualquer sistema pode se relacionar com outro”.

Neste sentido, Zanella (2009), trata a vulnerabilidade como um contexto multidimensional, que surge em virtude de uma variedade de fenômenos, a partir de causas distintas, ocasionando consequências diversas e afetando diferencialmente os variados grupos sociais e /ou naturais.

Adorno (2001); Yunes, et.al., (2003), discutem que o conceito da vulnerabilidade teve sua origem na década de 1930, no âmbito da física e da engenharia, associada à susceptibilidade, à deterioração e ao funcionamento diante de algum estresse submetido ao material. Porém os autores afirmam que o conceito foi incorporado, na década de 1980, nas ciências da saúde, associado à história da epidemia de HIV/ AIDS.

A vulnerabilidade vista como a forma como a humanidade reage frente a situações de estresse é definida nas ciências humanas, conforme Adorno (2001), sendo atribuída ao paradigma probabilístico ao risco, tendo em vista a vitimização ocasionada pelos desastres naturais nos setores mais desiguais

Diamond (2007), relaciona o termo Vulnerabilidade como adjetivo à colapso, afirmando que todas as sociedades estão fadadas a ele devido a algum dano ambiental pretérito. E ainda completa que, no passado, algumas sociedades entraram em colapso, enquanto outras não, justificando que algumas sociedades se tornaram frágeis aos danos ambientais.

A vulnerabilidade pode também ser associada ao risco, como uma consequência histórica de uma construção social. Nessa concepção, Santos (2015), afirma que quanto maior for a vulnerabilidade do sistema, menor será sua capacidade de absorver a perturbação sofrida ou de se readaptar a uma nova situação.

Dentre a gama de definições acerca da vulnerabilidade, ora sendo analisada como ciência, ora como índice, Cutter (2011), define simplesmente como um potencial para perda, incluindo elementos de exposição ao risco ou circunstâncias que corroboram ou não para os sistemas físicos responderem e recuperar de ameaças ambientais. Lima, et.al. (2000) apud. EMBRAPA (2010), traz o conceito de vulnerabilidade associado a um geossistema, que é avaliado a partir de análises e características dos meios físicos – solos, rocha, relevo, clima e recursos hídricos – bióticos e antrópicos – uso e ocupação do solo, tornando o relevo mais ou menos instável ou sujeito a processos erosivos.

Autores como Zielinski (2002); Tran et.al., (2002) entre outros, relacionam a vulnerabilidade à exposição a pressões e à impermeabilização de microbacias hidrográficas. Essas ações se referem ao uso e ocupação do solo, densidade populacional, pavimentação de áreas, abordando as microbacias como uma unidade de estudos para a vulnerabilidade ambiental. Em complemento, Girão, et al., (2018), afirmam que as atividades antrópicas são as responsáveis pelas diversas modificações do espaço físico natural, sendo a degradação ambiental um dos principais problemas ambientais contemporâneos, especialmente pela atual condição de transformação do espaço físico natural, num contexto social de desigualdade econômica e social.

A definição do termo vulnerabilidade está ligada a fatores tanto físicos e naturais quanto antrópicos. Dessa forma, remete-se ao conceito multifacetado como uma definição mais plausível de vulnerabilidade uma vez que para se definir e estudar vulnerabilidade é necessário o conhecimento do meio físico, biótico e antrópico do sistema estudado. O consenso entre as várias definições de vulnerabilidade consiste no princípio básico da física que é a forma que o ambiente vai reagir diante a perturbações externas.

Segundo Cutter (2011), é necessário que haja uma abordagem integradora, explicando as principais e complexas interações entre sistemas sociais, naturais e artificiais. Embora seja importante entender os sistemas e processos naturais que dão origem aos riscos, é possível compreender o impacto de tais processos, quando examinado a forma com que esses sistemas interagem com a sociedade.

A sociedade entra neste contexto, como principal agente modificador proporcionando interferências na paisagem ao longo dos anos tornando ambientes estáveis em ambientes instáveis e vulneráveis. Conforme Girão et al., (2018), as atividades antrópicas são as principais responsáveis pelas diversas modificações do espaço físico natural, e necessitam de controle quando se leva em consideração o seu potencial de impacto.

A exemplos de potenciais de impacto por meio da interferência antrópica, pode-se citar, em âmbito nacional, o rompimento da barragem de Fundão em Mariana no ano de 2015, causando grande impacto social e ambiental, devido à rejeitos de mineração; os grandes incêndios no território Amazônico em 2019, provocado pelo desmatamento ilegal e as queimadas ilegais para expansão da agropecuária; os incêndios criminais ocorridos em todo o território nacional no ano de 2024, dentre vários outros acontecimentos que ocasionaram vulnerabilidade nos sistemas ambientais por intervenção antrópica.

Mundialmente, segundo os portais de notícias online (CNN e G1) de 2006 a 2010, ocorreram secas extremas na Síria, agravadas pelo aquecimento global, o “Verão Negro” na Austrália no período de 2019 e 2020 seguido por chuvas intensas nos anos de 2021 e 2022, que desestabilizou todo o sistema ambiental da Austrália, provocando grandes vulnerabilidades sociais, climáticas e ambientais no território.

Dessa forma ao se pensar em vulnerabilidade deve-se pensar também em como analisá-la. Villa e McLeod (2002) apontam basicamente dois passos para a construção de um método avaliativo da vulnerabilidade ambiental: (a) a escolha do sistema a ser avaliado; (b) a escolha e organização dos indicadores ambientais. Os autores ressaltam que é importante definir uma

linha conceitual sobre vulnerabilidade, justificada pelas várias interpretações e aplicações do termo.

Os principais parâmetros para a análise da Vulnerabilidade Ambiental

Seguindo a premissa de Villa e McLeod (2002) ao analisar e pensar a vulnerabilidade ambiental, inicialmente é necessário a definição do sistema ambiental a ser analisado, bem como o conhecimento das suas componentes principais. A seleção dos indicadores para a vulnerabilidade deve estar diretamente relacionada ao conceito e aos objetivos a serem analisados.

Os pilares para a definição dos parâmetros que caracterizam a Vulnerabilidade são encontrados nas obras dos geógrafos clássicos, que conceituaram, definiram e reconheceram os parâmetros para os estudos da paisagem, que está implicitamente ligada à vulnerabilidade ambiental.

Conforme Schier (2003), Humboldt se destacou por sua visão holística da paisagem de forma a associar diversos elementos da natureza e da ação humana, sistematizando, a ciência geográfica. Humboldt, conforme Vitte; Silveira (2010), traz uma representação fisionômica da paisagem representando o conteúdo da cena, suas feições e particularidades, relacionando a todo tempo os fatores que compõem sua configuração. Vitte; Springer (2011), apontam que a ciência Humboldtiana inovou e produziu a modernidade na interpretação da natureza/paisagem, pois conseguiu congelá-la transformando o que era móvel e dinâmico em imóvel, podendo assim manipulá-la e torná-la objeto de pesquisa.

Posteriormente Carl Troll, propôs em seus estudos a Ecologia da Paisagem que de acordo com Maciel e Lima (2011), aborda a interação entre os modelos espaciais e os processos ecológicos, que através da observação da paisagem inicia uma abordagem ecossistêmica. Ainda conforme os autores, Troll afirma a integração dos elementos naturais e antrópicos e reafirma que seria impossível tentar dissociá-los, pois estão interagindo uns com os outros, enfatizando isso é paisagem.

Metzger (2001), afirma que a paisagem na abordagem ecológica é definida como uma área com interação dos ecossistemas, um mosaico de relevos, tipos de vegetação e formas de ocupação, ou seja, uma área espacialmente heterogênea.

Bertalanffy, foi o percussor da Teoria Geral dos Sistemas que de acordo com Vale (2012), define-se um sistema complexo de componentes em interação, conceitos característicos da totalidade. A autora citada explana uma visão sistêmica do modelo conceitual de Bertalanffy que se compara ao organismo vivo um sistema aberto, uma entidade em contínua interação com o ambiente. Quando se decide qual sistema será estudado, definindo os seus elementos e suas relações, é mais fácil delimitá-lo no espaço e no tempo, diferenciar suas unidades, componentes interligados pelas relações internas e estabelecer os sistemas ambientais controlantes que atuam sobre o sistema escolhido através das relações externas (Valle, 2012).

Através da visão holística e sistêmica desses principais pesquisadores citados até o momento, percebe-se o início do entendimento dinâmico da paisagem e a interação sociedade – natureza, caracterizando as principais bases para a construção de um sistema ambiental e os parâmetros da vulnerabilidade ambiental.

Em 1977, Sotchava através de uma perspectiva de análise integrada do sistema ambiental e uma abordagem sistêmica, elabora a teoria geossistêmica. Conforme do Vale (2012), Sotchava considera os geossistemas, fenômenos naturais onde fatores econômicos e sociais afetariam a sua estrutura e peculiaridades espaciais.

Sotchava (1978) define o geossistema como uma classe peculiar de sistemas abertos e hierarquicamente organizados, sendo diferenciados pelas características dinâmicas da evolução da paisagem estudada, que são elementos fundamentais para a diferenciação dos

geossistemas. Entre as principais características estudadas Sotchava destaca a geomorfologia, a hidroclimática, a pedologia, a botânica e estudos geoquímicos.

O geossistema foi concebido por Sotchava, como sistemas naturais, de nível local, regional ou global, nos quais o substrato mineral, o solo, a comunidade de seres vivos, a água, as massas de ar, particulares às diversas subdivisões da superfície terrestre, são interconectados por fluxos de matéria e energia, em um só conjunto (PASSOS, 2003).

De acordo com Rodrigues (2001), através dessa noção dinâmica abordada por Sotchava, é possível classificar os geossistemas de acordo com o seu estado ou estados sucessivos, sendo assim, é possível assumir ou propor hipóteses sobre sua dinâmica futura. Ainda conforme o autor esse caráter preditivo é um dos principais pontos de apoio da sua aplicabilidade.

Tricart apresenta o conceito de ecodinâmica, diante de uma análise integrada e sistêmica da paisagem, considerando os processos antrópicos e naturais. Segundo Simões et. al., (2023), a ecodinâmica será tratada enquanto unidade de paisagem que caracteriza a dinâmica do meio ambiente a partir das relações mútuas entre os ecossistemas (ecótopos) e os seres vivos (biocenose), permitindo a classificação dos meios.

Toda a obra de Tricart revela um pensamento que une a teoria à prática, de acordo com Amador et. al., (2007), sendo um dos pioneiros a enfatizar a noção de escalas variadas para as análises da paisagem. O ser humano dentro desta perspectiva é analisado como um ser sistêmico, ou seja, um ser vivo que fazer parte do sistema natural físico, tratado de uma forma holística, mas que também faz parte do ecossistema enquanto ser biológico.

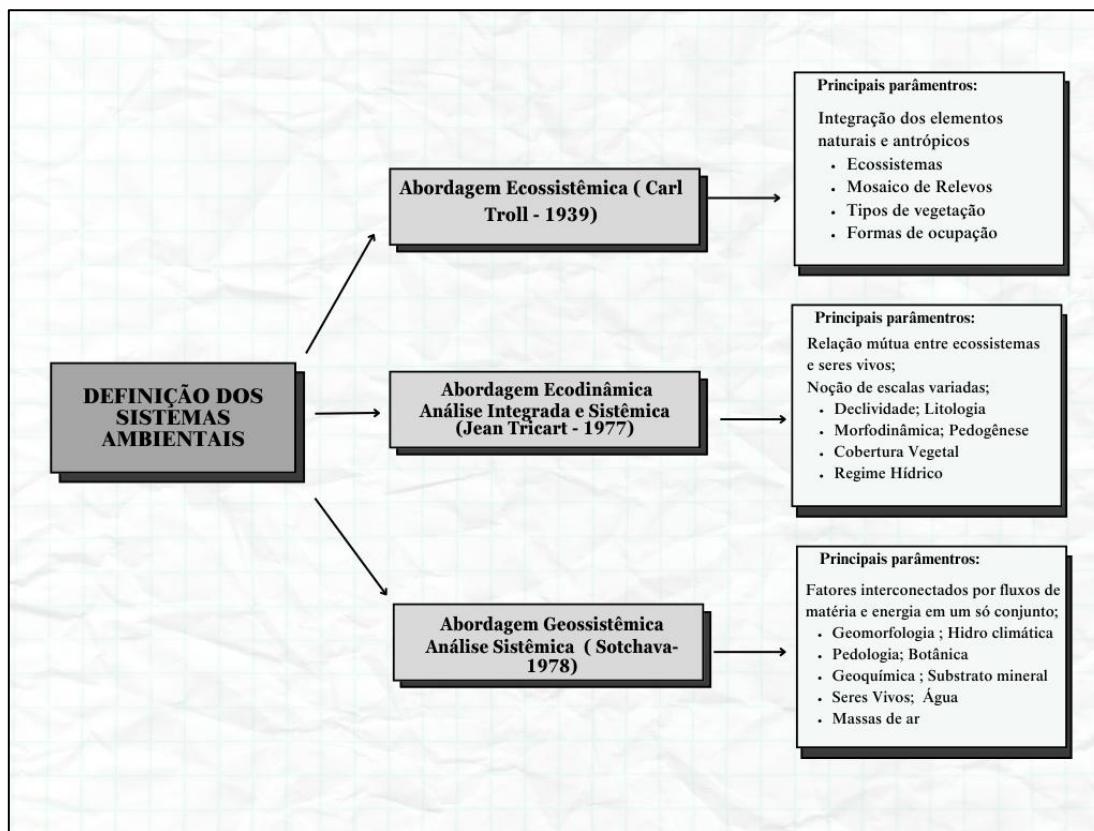
Tricart (1977), afirma que a melhor alternativa para compreender a dialética de análise dos processos do meio ambiente ocorre a partir da abordagem integrada da ecodinâmica, além de permitir identificar rapidamente quais serão as modificações indiretas desencadeadas por uma intervenção que afeta tal ou qual outro elemento do ecossistema.

Tricart enfatiza algumas características específicas do meio ambiente sendo elas: a declividade; a litologia; a morfodinâmica; a pedogênese; a cobertura vegetal e o regime hídrico. Esses parâmetros devem representar o arranjo territorial a partir das suas diversidades.

Conforme Simões, et al., (2023), a forma de pensar o meio através de processos integrados e sistêmicos, e a proposta de delimitação de unidades ecodinâmicas, assim como o seu posterior mapeamento fica evidenciado os modos de funcionamento do meio bem como os níveis de intervenção.

Dessa forma é possível afirmar que a paisagem conforme Tricart (1982), adquire uma dimensão lógica e concreta e ao considerar uma dimensão escalar é possível a sua espacialização. Uma paisagem começa nitidamente em algum lugar e termina num outro, o que traz a dimensão escalar concretizada na possibilidade de conversão da paisagem ou unidades de paisagem em modelos cartográficos (SIMÕES, et al., 2023).

Figura 1: Esboço dos principais parâmetros da Vulnerabilidade Ambiental



Fonte: Os autores (2025).

A partir dessa discussão, evidencia-se os parâmetros fundamentais para a análise da Vulnerabilidade Ambiental conforme observado na figura (1). Os geógrafos clássicos abordados, com ênfase para Sotchava (1978) e Tricart (1977) trouxeram um aparato teórico – metodológico por meio de uma análise sistêmica da paisagem, elucidando pontos específicos e concordantes, para um estudo preciso do meio ambiente.

Metodologias para a definição e caracterização da Vulnerabilidade Ambiental

Para se obter um panorama da Vulnerabilidade Ambiental, se faz necessário a organização dos parâmetros ambientais, a definição de uma escala adequada para análise e um recorte espacial. Conforme Ross (1994), ao se realizar um estudo integrado dos elementos componentes da paisagem, que dão suporte à vida animal e humana, os quais quando analisados e interrelacionados, geram um produto analítico-sintético que retrata a situação da área estudada.

Os parâmetros ambientais, são as características principais que moldam e definem um cenário de paisagem. Conforme visto anteriormente, algum desses parâmetros foram analisados, estudados e discutidos por autores como: Troll (1939); Sotchava (1978); Tricart (1977).

Usualmente separa-se uma categorização dos meios físicos e antrópicos, com o intuito de organizar as análises. Os tipos de rochas, solos, relevo, são alguns dos fatores físicos que configuram a paisagem. O meio antrópico pode ser analisado através de parâmetros como cobertura vegetal, uso e ocupação, clima e regime hídrico que embora não sejam fatores antrópicos respondem imediatamente à modificações antrópicas no meio, podendo ser modificados numa escala temporal média a curta. Dessa forma a influência antropogênica

pode afetar o estado original da paisagem, transformando-a e se intensificando acarreta um desequilíbrio, que pode resultar em um processo de vulnerabilidade ambiental.

A análise da Vulnerabilidade Ambiental pode ser realizada por meio de várias metodologias, utilizando os parâmetros básicos de análise e/ou incrementando alguns parâmetros, conforme a necessidade do ambiente estudado.

Alguns autores como, Crepani, et al. (2001); Grigio (2003); Meirelles, et al. (2007); Cundong Xu, et al. (2024); serão discutidos em relação às metodologias aplicadas, as formas de se abordar a Vulnerabilidade destacando o conceito multifacetado, e a seleção dos parâmetros de análise conforme a necessidade do meio estudado.

Metodologia de Vulnerabilidade natural à perda de solo

Crepani, et al., (2001), desenvolveram uma metodologia para análise da vulnerabilidade ambiental fundamentada no conceito de ecodinâmica (Tricart, 1977), inserindo as imagens de satélite, como uma ferramenta que permite uma visão sinótica, repetitiva e holística da paisagem.

Para analisar uma unidade da paisagem natural, os autores afirmam ser necessário conhecer sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como o tipo de cobertura vegetal que se desenvolve. Dessa forma a metodologia consiste em uma reinterpretação das informações temáticas disponíveis, sendo elas: geologia; geomorfologia; pedologia; cobertura vegetal e uso da terra; clima. A partir dessas informações que foram nominadas como planos de informações (PI's) e a intersecção desses vetorial desses PI's, os autores, definem as unidades territoriais básicas (UTB's) compostos pelas unidades de paisagem natural e os polígonos de intervenção antrópica.

Uma UTB é uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-los de suas vizinhanças e ao mesmo tempo possui vínculos dinâmicos que articulam à uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais (CREPANI, et al., 2001).

Posteriormente, segundo os autores, é realizado uma análise morfodinâmica das unidades de paisagem natural, estabelecendo diferentes categorias resultantes dos processos de morfogênese ou pedogênese, expressada pela atribuição de valores de 1 a 3 para cada unidade de paisagem. Dessa forma deve-se analisar os planos de informação conforme os processos sistêmicos e integrados, evidenciando características e peculiaridades que interferem na paisagem.

- A litologia deve ser pensada e analisada como um agregado de minerais e sua resistência ao intemperismo está diretamente ligada à capacidade de resistência dos minerais que a compõem.

- A geomorfologia oferece os princípios para a caracterização da estabilidade da paisagem, relativo à morfometria, ou seja, a amplitude do relevo, a declividade e o grau de dissecação, que são influências marcantes nos processos ecodinâmicos.

- A pedologia fornece o indicador básico da posição ocupada pela unidade dentro da escala gradativa da ecodinâmica – a maturidade dos solos.

- A cobertura vegetal é ligada diretamente à capacidade de proteção do solo e aos processos morfogenéticos que relacionam a cobertura vegetal menos densa, enquanto uma cobertura vegetal mais densa se relaciona aos processos pedogenéticos, ou seja, desenvolvimento e maturação dos solos.

Crepani, et al., (2001), ressaltam que as atividades de intervenção antrópica agregam novas forças alterando em escalas variáveis as condições de equilíbrio do sistema, podendo se localizar em uma única ou várias unidades de paisagem natural. A primeira intervenção no sistema representado pelas unidades de paisagem natural é a alteração da cobertura vegetal, as atividades agropecuárias, a mineração e obras de engenharia civil são exemplos de atividades que com um grau maior ou menor introduzem estímulos externos ao sistema.

Para o desenvolvimento metodológico da vulnerabilidade natural à perda de solos, os autores a partir da caracterização morfodinâmica estabeleceram as seguintes categorias: (a)

Meios Estáveis, são os meios que possuem cobertura vegetal densa, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas; (b) Meios Intergrades, que são os que tem um balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas; (c) Meios Fortemente Instáveis, que são caracterizados pelas condições bioclimáticas agressivas, relevos com rigorosas dissecações, planícies e fundos de vales sujeitos a inundações (Crepani, et al., 2001).

Por meio destes critérios estabelecidos os autores, elaboraram uma escala de análise da vulnerabilidade de forma a contemplar a maior variedade das categorias morfodinâmicas conforme demonstrado a seguir:



Esse modelo desenvolvido pelos autores, é aplicado individualmente para os temas – geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima – compondo uma unidade territorial básica, recebendo posteriormente um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais conforme demonstrado na equação (3):

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

Onde:

V – representa a vulnerabilidade natural à perda de solo,
 G – representa a vulnerabilidade para o tema geologia,
 R – representa a vulnerabilidade para o tema geomorfologia,
 S – representa a vulnerabilidade para o tema solos,
 Vg – representa a vulnerabilidade para o tema vegetação,
 C – representa a vulnerabilidade para o tema clima.

Dessa forma os autores, apresentam uma metodologia a qual uma unidade de paisagem natural é considerada estável, quando os eventos naturais favorecem os processos de pedogênese, ao passo que uma unidade de paisagem na qual prevalecem os processos modificadores do relevo – morfogênese, são considerados vulneráveis (CREPANI, et al., 2001).

Vulnerabilidade Natural e Ambiental

Grigio (2003), aborda a aplicação do sensoriamento remoto e o sistema de informação geográfica para a determinação da vulnerabilidade natural e ambiental, defendendo que com essas ferramentas é possível estabelecer comparações de uma mesma paisagem de forma multitemporal.

A abordagem teórica do autor é baseada no conceito de estabilidade das unidades de paisagem a partir da ecodinâmica de Tricart (1997). Dessa forma tem-se a visão do ambiente como um sistema, onde a realidade é percebida e composta por entidades físicas que se organizam em diversos relacionamentos para uma investigação ambiental, sendo elas: hierarquia; proximidade/ contiguidade e causalidade. Segundo essa perspectiva a realidade ambiental pode ser percebida como um agregado de sistemas relacionando entre si (GRIGIO 2003).

O autor divide a metodologia em duas etapas: (a) o cruzamento de parâmetros (as unidades geomorfológicas; o mapa simplificado geológico; simplificado de solos; e vegetação) para a geração da vulnerabilidade natural; (b) o cruzamento da vulnerabilidade natural com o uso e ocupação do solo (análise temporal), para a geração da vulnerabilidade ambiental.

Segundo o autor na tentativa de obter informações da vulnerabilidade ambiental que representasse fielmente as particularidades foi aplicado o método de ponderação de fatores,

que permite a possibilidade de compensação entre fatores através de um conjunto de pesos que indica a importância relativa de cada fator em relação aos demais – pesos de compensação.

Dessa forma a equação (2) a seguir exemplifica a metodologia aplicada pelo autor:

$$VA = 0,2 * (\text{tema 1}) + 0,1 * (\text{tema 2}) + 0,1 * (\text{tema 3}) + 0,1 * (\text{tema 4}) + 0,5 * (\text{tema 5})$$

Onde:

VA = vulnerabilidade ambiental
Tema 1 = unidades geomorfológicas
Tema 2 = simplificado de geologia
Tema 3 = associação de solos
Tema 4 = vegetação
Tema 5 = uso e ocupação do solo.

O fator geomorfologia recebe um peso maior devido à forte influência no modelamento das formas do relevo, resultante da ação constante dos processos do meio físico. E o fator uso e ocupação do solo também recebe um peso maior do que os demais, devido ao fator antrópico de grande relevância e consequentemente agente modelador da paisagem (GRIGIO 2003).

O autor destaca através dessa metodologia, a importância das ferramentas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas, por serem extremamente eficientes e acelerarem a detecção de mudanças. Ressalta também a análise evolutiva do uso e ocupação do solo, o que possibilita uma aproximação da realidade do sistema ambiental, vulnerável ou não.

Análise da Vulnerabilidade da Paisagem, utilizando-se a classificação fuzzy

Meirelles, et al., (2007), abordam em sua metodologia para análise os operadores *fuzzy*, discutindo o conceito da Vulnerabilidade de Paisagens, definindo-a como uma combinação do grau de alteração da paisagem devido a ações antropogênicas.

Para a avaliação da vulnerabilidade da paisagem os seguintes passos são sugeridos pelos autores; (a) a escolha dos fenômenos que caracterizam a paisagem; (b) a escolha dos indicadores de paisagem; (c) a classificação em função do uso de valores de pertinência *fuzzy*. A pertinência *fuzzy*, indica o grau de coerência dos elementos de um conjunto (**u**) em relação ao conjunto (**a**), isto é, quanto é possível para um elemento (**x**) de (**u**) pertencer ao conjunto (**a**) (MEIRELLES, et al., 2007).

O estudo realizado pelos autores, considera uma abordagem integrada do ambiente, baseando-se nos conceitos de ecologia de paisagem, tendo como análises as unidades de paisagem. Dessa forma analisam além dos temas envolvidos na geração dos domínios geofísicos, ou seja, solos; geologia; compartimentação topográfica e uso do solo, mas também consideram informações como balanço hídrico anual, classificação climática de Kopen e o tipo de vegetação.

A metodologia aplicada leva em consideração a função de pertinência, ou seja, os valores são definidos como verdadeiro ou falso e expressos matematicamente como 1 ou 0, respectivamente. Tal função foi tratada à proposição que é vulnerável (1) ou não vulnerável (0).

Meirelles, et al. (2007), afirmam que o procedimento de atribuição destes valores de pertinência é o mesmo utilizado na atribuição de pesos e notas da média ponderada. No entanto deve-se avaliar esses valores para as classes temáticas individualmente considerando a importância dessa classe para a análise da vulnerabilidade.

De acordo com Meirelles, et. al., (2007, p. 295 – 296):

“Por exemplo; se para uma dada localização, ainda que haja infraestrutura, e não seja uma zona de influência industrial, porém se a sub bacia que a contém for vulnerável, ou de alguma forma sofrer vulnerabilidade, esta área será classificada com o valor da vulnerabilidade dado pela sua sub bacia”.

Sintetizando a metodologia aplicada pelos autores, a partir da função de pertinência fuzzy, foram desenvolvidos seis indicadores: paisagem; balanço hídrico; uso industrial; infraestrutura; paisagem e áreas de intersecção dos canais *versus* eixo de circulação; sub bacias e espacialização política, socioeconômicas, e fatores biofísicos.

Após essa combinação dos diversos mapas *fuzzy* e a aplicação de operadores para sobrepor os temas e modelar o fenômeno vulnerabilidade, foi reclassificado para fins de visualização o mapa resultante e as classes da vulnerabilidade, apresentando a seguinte escala de interpretação:

0 a 0,3 (pouco vulnerável) – **0,4 a 0,5** (moderadamente vulnerável) – **0,6 a 0,7** (vulnerável) – **0,8 a 1** (muito vulnerável).

Os autores, encerram o estudo concluindo que, para analisar a vulnerabilidade é necessária uma flexibilização dos valores de peso dos parâmetros – abordados como plano de informação, que sejam condizentes com as características conjuntas da área estudada. Apontam a classificação *fuzzy* como a metodologia que soluciona esse problema, uma vez que, não se fornece ‘pesos’ aos temas, mas sim, um valor único que refletirá o peso que cada plano de informação deverá ter, possibilitando uma análise integrada compensando as diferenças de pesos existentes em um mesmo plano de informação.

Variações espaço – temporal da Vulnerabilidade Eco ambiental

Cundong Xu, et al., (2024), analisaram a evolução espacial e temporal da vulnerabilidade eco ambiental, defendendo a ideia de que o intervalo espaço-temporal é fundamental para manter a estabilidade do ecossistema. Conforme os autores, a vulnerabilidade eco ambiental reflete o grau desfavorável do ambiente ecológico espalhado de acordo com perturbações externas.

A abordagem eco ambiental, segundo os autores se molda como uma base teórica para a conservação e reabilitação ecológica regional e para a gestão dos recursos hídricos com a utilização de recursos terrestres.

A estrutura metodológica desenvolvida pelos autores, consiste em um modelo com três aspectos principais: (I) sensibilidade ecológica – que considera extensão a qual um ecossistema é sensível a perturbações externas como por exemplo, atividades de produção humana; (II) resiliência ecológica – que é a capacidade de auto recuperação ecológica para manter um sistema estável e restaurá-lo ao estado original ou próximo, após ser perturbado por forças externas; (III) pressão ecológica – considera a intensidade da pressão de perturbação gerada por fatores externos sob o sistema ecológico. (CUNDONG XU, et al., 2024).

Com base neste modelo os autores selecionaram os indicadores para serem analisados, e a escolha temporal dos anos de 2000 a 2020 por serem representativos para a vulnerabilidade. Os dados utilizados foram organizados conforme o quadro (1) a seguir de forma que quanto maiores forem os indicadores (+) maior será a vulnerabilidade eco ambiental, e quanto menor forem os indicadores (-) menor será a vulnerabilidade.

Quadro 1: Exemplo dos principais indicadores para a avaliação da Vulnerabilidade Eco ambiental

Indicadores para a avaliação da Vulnerabilidade Eco Ambiental			
Terreno	Elevação (+)	Clima	Precipitação (-)
	Declive (+)		Temperatura Superficial (+)
	Aspecto (+)		Umidade (-)
Solo	Acidez e alcalinidade do solo (+)	Antrópico	Cobertura vegetal (-)
	Condutividade do solo (+)		Uso do solo (+)
	Teor de carbono orgânico (-)		Densidade populacional e PIB (+)

Fonte: Cundong Xu, et al., (2024); adaptado pelos autores (2025).

A partir da escolha dos indicadores, os autores aplicaram o método AHP – Processo de hierarquia analítico, para a ponderação dos pesos dado às informações de maior ou menor influência dos indicadores para a análise da vulnerabilidade. Posteriormente é realizado o cálculo do índice de vulnerabilidade eco ambiental (EEVI) conforme demonstrado na equação (1):

$$EEVI = \sum_{i=1}^N (Y_1X_1 + Y_2X_2 + Y_3X_3 + \dots + Y_nX_n)$$

Onde: Y_n é o valor do indicador eco ambiental;
 X_n é o valor combinado dos pesos dos indicadores.

O estado da vulnerabilidade eco ambiental, conforme os autores são categorizados em cinco graus / combinações com características ecológicas ambientais únicas. A vulnerabilidade eco ambiental, é expressa em uma escala de análise conforme descrito a seguir variando de 0 a 1:

0 – 0,2; 0,2 – 0,4; 0,4 – 0,6; 0,6 – 0,8; 0,8 – 1

leve

extremo

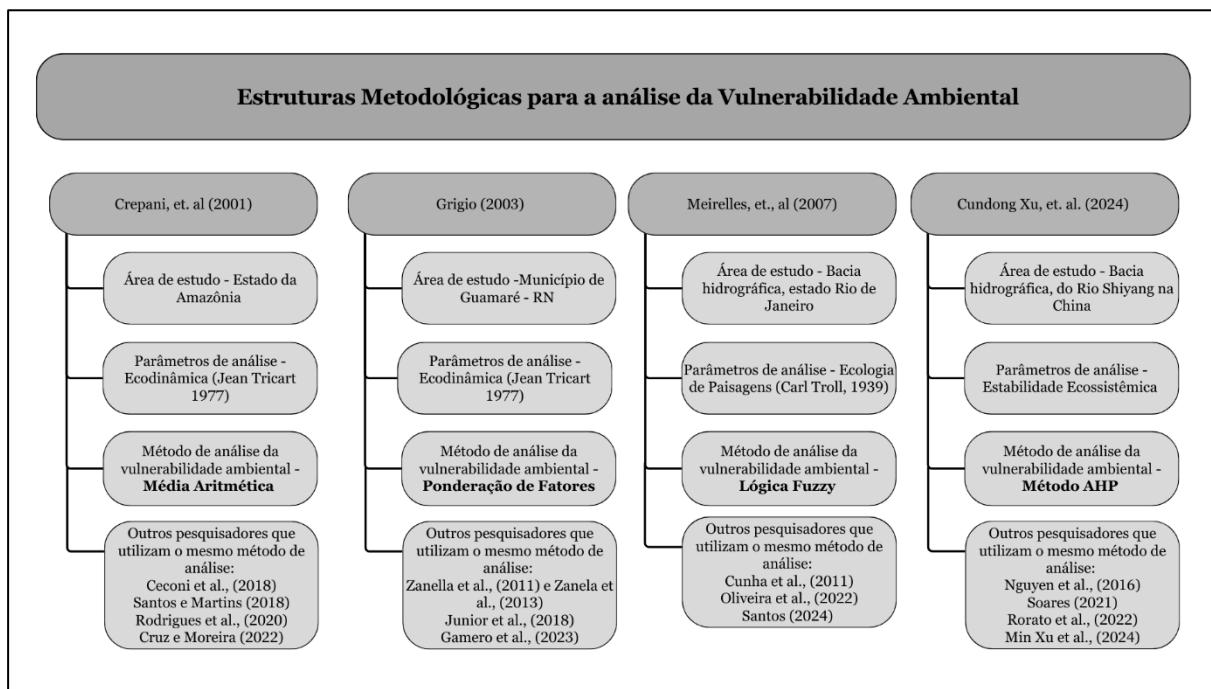
A partir da metodologia aplicada destaca-se os elementos cruciais que impactaram a vulnerabilidade da área estudada foram a temperatura da superfície, o uso da terra, a precipitação mensal, o PIB e a cobertura vegetal, porém os autores ressaltam que cada ano analisado obteve influenciadores diferentes para a vulnerabilidade, como o ano de 2000 onde os influenciadores foram calor/ umidade/secura; e no ano de 2016 foram calor/secura/umidade. Assim destaca-se que os fatores que influenciaram negativamente a vulnerabilidade no ano x, pode não ser a de maior influência no ano y.

Discussões

As metodologias abordadas, trazem focos de análises e abordagens metodológicas diferenciadas, com parâmetros de análises que permeiam entre a Ecologia de Paisagem de Carl Troll (1939) e a Ecodinâmica de Jean Tricart (1977). Os sistemas ambientais analisados são variados, Crepani, et al., (2001) desenvolveram sua metodologia para os estados da Amazônia Legal, Grigio (2003) analisa a vulnerabilidade ambiental do município de Guamaré no Rio Grande do Norte; Meirelles, et.al. (2007), desenvolvem o estudo para a Bacia Hidrográfica da Baia Sepetiba, no Rio de Janeiro; Cundong Xu, et. al. (2024) realizam seus estudos na Bacia Hidrográfica do Rio Shiyang na China; conforme demonstrado na figura (2), adotando também parâmetros particulares as áreas de estudos e procedimentos metodológicos que melhor atenderam as demandas analisadas, como por exemplo a aplicação de Lógica Fuzzy que

simplificadamente, lida com valores verdadeiros e falsos utilizando uma variação de 0 a 1 para valores de pertinência, amplamente utilizada em Inteligência Artificial, para tomada de decisões. Outros métodos também são discutidos pelos autores citados acima e reaplicado por diversos pesquisadores, o que indica uma ampla variedade de aplicação de métodos e uma adaptabilidade dos parâmetros de análises da vulnerabilidade ambiental.

Figura 2: Estruturas Metodológicas para a análise da Vulnerabilidade Ambiental



Fonte: Os autores (2025).

Conforme Girão, et al., (2018), uma área de estudo possui inevitavelmente características naturais, reflexo dos elementos dominantes no ato de sua gênese, ou um processo de formação, modelagem e transformação. Para os autores, diagnosticar uma área significa descrever suas particularidades e entender o processo que resultou em suas modificações, considerando que a instabilidade do meio pode existir independentemente do uso humano. Porém o uso e ocupação antrópica é capaz de acentuar e gerar maiores instabilidades, levando ao processo de vulnerabilidade.

As metodologias apresentadas no tópico anterior, buscam em comum solucionar problemas ambientais encontrados nas áreas de estudo, sendo eles: poluição de rios provenientes de efluentes industriais e agrícolas; impacto das atividades econômicas e aumento da densidade populacional; processos erosivos em linhas de costa e processos de perda de solo. Nesse sentido conforme Aquino (2017), a vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é incapaz de lidar com os efeitos das interações externas.

Ao se admitir as influências antropogênicas como um fator decisivo nas análises da vulnerabilidade ambiental, as mudanças de uso e ocupação do solo, constituem passos fundamentais na dinâmica da paisagem, Cundong, Xu et al. (2024), enfatizam a importância das análises pretéritas do uso e ocupação do solo, para entender e determinar a vulnerabilidade de um sistema ambiental.

A detecção das mudanças de uso e cobertura do solo e o reconhecimento da atuação das forças dirigentes das mudanças constituem passos fundamentais nos estudos da dinâmica da paisagem e da vulnerabilidade ambiental (Lambin; Geist 2006). A transformação da paisagem é moldada pelo fator antrópico, quando há o desmatamento, um cultivo intenso sem uma

rotatividade ou preparação adequada do solo, intensificação pecuária, urbanização desordenada, alterações intensas no regime hídrico seja para abastecimento ou irrigação; redefinindo diretamente os níveis de vulnerabilidade ambiental.

Autores como Cruz e Moreira (2022) por exemplo utilizam da metodologia proposta por Crepani et al., (2001) para análises da vulnerabilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG; Siqueira (2016) realizou uma análise da vulnerabilidade nas Áreas de Proteção Ambiental no Rio Uberaba; Junior e Rodrigues (2016), utilizam o método de análise hierárquica de processo para a determinação da vulnerabilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Piedade – MG.

Consequentemente uma metodologia para analisar a vulnerabilidade ambiental se adequando às particularidades dos sistemas ambientais, se faz necessário. As análises de uso e ocupação do solo, de forma a moldar as particularidades e intensificação de processos que acarretam uma vulnerabilidade também se faz necessário uma vez que este parâmetro pode ser analisado em seu pretérito, obtendo informações valiosas de como uma paisagem se transformou de estável, para vulnerável.

Desenvolvimentos recentes em análise espacial mostram que a Inteligência Artificial (IA) oferece novas oportunidades de análises em relação a adequações e ao planejamento ambiental. Definida de forma ampla, a IA inclui técnicas computacionais modernas que podem ajudar a modelar e descrever sistemas complexos para interferência e tomada de decisões. Dessa forma a inserção das IA's, nos estudos e análises geográficas podem ser de grande ajuda na promoção de serviços ambientais, uma vez que como uma ferramenta de análise facilita a detecção de ambientes mais vulneráveis ou que poderão apresentar vulnerabilidades.

Autores como; Fleck et. al. (2016), Sporl, et. al. (2011), Houet et. al. (2010), Paegelow; Camacho (2008), Meirelles, et.al. (2007), Turner et. al. (2007), entre outros, defendem o uso das inteligências artificiais como uma solução metodológica ampla para o estudo da dinâmica das paisagens, podendo detectar mudanças ocorridas e simular um estado futuro desta paisagem.

Sotchava (1976), afirma que as prognoses geográficas representam a elaboração de ideias sobre sistemas geográficos naturais do futuro. Dando o sentido da evolução de um sistema ambiental segundo uma dinâmica de substituição de uma variável por outra, ressaltando que frequentemente resulta da influência antrópica. Nessa perspectiva, a modelagem preditiva, permite observar a forma que os agentes modificadores interagem entre si, prevendo comportamentos futuros dessa interação. Tal conceito possui várias aplicações e finalidades, principalmente ao se tratar de dinâmicas da paisagem e suas vulnerabilidades, uma vez que é uma técnica dinâmica e aplicável em diversas situações.

Considerando os parâmetros de análises da vulnerabilidade interconectados à paisagem, e através da noção dinâmica, é possível simular uma mudança futura, observando que simular não é prever o futuro, mas sim predizer um estado possível de vulnerabilidade ambiental em um cenário da paisagem. Houet et. al. (2010), afirmam que, portanto, a projeção de paisagens futuras, requer a consideração das tendências passadas, processos atuais de mudanças do uso e ocupação do solo e a incorporação de cenários plausíveis por intermédio da análise atual da vulnerabilidade ambiental.

Considerações Finais

Entender o conceito multifacetado da vulnerabilidade ambiental, é entender que uma unidade de paisagem pode ser vulnerável simplesmente devido a arranjos naturais, ou que essa mesma unidade de paisagem pode vir a ser extremamente vulnerável, devido a alterações na sua dinâmica, provocada pelos seres humanos.

A tentativa de modelar, quantificar, analisar e interpretar as mudanças ocorridas na dinâmica da paisagem ganha foco em pesquisas, principalmente com a introdução de novas

tecnologias, para a representação do meio, abrindo possibilidades de adoção de diferentes metodologias, principalmente gráficas, além da rápida integração e atualização das informações.

O comportamento das variáveis diante os mecanismos que atuam na vulnerabilidade de um sistema ambiental, é um reflexo direto das dinâmicas pretéritas em seus erros e acertos. E se, o presente for uma consequência de uma dinâmica pretérita, o futuro será uma consequência da dinâmica do presente?

Esse questionamento remete à um vetor de transformação da realidade possibilitado pela ciência, em especial à ciência geográfica, podendo estabelecer com um nível de exatidão sobre a real inferência do homem na paisagem ao longo dos anos.

Portanto não adianta corrigir o passado e muito menos desvendar o futuro. O indicado é fazer do presente uma correção do passado e um plantio para o futuro. A construção de cenários futuros da vulnerabilidade ambiental proporciona à sociedade uma interação com os problemas ambientais atuais e que, no futuro, poderão ser evitados, apontando focos de prioridades de planos e manejos de uso adequado.

O principal desafio contemporâneo da vulnerabilidade ambiental, é uma metodologia adaptativa e representativa dos diversos sistemas ambientais, levando em consideração suas particularidades. O uso das inteligências artificiais, em especial o aprendizado de máquinas pode solucionar esse desafio, uma vez que por meio desta pode-se utilizar várias representações do meio em diferentes ordens de grandeza da realidade, excluindo a subjetividade de análise.

Referências

- ADORNO, R. de C. F. *Os jovens e sua vulnerabilidade social*. 1. ed. São Paulo: AAPCS – Associação de Apoio ao Programa Capacitação Solidária, 2001.
- AMADOR, M. B. M.; CORRÊA, A. C. de B. Resgate da abordagem Ecodinâmica de Jean Tricart, a partir de sua aplicabilidade aos estudos agroecológicos e de gestão ambiental. *OLAM – Ciência & Tecnologia*, Rio Claro/SP, v. 7, n. 3, p. 210, dez. 2007.
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. *Vulnerabilidade ambiental*. São Paulo: Blucher, 2017.
- CARPI JR., S.; DAGNINO, R. S. *Risco e vulnerabilidade ambiental: métodos e experiências*. 1. ed. Tupã: ANAP, 2020.
- CHRISTOFOLLETTI, A. *Modelagem de sistemas ambientais*. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.
- CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, n. 93, 2011. Disponível em: <http://journals.openedition.org/rccs/165>. Acesso em: 20. Jan. 2025.
- CREPANI, E. et al. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.
- DIAMOND, J. *Colapso: como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso*. 5. ed. Tradução de Alexandre Raposo. Revisão técnica de Waldeck Dié Maia. Rio de Janeiro: Record, 2007.

DO VALE, C. C. Teoria geral dos sistemas: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem. *Entre-Lugar*, Dourados, MS, ano 3, n. 6, p. 85–108, 2. sem. 2012.

EMBRAPA. *Análise da vulnerabilidade ambiental*. Fortaleza, CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: riscos socioambientais, vulnerabilidade e suscetibilidade. *Revista Regne*, v. 4, 2018.

GRIGIO, A. M. Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera. 2003. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2003.

HOUET, T. et al. Exploring subtle land use and land cover changes: a framework for future landscape studies. *Landscape Ecology*, v. 25, p. 249–266, 2010.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J. *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Global Change – The IGBP Series. Springer, 2006.

MACIEL, A. B. C.; LIMA, Z. M. C. O conceito de paisagem: diversidade de olhares. *Sociedade e Território*, Natal, v. 23, n. 2, p. 159–177, jul./dez. 2011.

MEIRELLES, M. S. P. et al. Métodos de inferência geográfica: aplicação no planejamento regional, na avaliação ambiental e na pesquisa mineral. In: MEIRELLES, M. S. P. *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília: Embrapa, 2007. p. 283–386.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*, v. 1, 2001. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/abstract?thematic-review+BN00701122001>. Acesso em: 15. Jan. 2025.

PAEGELOW, M.; CAMACHO, M. T. O. *Modelling environmental dynamics: advances in geomatic solutions*. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 390 p.

PASSOS, M. M. dos. *Biogeografia e paisagem*. 2. ed. Maringá: [s.n.], 2003.

PEDROZA, A. S; SOUZA, R. C. As unidades de paisagem no Triângulo Mineiro: “Desaparecimento” da paisagem Cerrado. *Caderno de Geografia*, v.24, número especial (1), 2014.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 14, p. 69–77, 2001.

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

SANTOS, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. *Mercator*, v. 14, n. 2, p. 75–90, 2015.

SIMÕES, J. F.; SOARES, L. G.; SANTOS, D. C. A. Jean Tricart e os caminhos metodológicos para a Geografia Física. *Geopauta*, v. 7, 2023.

SCHIER, R. A. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. *R. RA'E GA*, Curitiba, n. 7, p. 79–85, 2003.

SOTCHAVA, V. B. O estudo do geossistema. In: Série Métodos em Questão. São Paulo: Instituto Geográfico do Estado de São Paulo, 1978. p. 1–51.

TRAN, L. T. et al. Environmental assessment: fuzzy decision analysis for integrated environmental vulnerability assessment of the Mid-Atlantic region. *Environmental Management*, v. 29, n. 6, p. 845–859, 2002.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TRICART, J. Paisagem e ecologia. In: Inter-facies. São José do Rio Preto: IBILCE-UNESP, n. 76, 1982.

TURNER, B. L. II; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PNAS*, v. 104, n. 52, p. 206–271, 2007.

VILLA, F.; MCLEOD, H. Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: guidelines and applications. *Environmental Management*, v. 29, n. 3, p. 335–348, 2002.

VITTE, A. C.; SILVEIRA, R. W. D. Considerações sobre os conceitos de natureza, espaço e morfologia em Alexander von Humboldt e a gênese da geografia física moderna. In: História, Ciências, Saúde – *Manguinhos*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 607–626, jul.–set. 2010.

VITTE, A. C.; SPRINGER, K. S. A ciência humboldtiana: sensibilidade e mensuração na gênese da geografia física. *Geoambiente Online*, Jataí – GO, n. 16, jan.–jun. 2011.

XU, Cundong et al. Spatiotemporal variations of eco-environmental vulnerability in Shiyang River Basin, China. *Ecological Indicators*, v. 158, p. 111327, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111327>.

YUNES, M. A. M.; SZYMANSKI, H.; TAVARES, J. Resiliência: noção, conceitos afins e considerações críticas. *Resiliência e Educação*, v. 2, p. 13–43, 2001.

ZANELLA, M. E. et al. Vulnerabilidade socioambiental de Fortaleza. In: DANTAS, E. W. C.; COSTA, M. C. L. (Org.). *Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Fortaleza*. Fortaleza: Edições UFC, 2009. Disponível em: <http://www.ppggeografia.ufc.br/images/vulnerabilidadesocioambiental.pdf>. Acesso em: 13. Jan. 2025.

ZIELINSKI, J. Watershed vulnerability analysis. *Center for Watershed Protection*, 2002. Disponível em: <http://www.cwp.org>. Acesso em: 11 fev. 2025.

ZONNEVELD, I. S. Land evaluation and land(scape) science. In: *Textbook of Photointerpretation: use of aerial photographs in geography and geomorphology*, v. 7. Enschede: ITC, 1972.

Recebido em: 02/06/2025.
Aprovado para publicação em: 21/11/2025.