

O USO DE GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE CAICÓ – RN, SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Raila Mariz **Faria**¹, Rebecca Luna **Lucena**², Sara Fernandes Flor de **Souza**³

1 – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), railafaria@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3049-2363>; 2 – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), rebecca.luna@ufrn.br, <https://orcid.org/0000-0003-4670-265X>; 3 – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), sara.flor@ufrn.br, <https://orcid.org/0000-0001-6829-3434>

Resumo: Caicó, município situado no semiárido do Rio Grande do Norte, destaca-se por sua relevância ambiental e socioeconômica na região do Seridó Potiguar. Sua ocupação territorial, associada ao avanço da pecuária desde os períodos coloniais e ao manejo inadequado da cultura do algodoeiro ao longo do século XX, promoveu transformações que, combinadas às fragilidades naturais do meio, contribuíram para diferentes graus de degradação ambiental. Diante desse contexto, o presente estudo realizou o mapeamento da vulnerabilidade ambiental do município por meio de uma abordagem integrada, considerando os componentes da geologia, geomorfologia, solos, clima e vegetação. A análise revelou que 75% do território apresenta condição estável, 22% corresponde a áreas com vulnerabilidade intermediária e apenas 1% é classificado com alta vulnerabilidade, concentrando-se principalmente nas margens dos rios Barra Nova e Seridó, no núcleo urbano do município. Essa abordagem se mostra essencial para o planejamento ambiental, funcionando como uma ferramenta estratégica na definição de alternativas sustentáveis de uso e cobertura da terra.

Palavras-chave: análise espacial, análise integrada, variáveis ambientais.

THE USE OF GEOTECHNOLOGIES IN THE ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL VULNERABILITIES: A CASE STUDY IN THE MUNICIPALITY OF CAICÓ – RN, BRAZILIAN SEMIARID

Abstract: Caicó, municipality localized in semiarid of Rio Grande do Norte, stands out in its environmental relevance and socioeconomic in the region of Seridó Potiguar. Its territorial occupation, associated with the expansion of livestock farming since the colonial period and the inadequate management of cotton cultivation throughout the 20th century, promoted transformations which, combined with natural fragilities of the environment, contributed to different municipality environmental degradation levels. From this context, the present study has accomplished the mapping of municipality environmental vulnerability through an integrated approach, considering the components of geology, geomorphology, soils, climate and vegetation. The analysis has observed 75% of the territory presents stable conditions, 22% of it corresponds to the areas with intermediary vulnerability and only 1% of it is classified with high vulnerability, mainly focusing on Barra Nova and Seridó's riverbanks, in the municipality urban nucleus. This approach is essential for environmental planning, functioning as a strategy tool in the definition of land cover sustainable alternatives.

Keywords: Spatial analysis, Integrative analysis, Environmental variables.

EI USO DE GEOTECNOLOGÍAS EN EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL: ESTUDIO DE CASO DEL MUNICIPIO DE CAICÓ – RN, SEMIÁRIDO BRASILEÑO

Resumen: Caicó, municipio ubicado en el semiárido de Rio Grande do Norte, sobresale por su relevancia ambiental y socioeconómica en la región del Seridó Potiguar. Su ocupación territorial, asociada al avance de la pecuaria desde los periodos coloniales y al manejo inadecuado de la cultura del algodón alrededor del siglo XX, promovió transformaciones que, combinadas a las fragilidades naturales del medio, contribuyeron para diferentes grados de degradación ambiental. Delante de ese contexto, el presente estudio ha realizado la mapeamiento de la vulnerabilidad ambiental del municipio por medio de un abordaje integrada, considerando los componentes de la geología, geomorfología, suelos, clima y vegetación. El análisis ha constatado que 75% del territorio presenta condiciones estables, 22% corresponde a las áreas con vulnerabilidad intermediaria y apenas 1% es clasificado con alta vulnerabilidad, concentrándose principalmente en las márgenes de los ríos de Barra Nova y Seridó, en el núcleo urbano del municipio. Ese abordaje se muestra esencial para el planeamiento ambiental,

funcionando como una herramienta estratégica en la definición de alternativas sustentables del uso y la cobertura terrestre.

Palabras-clave: análisis espacial, análisis integrado, variables ambientales.

Introdução

No contexto ambiental, "o conceito de vulnerabilidade está associado à dificuldade que um ecossistema apresenta para responder e se manter frente a fatores de estresse que variam espacial e temporalmente (Williams & Kapustka, 2000)". Sob essa perspectiva, torna-se essencial compreender de que maneira os distintos ambientes naturais reagem, respondem e se recuperam diante de perturbações de diferentes naturezas, uma vez que essa compreensão contribui para a formulação de estratégias mais eficazes de gestão e conservação.

No caso do semiárido brasileiro, essa discussão assume especial relevância em razão da complexidade de suas dinâmicas ambientais. Com área de 1.335.298 km² (Instituto Nacional do Semiárido [INSA], 2024), essa região caracteriza-se pela elevada variabilidade climática, pela predominância de solos rasos e pela forte influência das atividades humanas sobre a organização da paisagem (Ab'Sáber, 2003). A Caatinga, bioma predominante nesse domínio, apresenta elevado grau de modificação decorrente das ações antrópicas, com cerca de 66% de sua área já alterada, sendo 25,6% dessas transformações registradas nas últimas quatro décadas (Cantalice *et al.*, 2025). Esse processo encontra-se associado a ciclos históricos de uso da terra, como a pecuária, o extrativismo e a agricultura, que contribuíram para o desequilíbrio ambiental e para a intensificação de processos como a desertificação, em estreita relação com as condições climáticas do semiárido (Santos & Pacheco, 2017; Silva *et al.*, 2023).

Nesse cenário, o uso de produtos de sensoriamento remoto e de técnicas de análise espacial em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem se consolidado como importante suporte metodológico para a avaliação das condições ambientais e dos processos de degradação, inclusive em áreas semiáridas (Crepani *et al.*, 2001; Costa *et al.*, 2009; De Paula & De Souza, 2011; Aquino *et al.*, 2017; Santos & Martins, 2018; Leal *et al.*, 2019; Peterle Ribeiro *et al.*, 2022; Mattedi *et al.*, 2024). As geotecnologias ampliam as possibilidades de análise integrada do território ao permitirem o cruzamento de diferentes variáveis ambientais, a espacialização de padrões e a identificação de áreas mais suscetíveis a processos de degradação, oferecendo, assim, subsídios relevantes para o planejamento e a gestão territorial.

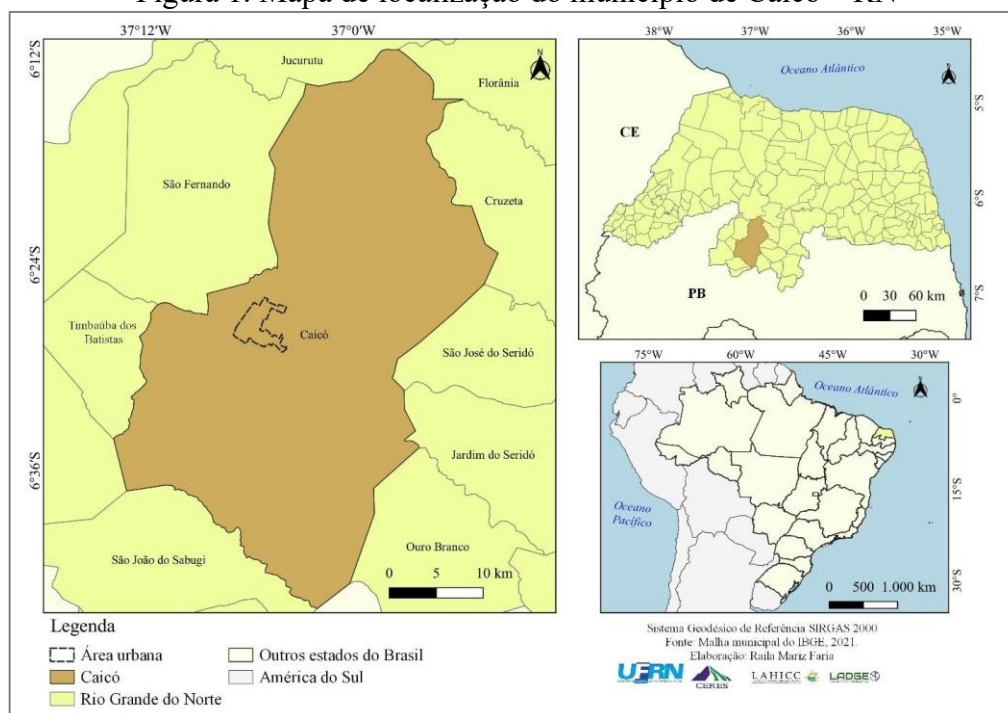
Diante disso, este trabalho tem como objetivo elaborar o mapeamento da vulnerabilidade ambiental do município de Caicó, no semiárido do estado do Rio Grande do Norte, por meio de uma abordagem integrada que considera os componentes da geologia, geomorfologia, solos, clima e vegetação. Parte-se do entendimento de que a vulnerabilidade ambiental não decorre exclusivamente dos condicionantes naturais, mas resulta da interação entre esses fatores e a intensidade das intervenções antrópicas. Nessa perspectiva, busca-se compreender como essa relação se expressa na distribuição espacial da vulnerabilidade no município.

Materiais e Métodos

Área de Estudo

O município de Caicó, localizado no semiárido do Nordeste brasileiro (INSA, 2024), no estado do Rio Grande do Norte (Figura 1), possui uma população de 61.146 habitantes e área de 1.228,584 km² (IBGE, 2022). Destaca-se como o principal município da microrregião do Seridó Potiguar, concentrando atividades relacionadas aos setores de saúde, educação, comércio e prestação de serviços (Morais & Araújo, 2006).

Figura 1. Mapa de localização do município de Caicó – RN



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Inserido no domínio morfoclimático da Caatinga, o município caracteriza-se por clima semiárido, marcado por elevados índices de evapotranspiração potencial (Silva *et al.*, 2022), presença de cursos d'água intermitentes e predominância de solos rasos e pedregosos, como Luvisolos e Neossolos Litólicos, frequentemente submetidos a processos de degradação erosiva. Esses solos recobrem uma extensa superfície erosiva rebaixada, pontuada por relevos residuais e afloramentos rochosos (Ab'Sáber, 2003). No que se refere ao uso da terra, observa-se uma ampla ocupação por atividades agropecuárias, com destaque para a pecuária extensiva envolvendo rebanhos ovinos, caprinos e bovinos, além do cultivo de feijão, milho, batata-doce e hortaliças (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais [CPRM], 2005).

A cobertura vegetal é composta predominantemente por Caatinga Subdesértica, caracterizada por arbustos e árvores de pequeno porte, distribuídos de forma esparsa e com elevado grau de adaptação às condições de aridez. Contudo, parcela significativa dessa vegetação nativa foi suprimida ao longo do tempo em função de diferentes ciclos econômicos, como a pecuária presente desde o final do século XVII, o ciclo do algodão, intensificado a partir do final do século XIX e em declínio na década de 1970, além de atividades como a mineração e a indústria cerâmica (Pereira Neto & Fernandes, 2015).

O regime climático apresenta precipitações irregulares, com médias anuais variando entre 500 e 700 mm, evidenciando elevada variabilidade temporal e espacial, bem como forte concentração das chuvas em poucos meses do ano, sobretudo entre fevereiro e maio. As temperaturas mantêm-se elevadas ao longo de todo o ano, com médias em torno de 30 °C, máximas próximas de 35 °C e mínimas em torno de 24 °C (Lucena *et al.*, 2018; Cabral Júnior & Lucena, 2020).

Metodologia

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi estruturado um banco de dados composto por informações relativas às variáveis ambientais da área de estudo, obtidas gratuitamente em plataformas de órgãos oficiais. Foram utilizados dados de malhas territoriais e solos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2018), informações geológicas (CPRM, 2005), imagens de satélite provenientes da plataforma Earth Explorer para análise do uso e cobertura da terra, dados de radar para a derivação da declividade por meio do projeto Topodata (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [INPE], 2011), além de dados pluviométricos disponibilizados

pelo Instituto Nacional de Meteorologia [INMET] (2019). O processamento dos dados e a elaboração dos produtos cartográficos foram realizados por meio de técnicas de geoprocessamento, utilizando o software QGIS, versão 3.22.

Neste estudo, adotou-se a metodologia proposta por Crepani *et al.* (1996, 2001), fundamentada na integração de variáveis ambientais representativas da dinâmica da paisagem, como geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima. Essa proposta parte do pressuposto de que a vulnerabilidade ambiental resulta do grau de estabilidade ou instabilidade desses componentes frente aos processos de pedogênese e morfogênese, possibilitando a espacialização de áreas com diferentes níveis de vulnerabilidade (Tabela 1). Para sua aplicação, foram realizadas adaptações às condições específicas do semiárido, com o objetivo de melhor representar a realidade local.

Tabela 1. Classes de vulnerabilidade das categorias morfodinâmicas

Unidades Morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

De modo geral, as adaptações realizadas na metodologia de Crepani *et al.* (1996, 2001) justificam-se pelas especificidades ambientais do semiárido de Caicó, especialmente quanto à classificação da cobertura vegetal. Essas modificações consideram as particularidades da Caatinga e a variabilidade espectral do índice de vegetação (NDVI) em ambientes secos, além de promoverem o ajuste dos intervalos de classes para melhor representar as condições locais de uso e ocupação do solo.

Foram atribuídos pesos equivalentes às variáveis ambientais, de modo que os componentes da paisagem fossem analisados de forma integrada e com igual relevância na determinação da dinâmica da vulnerabilidade. Essa escolha fundamenta-se na perspectiva sistêmica da análise ambiental, na qual nenhuma variável é considerada isoladamente mais determinante, permitindo uma avaliação mais equilibrada do conjunto de fatores envolvidos.

A metodologia baseia-se no cruzamento dos mapas temáticos de geologia, geomorfologia, solos, clima e vegetação, por meio da álgebra de mapas (Equação 1). Essa abordagem compreende um conjunto de procedimentos voltados à análise espacial de dados geográficos, incluindo etapas como reclassificação, intersecção, aplicação de operações booleanas e matemáticas entre camadas, além da consulta ao banco de dados (Câmara *et al.*, 2001).

Equação 1: $V = (G + R + S + C + Ve) / 5$

V = vulnerabilidade; G = geologia; R = geomorfologia (declividade); S = solo; C = clima (intensidade pluviométrica); Ve = vegetação/ uso da terra.

A integração dessas variáveis possibilita a identificação de unidades espaciais com diferentes graus de vulnerabilidade ambiental, permitindo reconhecer áreas mais estáveis e áreas mais suscetíveis à degradação. Em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), essa metodologia favorece a espacialização e a síntese cartográfica dos dados, constituindo importante suporte para análises ambientais e para o planejamento territorial (Nascimento & Loverde-Oliveira, 2024).

Foram elaborados mapas temáticos para cada variável analisada, assim como um mapa síntese obtido por meio da aplicação de álgebra de mapas em ambiente SIG (Tomlin, 1990). Cada componente da paisagem foi representado como um plano de informação, organizado em formato matricial ou vetorial no banco de dados.

Na representação cartográfica, utilizou-se uma escala cromática em que cores quentes (vermelho, amarelo e laranja) indicam áreas de maior vulnerabilidade, associadas a condições de alerta, enquanto cores frias (azul e verde) representam cenários de maior estabilidade ambiental. Essas classes foram distribuídas em 21 níveis de vulnerabilidade à perda de solo (Figura 2), organizadas em um gradiente contínuo que varia desde o predomínio dos processos de pedogênese, com valores próximos de 1,0, passando por condições intermediárias, em torno de 2,0, até o predomínio dos processos de morfogênese, com valores próximos de 3,0.

Figura 2. Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4	V	2,7			255	153	0	
U5	U	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5	E		255	255	0	
U7	N	2,4	S		204	255	0	
U8	E	2,3	T		153	255	0	
U9	R	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1	B		51	255	0	
U11	B	2,0	I		0	255	0	
U12	I	1,9	L		0	255	51	
U13	L	1,8	I	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7	D		0	255	153	
U15	D	1,6	A		0	255	204	
U16	A	1,5	D		0	255	255	
U17	D	1,4	E	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3			0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0	↓		0	0	255	

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Vulnerabilidade do tema Geologia (G)

O município de Caicó insere-se geologicamente na Província Borborema, nos limites do Domínio Rio Piranhas-Seridó, mais especificamente no Complexo Caicó, de idade Proterozoica, com aproximadamente 2,5 bilhões de anos (CPRM, 2005). Para a caracterização geológica, foram utilizados dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2005), na escala de 1:250.000, referentes à folha Caicó (SB.24-Z-B-I). Na análise, foram atribuídos graus de vulnerabilidade baseados nas informações relativas à origem e à evolução geológica do ambiente, bem como no grau de coesão das rochas que compõem cada unidade.

As principais unidades estratigráficas identificadas compreendem o Complexo Caicó (63%), constituído majoritariamente por ortognaisses dioríticos a graníticos, com grau de vulnerabilidade variando entre 1,3 e 2,3; a Suíte Intrusiva Poço da Cruz (18%), formada por augen-gnaisses graníticos e leucoortognaisses quartzo monzoníticos a graníticos, com vulnerabilidade de 1,3; a Formação Jucurutu (8,6%), composta por gnaisses, mármore e rochas calcissilicáticas, apresentando valores de vulnerabilidade entre 1,7 e 2,3; e o Complexo Serra dos Quintos (5,3%), constituído por xistos, gnaisses, mármore, rochas metamórficas e metaultramáficas, com grau de vulnerabilidade de 1,3 (Tabela 2).

Tabela 2. Unidades litoestratigráficas do município de Caicó – RN e seu grau de fragilidade

Unidades litoestratigráficas	Vulnerabilidade	Área (ha)	%
Complexo Caicó	1,8	33644	27,5
Complexo Caicó (Unid. Anfibolito)	1,8	2560	2,1
Complexo Caicó (Unid. Leucortognaisse)	1,3	2018	1,6
Complexo Caicó (Unid. Mármore)	2,3	430	0,4
Complexo Caicó (Unid. Metavulcanosedimentar)	2,3	6110	5,0
Complexo Caicó (Unid. Ortognaisse)	1,3	30349	24,8
Depósitos aluvionares	3	429	0,4
Depósitos colúvio-eluviais	3	213	0,2
Formação Equador	1	47	0,0
Formação Jucurutu	1,7	6727	5,5
Formação Jucurutu (Unid. Mármore)	2,3	3788	3,1
Formação Jucurutu (Unid. Metacherte)	1,7	98	0,1
Formação Seridó	2,3	889	0,7
Formação Serra dos Quintos	1,3	6505	5,3
Granitoides indiscriminados	1,2	1788	1,5
Quartzito São Fernando	1,7	483	0,4
Suíte Intrusiva São João do Sabugi	1,2	3809	3,1
Suíte Intrusiva Poço da Cruz	1,3	22404	18,3
Suíte Intrusiva Dona Inês	1,2	259	0,2

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (1996).

Vulnerabilidade do tema Geomorfologia (R)

Foram utilizadas imagens disponibilizadas pelo projeto Topodata (INPE), com resolução espacial de 30 metros, para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE). A partir desse modelo, realizou-se a reclassificação em classes de declividade (Tabela 3), posteriormente convertidas para o formato vetorial, a fim de possibilitar a atribuição dos valores de vulnerabilidade. Nessa etapa, os dados morfométricos, especialmente a declividade, foram considerados como parâmetros fundamentais na determinação do índice de vulnerabilidade.

Tabela 3. Classes de declividade com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade

Classes Morfométricas	Declividade (%)	Vulnerabilidade
Muita Baixa	< 2	1,0
Baixa	2 – 6	1,5
Média	6 – 20	2
Alta	20 – 50	2,5
Muita alta	> 50	3

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Vulnerabilidade do tema Solos (S)

Para a caracterização dos solos, foram utilizados dados do Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil, na escala de 1:250.000, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018). De acordo com Crepani *et al.* (2001), a vulnerabilidade dos terrenos à erosão está diretamente relacionada ao tipo de solo, sendo determinada a partir de suas características intrínsecas, como textura, estrutura, composição química, espessura e relação textural entre os horizontes ou camadas. Assim, o grau de vulnerabilidade foi atribuído de acordo com as classes de solos identificadas (Tabela 4).

Tabela 4. Classes de solos do município de Caicó – RN, com seus respectivos valores de vulnerabilidade

Classes de Solos	Vulnerabilidade	Área (ha)	Área %
Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe)	2	5976	5
Neossolo Litólico Eutrófico (RLe)	3	24079	18
Luvissolo Crômico Órtico (TCo)	2	88553	72

Fonte: IBGE (2018) e Crepani *et al.* (2001).

Vulnerabilidade do tema Clima (C)

A utilização dos dados pluviométricos referentes ao ano de 2019 justifica-se pela compatibilidade com os dados empregados na análise da vegetação/uso da terra. Embora o uso de um único ano não contemple a variabilidade interanual característica do semiárido, sua

adoção permitiu a padronização temporal entre as variáveis analisadas, garantindo coerência metodológica na aplicação do modelo.

De acordo com a estação do INMET localizada no município de Caicó, a precipitação registrada no ano de 2019 foi de 856,4 mm, valor superior à média da normal climatológica (629 mm), representando um excedente de 227,4 mm. Esse comportamento indica um ano mais chuvoso em relação ao padrão histórico da região. A vulnerabilidade climática foi, então, estimada a partir da intensidade pluviométrica (Equação 2), conforme proposto por Palmeira (2004), sendo os valores obtidos em mm/mês posteriormente classificados segundo os critérios estabelecidos por Crepani *et al.* (2001).

Equação 2: $IP = P / (NDC / 30)$

IP = intensidade pluviométrica; P = precipitação anual; NDC = número de dias com chuva no ano.

Vulnerabilidade para o tema Vegetação/Uso da Terra (V)

Na análise da vegetação/uso da terra (Tabela 5), utilizou-se a fusão e interpretação de imagens multiespectrais (órbitas/pontos 215/064 e 215/065) do satélite Landsat 8 TM (Thematic Mapper), datadas de 19 de agosto de 2019, com resolução espacial de 30 m. A partir dessas imagens, realizou-se o cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Esse índice, amplamente utilizado em estudos em diferentes escalas (Huang *et al.*, 2021), foi proposto por Rouse *et al.* (1974) e permite avaliar a condição da vegetação com base na relação entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo (Equação 3).

Equação 3: $NDVI = (\rho IV - \rho V) / (\rho IV + \rho V)$

ρV (vermelho) corresponde à banda 4 do Landsat 8; ρIV (infravermelho) corresponde à banda 5 do Landsat 8.

Antes do cálculo do NDVI, as imagens foram submetidas a correções atmosféricas e radiométricas no software QGIS, por meio da ferramenta Semi-Automatic Classification Plugin. Esse procedimento é fundamental para garantir que o índice de vegetação seja sensível à cobertura vegetal, minimizando interferências do solo, uma vez que os valores de reflectância

precisam ser previamente ajustados para assegurar maior confiabilidade nos resultados (Leblon *et al.*, 1991; Gameiro *et al.*, 2016).

Tabela 5. Distribuição dos valores de NDVI com suas respectivas áreas e o grau de vulnerabilidade no município de Caicó – RN (2019)

Intervalo de classes do NDVI	Classes de NDVI	Vul	Área (ha)	Área %	Grau de proteção
Mata ciliar	0,450 - 0,650	1,0	1700	1	Alta
Cultivos agrícolas		2,8	7100	6	Baixa
Arbórea muito densa	0,350 – 0,450	1,0	5400	4	Alta
Arbórea densa	0,320 – 0,350	1,2	7200	6	Média
Subarbórea densa	0,300 - 0,320	1,4	11300	9	
Subarbórea Arbustiva densa	0,285 - 0,300	1,6	11600	9	
Arbustiva Subarbórea densa	0,265 - 0,285	1,8	18300	15	
Arbustiva Subarbórea aberta	0,250 - 0,265	2,0	17000	14	
Arbustiva Subarbustiva aberta	0,225 - 0,250	2,2	23200	19	Baixa
Subarbustiva Arbustiva rala	0,200 - 0,225	2,4	12600	10	
Subarbustiva Arbustiva muito rala	0,150 - 0,200	2,6	2000	2	
Solo exposto	0 - 0,150	3,0	4600	4	
Corpos d'água	<0	3,0	900	1	

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (1996).

A classificação dos valores de NDVI baseou-se em uma adaptação da metodologia proposta por Francisco *et al.* (2012), justificada pela ocorrência de sobreposição espectral entre diferentes classes de uso da terra. Em alguns setores, áreas de mata ciliar e cultivos agrícolas apresentaram intervalos semelhantes de NDVI (0,450 – 0,650), além da presença de caatinga arbórea densa em áreas elevadas, especialmente nos topos de serras acima de 500 m de altitude. Essa limitação também é destacada por Chaves *et al.* (2013), que evidenciam a dificuldade de

distinção entre áreas agrícolas, pastagens e formações de Caatinga em função da similaridade das respostas espectrais.

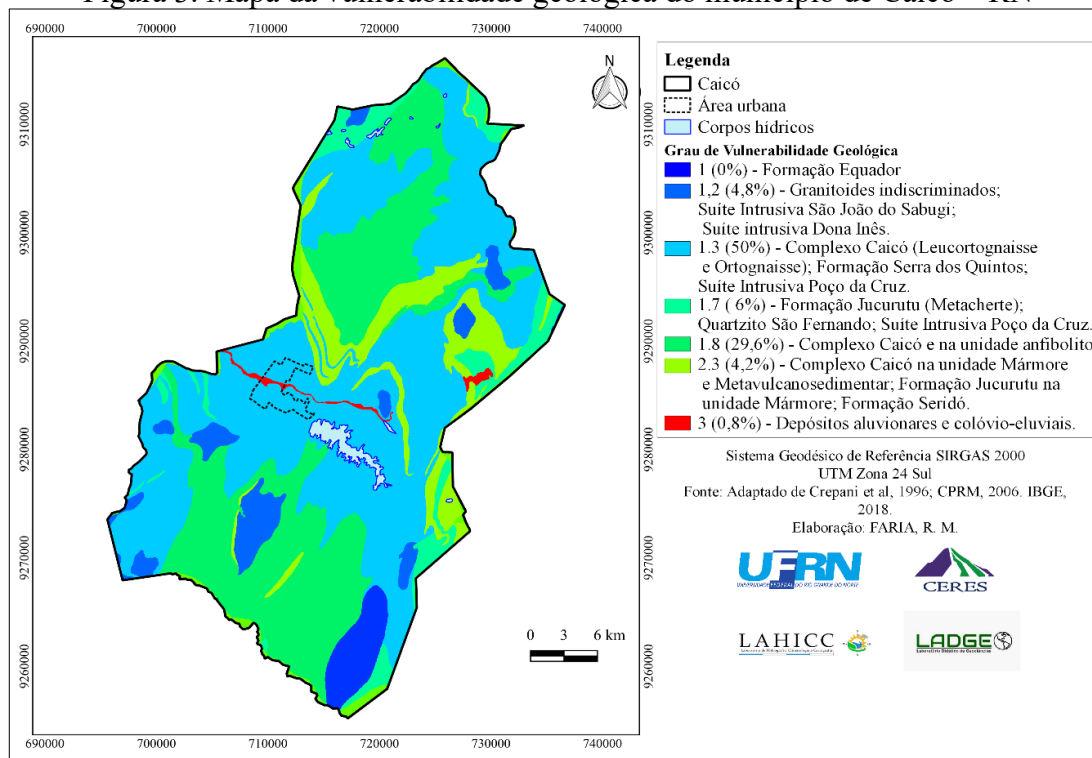
Para o estabelecimento das classes de NDVI, foi empregada a classificação supervisionada, com apoio de imagens de maior resolução espacial, como Google Earth e satélite Pléiades, possibilitando a identificação mais precisa das áreas de mata ciliar, cultivos agrícolas e formações vegetais em regiões de relevo elevado (Tabela 5).

Resultados e Discussão

O mapa de vulnerabilidade ambiental configura-se como um instrumento técnico-científico de grande relevância para o planejamento ambiental, uma vez que possibilita a avaliação integrada das potencialidades e limitações do meio físico, em consonância com suas características naturais e respectivas restrições de uso e ocupação (Costa *et al.*, 2009). Nessa perspectiva, a elaboração dos mapas temáticos de vulnerabilidade relativos à geologia, geomorfologia, solos, clima e vegetação/uso da terra, assim como do mapa-síntese de vulnerabilidade natural à perda de solos do município de Caicó, permitiu não apenas a espacialização dos distintos níveis de vulnerabilidade, mas também a identificação de áreas ambientalmente mais críticas, subsidiando a compreensão da dinâmica ambiental e apoiando a tomada de decisão no âmbito do planejamento territorial.

O mapa de vulnerabilidade geológica do município de Caicó evidencia a distribuição espacial dos distintos graus de vulnerabilidade associados às unidades estratigráficas mapeadas (Figura 3). Observa-se que as áreas de maior vulnerabilidade se concentram, sobretudo, nos depósitos aluvionares situados ao longo do leito do rio Seridó, os quais, embora correspondam a 0,4% da área total do município, apresentam elevada suscetibilidade à atuação de processos erosivos. Tal condição adquire maior relevância em razão da coincidência dessas áreas com setores urbanizados, revelando a sobreposição entre fragilidade natural e uso intensivo do solo. Essa associação tende a potencializar riscos ambientais, indicando a necessidade de maior atenção no âmbito do planejamento territorial e da gestão ambiental.

Figura 3. Mapa da vulnerabilidade geológica do município de Caicó – RN



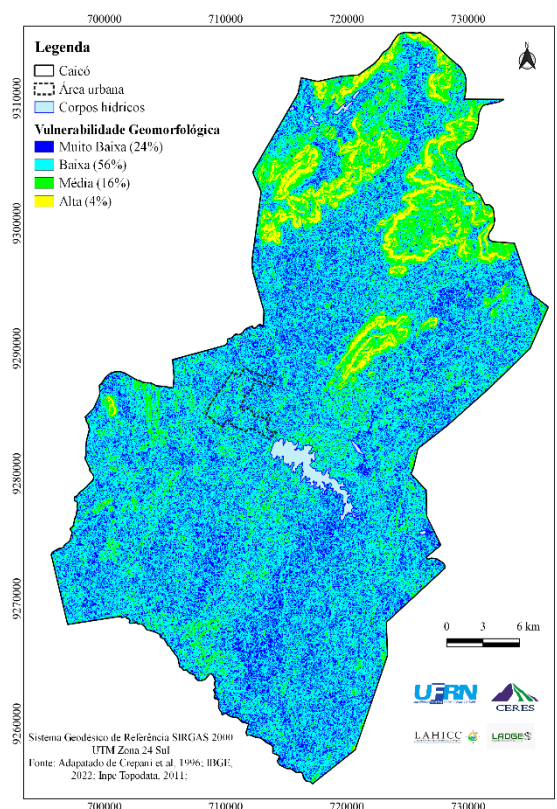
Fonte: Elaborado pelas autoras, 2022.

No que se refere à vulnerabilidade geomorfológica (Figura 4), verifica-se a predominância das classes baixa (52,5%) e muito baixa (24%), o que sugere relativa estabilidade morfodinâmica em grande parte do município. Contudo, a ocorrência das classes média (16%) e alta (4%) revela a presença de compartimentos ambientais mais sensíveis, associados, sobretudo, às áreas de maiores declividades, com destaque para as vertentes mais íngremes dos maciços residuais no entorno da Serra da Formiga e da Serra de São Bernardo (Santos & Vital, 2020). Esses setores apresentam maior suscetibilidade à intensificação de processos erosivos, especialmente quando submetidos à supressão da cobertura vegetal e a formas inadequadas de uso da terra. Desse modo, configuram-se como áreas críticas no contexto da dinâmica ambiental local, demandando atenção no planejamento territorial e na definição de medidas de conservação e manejo.

A declividade constitui um dos principais parâmetros na análise da paisagem, uma vez que influencia diretamente os níveis de estabilidade dos componentes físico-químicos e biodinâmicos, além de atuar como critério relevante na compartimentação ambiental (Francisco *et al.*, 2012). Áreas com maiores declividades tendem a apresentar maior suscetibilidade à

atuação de processos erosivos, sobretudo quando associadas à ausência de cobertura vegetal ou a usos inadequados do solo.

Figura 4. Mapa da vulnerabilidade geomorfológica do município de Caicó – RN



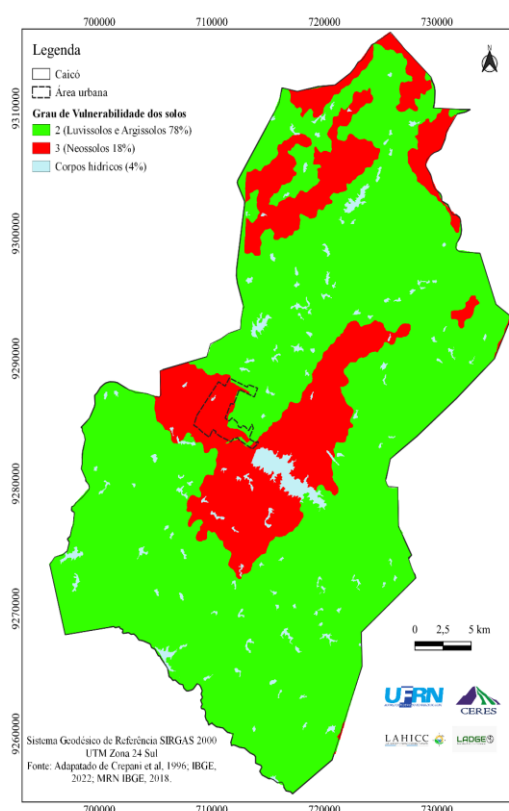
Fonte: Elaborado pelas autoras, 2022.

No que se refere à vulnerabilidade dos solos, o mapa temático evidencia a predominância dos Luvisolos, que ocupam 72% da área e apresentam grau de vulnerabilidade 2, indicando condições intermediárias de estabilidade. Os Neossolos, que correspondem a 18% da área, apresentam grau de vulnerabilidade 3, configurando as áreas mais suscetíveis à erosão, em função de sua baixa evolução pedogenética e reduzida profundidade. Já os Argissolos, com 5% de ocorrência, apresentam grau de vulnerabilidade 2, refletindo também condições intermediárias (Figura 5).

Os Neossolos caracterizam-se por serem solos pouco evoluídos, formados por material mineral ou orgânico com reduzida espessura, geralmente inferior a 20 cm, o que os torna mais vulneráveis à ação de processos erosivos, especialmente em áreas submetidas à pressão antrópica. Os Luvisolos, por sua vez, apresentam horizonte B textural com argila de alta

atividade e elevada saturação por bases, o que lhes confere maior fertilidade natural. Os Argissolos, por sua vez, apresentam maior grau de desenvolvimento pedogenético, com nítida diferenciação entre horizontes e maior profundidade, sendo frequentemente associados a ambientes mais estáveis no semiárido, onde predominam os processos de formação do solo (Santos *et al.*, 2018).

Figura 5. Mapa da vulnerabilidade dos solos do município de Caicó – RN



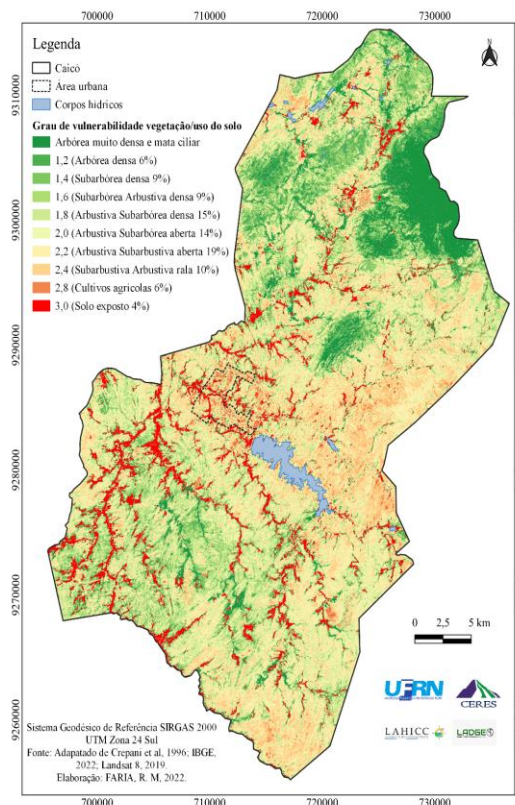
Fonte: Elaborado pelas autoras, 2022.

Dessa forma, a distribuição das classes de solos no município de Caicó evidencia que, embora haja predomínio de condições intermediárias de vulnerabilidade, a presença significativa de Neossolos constitui um fator crítico na dinâmica ambiental. Essa condição, associada às características do relevo e ao uso da terra, pode intensificar os processos de degradação, indicando a necessidade de práticas de manejo mais adequadas às especificidades de cada unidade pedológica.

Os resultados obtidos para a variável cobertura vegetal/uso da terra indicam a predominância de classes com níveis intermediários e baixos de proteção, enquanto a classe de

alta proteção representa apenas 5% da área (Figura 6). Essa classe está associada às áreas de Caatinga pouco ou não degradada, localizadas principalmente em setores topograficamente elevados, como as serras na porção norte do município. Nessas áreas, a menor intensidade de uso antrópico está relacionada, em grande parte, às limitações impostas pela declividade, que dificulta a exploração dos recursos naturais, favorecendo a manutenção da cobertura vegetal e, consequentemente, a proteção do solo. Oliveira *et al.* (2021) destacam que os relevos ondulados e com maiores valores altimétricos concentram a maior parte da vegetação de Caatinga densa no município.

Figura 6. Mapa da vulnerabilidade de vegetação/uso da terra para o município de Caicó – RN



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2022.

Entretanto, a análise do NDVI evidenciou limitações importantes na discriminação das classes de uso da terra. Em alguns setores, áreas de mata ciliar e cultivos agrícolas apresentaram intervalos semelhantes de NDVI, além da presença de caatinga arbórea densa em áreas elevadas, especialmente em topos de serras acima de 500 m de altitude. Essa sobreposição espectral compromete a distinção entre diferentes tipos de cobertura, constituindo uma

limitação inerente ao uso de índices espectrais em ambientes semiáridos. Situações semelhantes são relatadas por Chaves *et al.* (2013), que destacam a dificuldade de diferenciação entre áreas agrícolas, pastagens e formações vegetais da Caatinga, em função da similaridade nas respostas espectrais.

Dessa forma, os resultados indicam que, embora o NDVI seja uma ferramenta eficiente para a análise da vegetação, sua aplicação em ambientes semiáridos requer cautela e ajustes metodológicos, especialmente em áreas onde diferentes usos da terra apresentam respostas espectrais semelhantes. Essa condição reforça a importância da integração com outras técnicas, como a classificação supervisionada e o uso de imagens de maior resolução, a fim de aumentar a precisão na identificação das classes de cobertura vegetal.

A cobertura vegetal exerce papel determinante nos processos de perda de solo, uma vez que a densidade da vegetação está diretamente relacionada ao grau de proteção da superfície. Quanto mais densa a cobertura vegetal, menor tende a ser o impacto das gotas de chuva sobre o solo, reduzindo o escoamento superficial e, conseqüentemente, a suscetibilidade à erosão (Crepani *et al.*, 2001). Em contrapartida, a remoção dessa cobertura intensifica a ação dos agentes erosivos, favorecendo a perda de solo, além de acelerar a oxidação da matéria orgânica, o que compromete a capacidade de infiltração e de retenção de água no solo (Andrade & Oliveira, 2004).

Assim, os resultados comprovam que as áreas com menor cobertura vegetal coincidem com os setores mais vulneráveis do município, reforçando a relação direta entre uso da terra, degradação ambiental e intensificação dos processos erosivos. Esse padrão indica que a pressão antrópica, especialmente associada às atividades agropastoris, constitui um dos principais fatores de controle da vulnerabilidade ambiental em Caicó.

Os resultados da análise da vulnerabilidade climática de Caicó, para o ano de 2019, indicam uma intensidade pluviométrica de 328 mm/mês, classificada como grau de vulnerabilidade 2,2, conforme os critérios de Crepani *et al.* (1996), com registro de 78 dias de chuva. A intensidade pluviométrica constitui um parâmetro fundamental na avaliação da vulnerabilidade à erosão dos solos tropicais, pois expressa não apenas o volume precipitado, mas também sua distribuição temporal, fator determinante na quantidade de energia potencial disponível para conversão em energia cinética (Palmeira, 2004). Diante disso, a chuva

configura-se como um dos principais agentes erosivos, devendo ser analisada tanto em termos quantitativos quanto em sua distribuição no tempo e no espaço (Buckman & Brady, 1976).

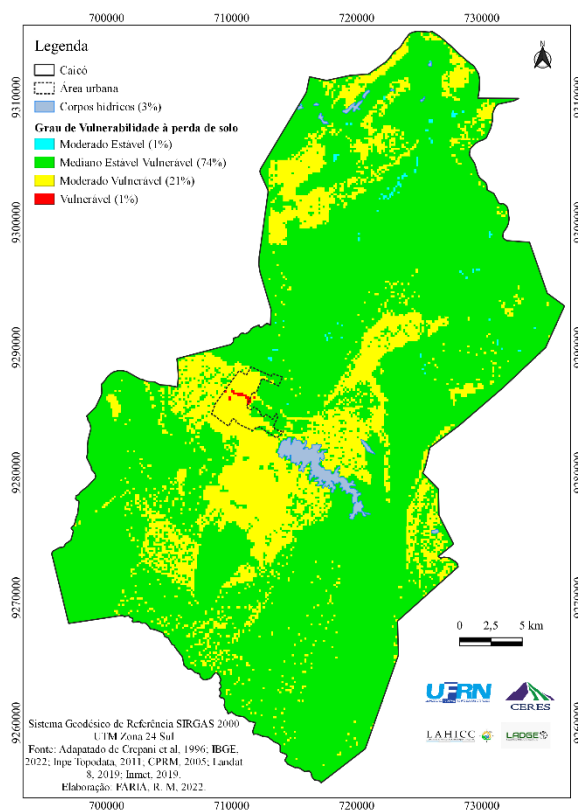
Destaca-se que o potencial erosivo das chuvas não está exclusivamente associado aos totais anuais, mas principalmente à sua concentração em curtos períodos. Assim, eventos de precipitação intensa e concentrada, característicos do semiárido brasileiro, tendem a apresentar maior capacidade de desencadear processos erosivos do que precipitações mais distribuídas ao longo do ano. Esse padrão contribui para a intensificação dos processos de denudação, frequentemente associados à formação de pedimentos e à predominância de solos rasos na região (Crepani, 2008).

A partir da análise integrada dos dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos e de vegetação/uso da terra, foi gerado o produto síntese deste estudo: o mapa de vulnerabilidade natural à erosão do município de Caicó (Figura 7). Esse mapa representa a distribuição espacial das diferentes classes de vulnerabilidade, resultante do cruzamento das variáveis ambientais analisadas. Os resultados, quantificados na Tabela 6, evidenciam o predomínio da classe mediana estável vulnerável (74%), seguida pela classe moderado vulnerável (21%).

Esse padrão indica que, embora a maior parte do território apresente relativa estabilidade, existe uma parcela significativa sob condições de maior suscetibilidade à degradação, especialmente em áreas onde há maior interferência antrópica e menor proteção da cobertura vegetal. Assim, a vulnerabilidade ambiental no município de Caicó resulta da interação entre fatores naturais e antrópicos, sendo a intensificação dos processos erosivos diretamente condicionada pela forma de uso e ocupação da terra.

Esse padrão indica que, embora a maior parte do território apresente relativa estabilidade, existe uma parcela significativa sob condições de maior suscetibilidade à degradação, especialmente em áreas onde há maior interferência antrópica e menor proteção da cobertura vegetal. Assim, a vulnerabilidade ambiental no município de Caicó resulta da interação entre fatores naturais e antrópicos, sendo a intensificação dos processos erosivos diretamente condicionada pela forma de uso e ocupação da terra.

Figura 7. Mapa da vulnerabilidade natural à perda de solo de Caicó – RN no ano de 2019



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Tabela 6 - Distribuição da vulnerabilidade natural à perda de solo do município de Caicó – RN por classes, área e percentual de ocupação.

Classes	Área (ha)	(%)
Moderado Estável	504	1
Mediano Estável Vulnerável	91780	74
Moderado Vulnerável	26360	21
Vulnerável	756	1
Corpos Hídricos	3500	3

Fonte: Elaborado pelas autoras.

A interpretação do mapa de vulnerabilidade revela que as áreas classificadas como Moderado Vulnerável e Vulnerável concentram-se, principalmente, em setores associados a depósitos aluvionares, áreas com declividades acentuadas (vertentes de serras), ocorrência de Neossolos Litólicos e Flúvicos, além de áreas urbanizadas, agrícolas e regiões com cobertura

vegetal reduzida. Esses compartimentos evidenciam a convergência de fatores naturais e antrópicos que favorecem a intensificação dos processos erosivos, indicando maior fragilidade ambiental.

Em contrapartida, as condições mais estáveis da paisagem em Caicó estão representadas pelas classes Moderado Estável e Mediano Estável Vulnerável, associadas a áreas de baixa declividade, predominância de Luvisolos e presença de cobertura vegetal mais densa, variando de arbórea a arbustiva-subarbórea. Esses elementos contribuem para a maior proteção do solo, reduzindo a ação direta dos agentes erosivos e favorecendo a estabilidade morfodinâmica.

A área classificada como mais vulnerável localiza-se no perímetro urbano de Caicó, especialmente nas margens dos rios Barra Nova e Seridó, que drenam a sede municipal. Nessas áreas, a elevada densidade de ocupação, associada à impermeabilização e compactação dos solos, intensifica tanto os riscos de inundações e alagamentos no período chuvoso quanto os processos erosivos (Lucena, 2023). Esse cenário é agravado pelo histórico de uso inadequado da terra e pela remoção da cobertura vegetal, fatores que contribuem para a degradação ambiental (Santos & Vital, 2020).

Esse padrão é corroborado por estudos realizados em outros ambientes semiáridos. Andrade e Oliveira (2004) evidenciaram que as áreas mais degradadas estão associadas à retirada da cobertura vegetal e ao sobrepastoreio, enquanto Francisco *et al.* (2012) destacaram o papel do uso inadequado da terra, incluindo atividades agropecuárias e de mineração, na intensificação da degradação ambiental. Esses resultados reforçam que a vulnerabilidade ambiental não está condicionada apenas às características naturais, mas também às formas de apropriação e uso do território.

As técnicas de geoprocessamento empregadas neste estudo, assim como em pesquisas correlatas (Costa *et al.*, 2009; Moura *et al.*, 2017; Leal *et al.*, 2019), demonstram elevada eficiência na análise integrada da vulnerabilidade ambiental, permitindo a identificação espacial de áreas críticas e subsidiando ações de planejamento e gestão territorial. No contexto regional, Pereira Neto e Fernandes (2015) já haviam destacado a relação entre áreas de maior fragilidade ambiental e os núcleos de desertificação do Seridó, indicando que o município de Caicó se insere em uma dinâmica mais ampla de degradação no semiárido nordestino.

Assim, os resultados obtidos comprovam que as áreas mais vulneráveis estão diretamente associadas à intensificação das atividades antrópicas, corroborando estudos

realizados em outros ambientes semiáridos (Pereira Neto & Fernandes, 2015; Aquino *et al.*, 2017; Leal *et al.*, 2019). Conforme destacado por Peixôto *et al.* (2024), a vulnerabilidade ambiental em Caicó resulta da interação entre fatores naturais, como geologia, solos e clima, e a pressão exercida pelas atividades humanas sobre o ecossistema.

Os resultados obtidos em Caicó convergem com estudos recentes realizados em ambientes semiáridos, os quais evidenciam que a vulnerabilidade ambiental decorre da interação entre condicionantes naturais e pressões antrópicas, com implicações diretas para o planejamento territorial e ambiental. Araújo *et al.* (2024), ao analisarem uma bacia tropical semiárida, destacam que o mapeamento da vulnerabilidade constitui importante subsídio à definição de áreas prioritárias para ordenamento territorial. De modo semelhante, Silva *et al.* (2023) demonstram que mudanças no uso da terra e na precipitação, em contexto de desertificação no semiárido brasileiro, reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e de instrumentos espaciais de gestão.

Diante disso, os padrões identificados reforçam a necessidade de implementação de políticas públicas voltadas ao manejo sustentável dos recursos naturais, especialmente nas áreas urbanas e agrícolas, onde se concentram os maiores níveis de vulnerabilidade. Além disso, evidenciam a importância de estudos ambientais integrados como base para a tomada de decisões, contribuindo para o planejamento territorial e a mitigação de processos de degradação no semiárido.

Considerações finais

- A metodologia proposta por Crepani *et al.* (1996, 2001), adaptada às condições do semiárido, mostrou-se adequada para a análise integrada da vulnerabilidade ambiental no município de Caicó. Os resultados evidenciaram o predomínio de áreas relativamente estáveis, associadas principalmente ao relevo suave, à ocorrência de Luvisolos e à maior densidade de cobertura vegetal. Em contrapartida, os maiores níveis de vulnerabilidade concentram-se em setores com declividades acentuadas, presença de Neossolos, depósitos aluvionares e uso mais intensivo da terra, especialmente em áreas urbanas e agrícolas.
- Esses resultados demonstram que a vulnerabilidade ambiental no município não decorre exclusivamente das características naturais da paisagem, mas da interação entre esses

condicionantes e a intensificação das atividades antrópicas. Dessa forma, a remoção da cobertura vegetal, a ocupação urbana e o uso inadequado da terra constituem fatores centrais na ampliação da suscetibilidade aos processos de degradação.

- O uso de geotecnologias mostrou-se fundamental para a integração das variáveis analisadas e para a espacialização dos diferentes níveis de vulnerabilidade, confirmando sua relevância como suporte técnico-científico ao planejamento territorial e à gestão ambiental. Os produtos cartográficos gerados constituem, assim, instrumentos estratégicos para a identificação de áreas críticas e para a formulação de ações voltadas à conservação dos recursos naturais no semiárido.
- Estudos futuros podem avançar por meio da realização de análises temporais comparativas, da incorporação de séries históricas mais extensas de dados ambientais e da integração de indicadores socioeconômicos, ampliando o potencial analítico da abordagem e sua aplicação ao planejamento sustentável do território.

Referências

- Ab'Sáber, A. N. (2003). *Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas* (1ª ed.). Ateliê Editorial.
- Andrade, J. B., & Oliveira, T. S. (2004). Análise espaço-temporal do uso da terra em parte do semiárido cearense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28(2), 393–401.
<https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200018>
- Aquino, A. R., Paletta, F. C., & Almeida, J. R. (2017). *Vulnerabilidade ambiental*. Blucher.
- Araújo, I. N. F., Cunha, K. P. V., Cunha, G. K. G., & Matos, M. F. A. (2024). Vulnerabilidade ambiental aplicada ao planejamento territorial de uma bacia semiárida tropical. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196, Article 730.
<https://doi.org/10.1007/s10661-024-12857-y>
- Buckman, H. O., & Brady, N. C. (1976). *Natureza e propriedades dos solos* (4ª ed.). Freitas Bastos.

- Cabral Júnior, J. B., & Lucena, R. L. (2020). Analysis of precipitations by non-parametric tests of Mann-Kendall and Kruskal-Wallis. *Mercator*, 19, 1–14.
<https://doi.org/10.4215/rm2020.e19001>
- Câmara, G., Davis, C., Monteiro, A. M., & D'Alge, J. C. (2001). *Introdução à ciência da geoinformação* (2ª ed. rev. e ampl.). INPE.
- Cantalice, A. S., Gonçalves-Souza, T., & Albuquerque, U. P. (2025). Effects of socioeconomic and human-modified landscape variables on medicinal species richness at a macroscale: The case of the Caatinga, Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 21, Article 5. <https://doi.org/10.1186/s13002-025-00757-5>
- Chaves, I. B., Francisco, P. R. M., Lima, E. R. V., Silva, B. B., Brandão, Z. N., & Chaves, L. H. G. (2013). Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e degradação da Caatinga da bacia do Rio Taperoá-PB. In B. B. Silva (Org.), *Aplicações ambientais brasileiras de geoprocessamento e sensoriamento remoto* (1ª ed., Vol. 1, pp. 23–47). EDUEFCG.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (2005). *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Estado do Rio Grande do Norte: Diagnóstico do município de Caicó-RN*. Serviço Geológico do Brasil.
http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16917/rel_caico.pdf?sequence=4
- Costa, F. H. dos S., Petta, R. A., Lima, R. F. de S., & Medeiros, C. N. de. (2009). Determinação da vulnerabilidade ambiental na Bacia Potiguar, região de Macau (RN), utilizando sistemas de informações geográficas. *Revista Brasileira de Cartografia*, 58(2).
<https://doi.org/10.14393/rbcv58n2-44917>
- Crepani, E. (2008). Zoneamento ecológico-econômico. In T. G. Florenzano (Org.), *Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais* (pp. 285–318). Oficina de Textos.
- Crepani, E., Medeiros, J. S., Azevedo, L. G., Hernandez Filho, P., Florenzano, T. G., & Duarte, V. (1996). *Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico*. INPE.
- Crepani, E., Medeiros, J. S. de, Hernandez Filho, P., Florenzano, T. G., Duarte, V., & Barbosa, C. C. F. (2001). *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao*

zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. INPE.

<http://www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/CrepaneEtAl.pdf>

- De Paula, E. M. S., & De Souza, M. J. N. (2011). Sistemas de informações geográficas na análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Ceará-CE. *Revista Brasileira de Cartografia*, 63(4), 515–525. <https://doi.org/10.14393/rbcv63n4-49223>
- Francisco, P. R. M., Chaves, I. B., Chaves, L. H. G., & Lima, E. R. V. (2012). Detecção de mudança da vegetação de Caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5(6), 1473–1487. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i6.232834>
- Gameiro, S., Teixeira, C. P. B., Silva Neto, T. A., Lopes, M. F. L., Duarte, C. R., Souto, M. V. S., & Zimback, C. R. L. (2016). Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. *Terræ*, 13(1–2), 15–22. <https://www.ige.unicamp.br/terrae/V13/PDFv13/TE067-2.pdf>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *Mapeamento de recursos naturais do Brasil: Escala 1:250.000*. https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/documentacao_tecnica_MRN_2018.pdf
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Cidades e estados: Caicó*. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/caico.html>
- Instituto Nacional de Meteorologia. (2019). *BDMEP*. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2011). *Projeto Topodata*. <http://www.dsr.inpe.br/topodata>

Instituto Nacional do Semiárido. (2024). *Delimitação do Semiárido Brasileiro (2024)*.

INSA/MCTI. <https://www.gov.br/insa/pt-br/centrais-de-conteudo/mapas/mapas-em-pdf/delimitacao-do-semiarido-brasileiro-2024.pdf/view>

Leal, J. M., Aquino, C. M. S., Aquino, R. P., & Valladares, G. S. (2019). Vulnerabilidade ambiental no município de São Miguel do Tapuio, Piauí: Bases para o ordenamento territorial. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(2), 608–621.

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p608-621>

Leblon, B., Guerif, M., & Baret, F. (1991). The use of remotely sensed data in estimation of PAR use efficiency and biomass production of flooded rice. *Remote Sensing of Environment*, 38(2), 147–158.

Lucena, R. L. (2023). A paisagem urbana e sua relação com evento de chuvas intensas no semiárido brasileiro: O caso da cidade de Caicó-RN. *Revista Geotemas*, 13(1), 01–20, e02203. <https://doi.org/10.33237/2236-255X.2023.4456>

Lucena, R. L., Cabral Júnior, J. B., & Steinke, E. T. (2018). Comportamento hidroclimatológico do estado do Rio Grande do Norte e do município de Caicó. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33, 485–496. <https://doi.org/10.1590/0102-7786333008>

Mattedi, M. A., Mello, B. J., Souza, C. M. de M., Vicentiner, D. A., & Kormann, T. C. (2024). Aplicação do índice de vulnerabilidade socioambiental a desastres por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG): Estudo de caso do município de Blumenau (SC). *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 13(1), e23423.

<https://doi.org/10.5585/2024.23423>

Morais, I. R. D., & Araújo, M. A. A. de. (2006). Territorialidades e sociabilidades na feira livre da cidade de Caicó (RN). *Caminhos de Geografia*, 7(17), 244–249.

<https://doi.org/10.14393/RCG71715406>

Moura, M. M. S., Araújo Neto, J. R., Palácio, H. A. Q., Batista, F. J. A., & Sousa, M. M. M. (2017). Vulnerabilidade à erosão quanto aos aspectos solo e vegetação em uma bacia hidrográfica no semiárido. *Entorno Geográfico*, (13), 100–113.

<https://doi.org/10.25100/eg.v0i13.6033>

- Nascimento, L. A., & Loverde-Oliveira, S. M. (2024). Revisão bibliográfica sistemática relacionada ao estudo da vulnerabilidade ambiental em rios urbanos. *Geoambiente On-line*, (50). <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/76911>
- Oliveira, P. J. L., Silva Filho, C. R., & Costa, D. F. S. (2021). Utilização de índice espectral na distribuição espacial da Caatinga densa do município de Caicó, Rio Grande do Norte-Brasil. *GeoTextos*, 17(2). <https://doi.org/10.9771/geo.v17i2.44861>
- Palmeira, A. F. (2004). *Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicadas à gestão do território do município de Paragominas (Estado do Pará)* [Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais].
- Peixôto, M. C. de S., Pereira, P. M., Oliveira, V. P. V. de, & Pereira Neto, M. C. (2024). Unidades geoambientais do município de Caicó/RN, Brasil: Tipologias, regionalização e potencialidades. *Espaço em Revista*, 26(1), 180–194. <https://doi.org/10.70261/er.v26i1.74724>
- Pereira Neto, M. C., & Fernandes, E. (2015). Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN/PB – Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 16(3). <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i3.603>
- Peterle Ribeiro, A. C., Pletsch, A. L., & Rocha, A. S. (2022). Comparação de metodologias para análise da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas: Estudo de caso dos rios São Francisco Verdadeiro e São Francisco Falso, região oeste do Paraná. *Geoambiente On-line*, (44), 39–65. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.i44.72427>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium: Volume I, Technical presentations* (NASA SP-351, pp. 309–317). NASA.
- Santos, A. D., & Vital, S. R. O. (2020). Riscos geomorfológicos no município de Caicó-RN. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 434–448. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p434-448>
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. A. de, Lumbrreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. de, Araújo Filho, J. C. de, Oliveira, J. B. de, & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5ª ed. rev. e ampl.). Embrapa.

<https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>

- Santos, P. T., & Martins, A. P. (2018). Análise da vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (GO) utilizando geotecnologias. *Revista do Departamento de Geografia*, 36, 155–170. <https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.143665>
- Santos, R. P., & Pacheco, C. S. G. R. (2017). A ação antrópica e suas implicações na cobertura vegetal da comunidade rural de Paredão/BA: Estudo comparativo de áreas intactas e degradadas. *Revista Semiárido De Visu*, 5, 45–51. <https://periodicos.ifsertaope.edu.br/ojs2/index.php/semiaridodevisu/article/view/362/208>
- Silva, A. D. G. da, Santos, A. L. B. dos, Santos, J. M. dos, & Lucena, R. L. (2022). Balanço hídrico climatológico e classificação climática do estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Climatologia*, 30, 798–816. <https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.15240>
- Silva, B. F., Rodrigues, R. Z. S., Heiskanen, J., Abera, T. A., Gasparetto, S. C., Biase, A. G., Ballester, M. V. R., Moura, Y. M., Piedade, S. M. S., Silva, A. K. O., & Camargo, P. B. (2023). Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil. *Ecological Informatics*, 77, 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102192>
- Tomlin, C. D. (1990). *Geographic information systems and cartographic modeling*. Prentice Hall.
- Williams, L. R. R., & Kapustka, L. A. (2000). Ecosystem vulnerability: A complex interface with technical components. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19(4), 1055–1058. <https://doi.org/10.1002/etc.5620190435>

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de suas autoras, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições das autoras: Raila Mariz Faria: processamento dos dados, tabelas, figuras, mapas, análise dos resultados e discussões, escrita; Rebecca Luna Lucena: orientação, escrita, discussões, revisão e edição; Sara Fernandes Flor de Souza: orientação, escrita, discussões, revisão e edição.

Financiamento: Esta pesquisa é resultado de um Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado em Geografia do Centro de Ensino Superior do Seridó, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. O estudo foi realizado sem financiamento e contou com o apoio institucional do Laboratório de Hidrografia, Climatologia e Cartografia - LAHICC e do Laboratório Didático de Geociências - LADGEO, ambos vinculados à mesma instituição.

Conflito de interesse: As autoras declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.

Uso de Inteligência Artificial: Nenhuma ferramenta de IA foi utilizada para gerar resultados científicos, interpretações ou conclusões. As autoras revisaram e aprovaram integralmente a versão final do manuscrito e assumem total responsabilidade pelo conteúdo apresentado.