

A VULNERABILIDADE DOS MUNICÍPIOS DO CARIRI PARAIBANO À OCORRÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

Bruno Jandir Mello

Universidade Regional de Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional,
Blumenau, SC, Brasil
brunomelloarq@gmail.com

José Irivaldo Alves Oliveira Silva

Universidade Federal de Campina Grande, PROFÁGUA, Campina Grande, PB, Brasil
irivaldo.cdsa@gmail.com

Cristiane Mansur de Moraes Souza

Universidade Regional de Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional,
Blumenau, SC, Brasil
arqcmansur@gmail.com

Ângela Maria Ramalho Cavalcanti

Universidade Estadual de Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional,
Campina Grande, PB, Brasil
angelamcramalho@gmail.com

Juliana Merçon

Universidade Veracruzana, Instituto de Investigações em Educação, Xapala, Veracruz, México.
jmercon@uv.mx

RESUMO

O objetivo deste estudo é classificar a vulnerabilidade aos eventos climáticos extremos, na região do Cariri Paraibano, com vista a contribuir com uma agenda climática. A metodologia adotada é quantitativa e avaliativa, utilizando técnicas de agrupamento de variáveis ambientais, sociais, econômicas e de infraestrutura por meio de programação em *Python* e sistemas de informações geográficas (SIG). Essa abordagem permitiu não apenas identificar a vulnerabilidade dos municípios da região a eventos climáticos, mas também elaborar cartografias temáticas. Os resultados revelam uma situação alarmante, marcada por alta vulnerabilidade social e uma carência significativa de saneamento básico. Além disso, a região enfrenta um avançado processo de desertificação, intensificado principalmente por fatores antrópicos e mudanças climáticas. Nesse contexto, os eventos climáticos extremos tornam-se cada vez mais frequentes e intensos, agravando os desafios já existentes. Diante desse cenário, é evidente a necessidade de intervenções urgentes, no modelo de planejamento urbano e na gestão de riscos de desastres, visando fortalecer a resiliência da população.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Desastres. Agenda climática. Semiárido brasileiro.

VULNERABILITY OF MUNICIPALITIES IN THE CARIRI PARAIBANO TO EXTREME CLIMATIC EVENTS

ABSTRACT

The objective of this study was to classify the vulnerability to extreme climatic events in the Cariri Paraibano region, aiming to contribute to a climate agenda. The methodology adopted is quantitative and evaluative, employing clustering techniques of environmental, social, economic, and infrastructure variables through Python programming and geographic information systems (GIS). This approach enabled not only the identification of the vulnerability of municipalities in the region to climatic events but also the development of thematic cartographies. The results reveal an alarming situation characterized by high social vulnerability and a significant lack of basic sanitation. Furthermore, the region is undergoing an advanced process of desertification, mainly driven by anthropogenic factors and climate change. In this context, extreme climatic events are becoming increasingly frequent and intense, exacerbating existing challenges. Given this scenario, there is a clear need for urgent

interventions in urban planning models and disaster risk management to strengthen the resilience of the population.

Keywords: Climate change. Disasters. Climate agenda. Brazilian semi-arid.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são uma das questões mais prementes que a humanidade e os governos ao redor do mundo enfrentam atualmente (Ho *et al.*, 2018; Tierney, 2020; Clayton; Karazsia, 2020; Xu *et al.*, 2020; Steffen; Bradshaw, 2021; Folke *et al.*, 2021; Kemp *et al.*, 2022; Campbell *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2022). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023, p.4), as atividades humanas, principalmente por meio das emissões de gases de efeito estufa, causaram de maneira inequívoca o aquecimento global, com um aumento de 1,1°C na temperatura média global entre 1850 e 2020. Caso os principais países não adotem medidas eficazes, as temperaturas globais podem subir até 4,8°C até o ano de 2100. Para conter essa escalada, o relatório do IPCC (2018) recomendou limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C até 2030. No entanto o cenário atual é de aceleração no aumento das temperaturas globais e, consequentemente, de intensificação dos impactos associados.

Essas alterações no clima do planeta estão intensificando crises socioambientais, econômicas e políticas, elevando a frequência de eventos climáticos extremos, aumentando o número de refugiados climáticos e exacerbando desigualdades sociais, especialmente em países mais vulneráveis (Beck, 2015; Artaxo, 2020; Wen *et al.*, 2023). Conforme o relatório do IPCC (2021, p.36):

“as regiões mais pobres da África, América Latina e Ásia têm menores oportunidades de adaptação e, portanto, são as mais vulneráveis às alterações na dinâmica das chuvas, que causam secas e inundações. Em outras palavras, áreas com maior pobreza são ainda mais suscetíveis aos efeitos adversos das mudanças climáticas”.

No Brasil, o IPCC (2021) projeta que, ao final deste século, poderá haver uma diminuição de até 50% na distribuição das chuvas, nos biomas da região Nordeste, especialmente no semiárido. Além disso, o relatório aponta para um aumento na intensidade das chuvas na região Sul do país nas próximas décadas. O Atlas Digital dos Desastres no Brasil, realizado pelo Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil (CEPED/UFSC, 2024, p.12), revela que:

“entre 2014 e 2024, o Brasil registrou um total de 32.729 ocorrências de eventos climáticos extremos, resultando em 1.768 óbitos e afetando 177,1 milhões de pessoas, com prejuízos estimados em R\$ 362,6 bilhões. Desses eventos, 40,4% foram relacionados a secas e estiagens, causando 50 óbitos e um prejuízo de R\$ 242,8 bilhões”.

O 6º Relatório do IPCC (2021) aponta o Nordeste como a região mais vulnerável às consequências das mudanças climáticas no Brasil, tanto pela vulnerabilidade da população quanto pelo crescente processo de desertificação, que é considerado o dano climático mais imediato. Essas constatações são corroboradas pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), que, em relatório publicado em 2013, afirmou que a “Região Nordeste é muito vulnerável às mudanças climáticas, dadas as condições fisiográficas, climáticas e socioeconômicas”, com especial destaque para a porção Semiárida (PBMC, 2013; Rocha *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2020).

O Semiárido Brasileiro abrange os nove estados da região Nordeste, além do Norte de Minas Gerais e Espírito Santo (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, 2020). Ele ocupa 12% do território nacional e abriga aproximadamente 28 milhões de habitantes, visto que 62% residem em áreas urbanas e 38% em áreas rurais, tornando-se um dos semiáridos mais povoados do mundo, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Silva *et al.* (2023) destacam que o Semiárido brasileiro está em um estágio avançado de desertificação, com 9% de sua área total apresentando índices extremamente elevados. De acordo com o Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS, 2024), a expansão das áreas com alta susceptibilidade à desertificação climática deve se intensificar, afetando regiões atualmente com menor classificação. Entre essas áreas de elevada desertificação, destaca-se a região do Cariri Paraibano (recorte de estudos).

O LAPIS (2024) identificou que mais de 80% do território do Cariri Paraibano apresenta níveis muito elevados de suscetibilidade à desertificação. Esse processo está associado ao aumento da frequência de secas e estiagens na região. Entre 2004 e 2023, foram registradas 172 ocorrências de eventos climáticos extremos (CEPED/UFSC, 2022). Aproximadamente 555 mil habitantes foram afetados, totalizando um prejuízo de R\$ 1,3 bilhões no período analisado. Em situações de seca prolongada, muitas pessoas são forçadas a migrar para áreas urbanas, sobrecarregando diversas localidades com infraestrutura precária. Esse fenômeno pode estar relacionado à diminuição da população da região, que passou de 218.737 habitantes em 2010 para 191.269 em 2022 (IBGE, 2010; 2022).

Fatores antrópicos também estão influenciando o aumento das secas prolongadas, como as observadas em 2024. O processo acelerado de desmatamento, impulsionado pela expansão da agropecuária e pelas queimadas (Mapbiomas, 2022), juntamente com a degradação das condições socioeconômicas (IBGE, 2010; 2022) e o baixo acesso a saneamento básico, especialmente água potável encanada, conforme o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2021), está intensificando a vulnerabilidade local aos eventos climáticos extremos. Esses fatores afetam de forma desproporcional a população mais pobre e com menos acesso a infraestruturas de proteção, tornando-a a mais impactada pelas secas, estiagens, inundações, movimentos de massa e erosões (IPCC, 2021).

Nesse contexto, no Cariri Paraibano, a população desenvolveu, ao longo do tempo, uma resiliência em relação aos eventos climáticos extremos, especialmente às secas que caracterizam a região. No entanto as mudanças climáticas, a degradação das condições socioeconômicas e ambientais, a inércia política, entre outros fatores, está desafiando a capacidade de resistência e da adaptação da população. Os eventos climáticos extremos estão se tornando menos previsíveis e mais severos, enquanto as populações, especialmente aquelas com menos recursos, enfrentam maiores dificuldades para se proteger e se recuperar. Assim, a hipótese desta pesquisa é que a vulnerabilidade da população a eventos extremos está aumentando progressivamente, colocando em risco a segurança das pessoas, os modos de vida tradicionais e a estabilidade econômica local.

Este artigo tem como objetivo classificar a vulnerabilidade a eventos climáticos extremos (secas e estiagens, inundações, movimentos de massa e erosões), na região do Cariri Paraibano, com a finalidade de contribuir para uma agenda climática regional. A relevância desse projeto decorre de sua associação com o projeto “Gestão e mapeamento climático em municípios do Cariri Paraibano, considerando a Meta 11b do ODS 11 e o ODS 13: diretrizes para planejamento urbano e rural” (chamada 19/2022, FAPESQ-PB, 2023-2025), coordenado pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e no projeto de cooperação internacional “Desafios escalares da governança da água em territórios hidrossociais no Brasil em contexto de mudanças climáticas: um estudo comparado com México, Portugal e Inglaterra” (Chamada CNPq n.º 14/2023). Além dessa introdução, o artigo está dividido em quatro seções: i) procedimentos metodológicos; ii) resultados; iii) discussão; e iv) considerações finais.

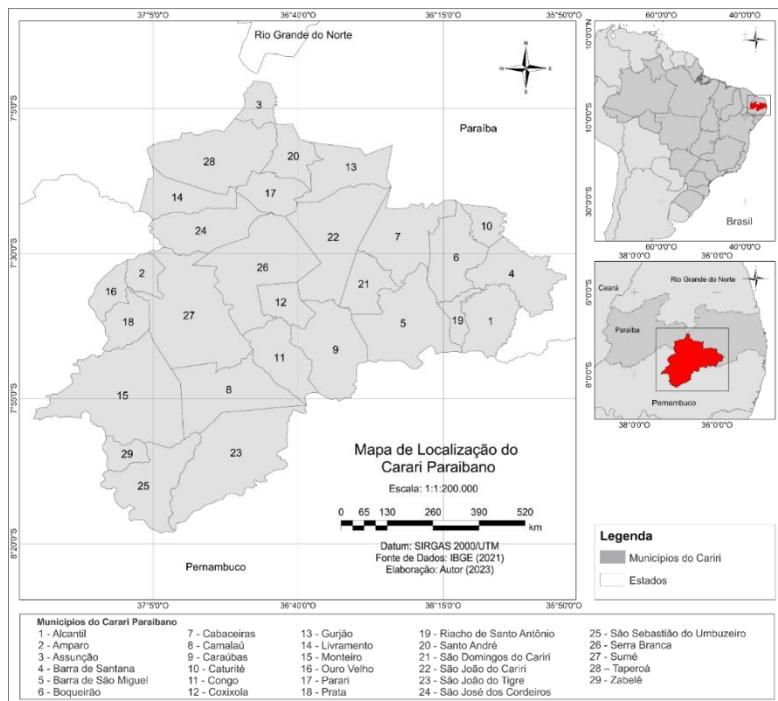
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo aborda os procedimentos metodológicos utilizados e está dividido em duas partes: i) caracterização e contextualização do problema dentro do escopo do estudo e; ii) definição dos materiais e métodos.

Localização e contextualização da área de estudo

A microrregião do Cariri Paraibano está localizada na parte Centro-Sul do Estado da Paraíba. De acordo com o censo de 2022, possui uma população de 191.269 habitantes e uma área de 11.114 km² (IBGE, 2022). É compreendido por 29 municípios (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização do Cariri Paraibano



Fonte: IBGE, 2021. Elaboração: os autores, 2024.

Existem diversos fatores que agravam os impactos dos eventos climáticos extremos no Cariri Paraibano. Em primeiro lugar, pode-se citar o clima que se caracteriza por uma baixa pluviosidade, podendo variar de 400 a 600 milímetros por ano. O LAPIS (2024) aponta que a combinação de características do solo cristalino do semiárido, a escassez de chuvas e o desmatamento indiscriminado contribui para a consolidação de um processo de desertificação, que, por sua vez, agravam as secas e estiagens. Além disso, a devastação dos bens comuns, as mudanças climáticas e a urbanização em áreas de risco resultaram em um aumento nos registros de inundações e enxurradas (CEPED/UFSC, 2024). A Figura 2 apresenta um mapa que ilustra as transformações antrópicas no meio natural da região do Cariri Paraibano.

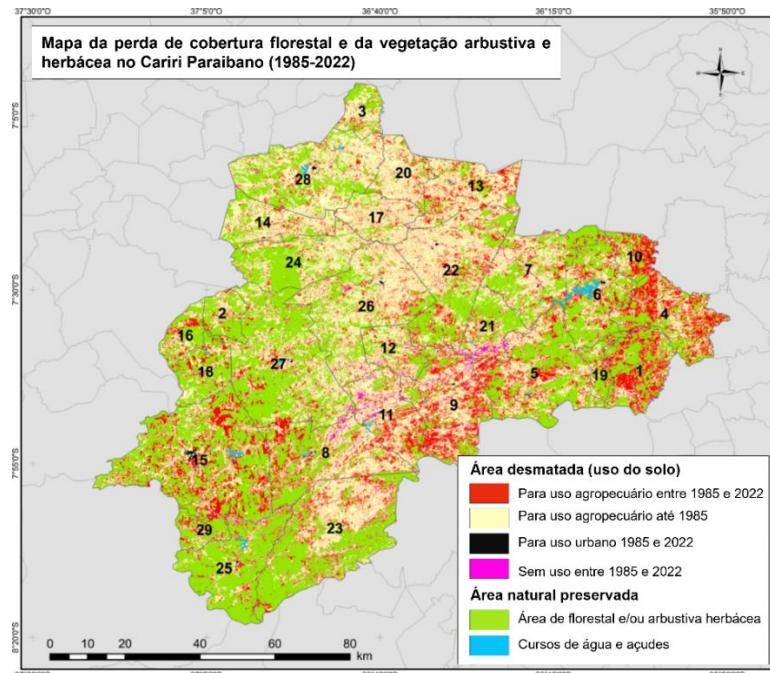
Está comprovado que, no Cariri Paraibano, as ações antrópicas têm uma influência direta nas alterações na dinâmica climática e na intensidade dos eventos extremos. Os dados do IPCC (2023) e do Mapbiomas (2022) indicam que, em 1985, a área de cobertura florestal e de vegetação arbustiva e/ou herbácea totalizava 623.012 hectares, enquanto, em 2022, esse valor caiu para 555.435 hectares. Os corpos hídricos, como nascentes, córregos e rios, diminuíram de 12.403 hectares, em 1985, para 6.904 hectares, em 2022. A área destinada à agropecuária aumentou de 474.803 hectares, em 1985, para 540.580 hectares, em 2022. A região apresentou um crescimento significativo na área queimada, que passou de 575 hectares, em 1985, para 47.059 hectares, em 2022.

Em relação ao saneamento básico, apenas 63% da população do Cariri tem acesso ao abastecimento de água, o que significa que 60.377 pessoas não têm água encanada (SNIS, 2023). Na maioria dos municípios, a distribuição de água é realizada, por meio de carros-pipa, com operações coordenadas pelo Exército e/ou prefeituras locais, que armazenam a água em cisternas. O consumo de água, muitas vezes, não tratada está associado a altos índices de doenças e contaminações. Embora a transposição do Rio São Francisco e a construção do Eixo Leste, juntamente com o funcionamento das adutoras, tenham ajudado a melhorar a disponibilidade de água para a região, o acesso e a distribuição de água potável ainda são insuficientes, especialmente para as populações socialmente vulneráveis.

Além disso, existem questões socioeconômicas, que são históricas, como: 48% da população tem renda média ½ salários-mínimos por mês (IBGE, 2010); a mortalidade infantil apresenta uma média de 25,31 óbitos por mil nascidos vivos, acima da média estadual que é de 14,72 (IBGE, 2022); e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,598, considerado médio, abaixo da média estadual que é

0,698 (PNUD, 2010). Todos esses fenômenos, processos e externalidades exacerbam a vulnerabilidade da população aos eventos climáticos extremos, resultando em desastres cada vez mais intensos e frequentes.

Figura 2 - Perda da cobertura florestal e da vegetação arbustiva/herbácea entre os anos de 1985 e 2022



Fonte: Mapbiomas, 2022. Elaboração: Os autores, 2024.

Materiais e Métodos

A metodologia quantitativa utilizará dados alfanuméricos de variáveis socioeconômicas, demográficas, ambientais, de infraestrutura, pluviosidade e temperatura da região do Cariri Paraibano. As variáveis serão organizadas, normalizadas e agrupadas, em duas dimensões principais, revelando três indicadores: um de Vulnerabilidade Social (IVS), um de Carência de Saneamento Básico (ICSB) e um de Degradção Ambiental (IDA). Em seguida, os indicadores foram agrupados em uma Matriz de Classificação (Cutter, 2011). Esse processo permitirá não apenas a construção de um índice de vulnerabilidade da população aos eventos extremos (IVEC), mas também a criação de mapas temáticos.

O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) refere-se a uma combinação de variáveis que determinam o potencial de impactos e de perdas da população exposta às ameaças do clima. Para o cálculo, consideram-se as características da população que podem aumentar ou diminuir sua capacidade de preparação, resposta e recuperação aos eventos extremos (Cutter, 2011). As variáveis foram escolhidas com base no Índice de Vulnerabilidade Social (SOVI®) (Hummel; Cutter; Emrich, 2016). O Quadro 1 apresenta os fatores de vulnerabilidade social (IVS).

Quadro 1 - Variáveis para construção do IVS

Variáveis	Descrição
Densidade populacional (IBGE, 2022)	A densidade populacional em determinadas áreas amplia a situação de vulnerabilidade, ou seja, mais pessoas podem ser impactadas por eventos climáticos extremos.

% da população com rendimento nominal mensal per capita de até 1/2 salário-mínimo (IBGE, 2022)	Pessoas de baixa renda enfrentam dificuldades, na preparação e na recuperação pós-desastre, por falta de recursos financeiros, o que impede a reconstrução e a reposição de bens. Além disso, a maioria vive em áreas de maior risco, com habitações precárias, o que aumenta os danos e torna a recuperação mais lenta e difícil.
% de população idosa (acima dos 60 anos) (IBGE, 2010)	A presença significativa de população idosa em um município pode representar uma vulnerabilidade por vários fatores. Entre eles, estão a maior resistência a mudanças, desafios cognitivos e de conhecimento, além da dificuldade de mobilidade durante emergências. Esses fatores podem dificultar a adaptação a novas situações e ácapacidade de resposta a eventos adversos, aumentando a vulnerabilidade dessa faixa etária em situações de crise.
á% de crianças (abaixo dos 12 anos) (IBGE, 2010)	As crianças e adolescentes são vulneráveis às situações ambientais e sociais. O excesso de crianças em um setor constitui uma vulnerabilidade por causa de uma menor capacidade de resposta ao perigo (cognitiva, compreensão do problema, tomada de decisão, entre outros).
% de população ocupada (IBGE, 2022)	A falta de emprego agrava a insegurança econômica, afeta a saúde mental e limita o acesso a serviços essenciais. Esses efeitos combinados contribuem para aumentar a vulnerabilidade social, pois a ausência de uma fonte estável de renda dificulta a capacidade das pessoas de atender às suas necessidades básicas e de se recuperar de situações adversas.
Taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade (IBGE, 2010)	Para Cury (2007), a educação é um direito fundamental que deve ser garantido a todos os cidadãos. O papel da escola é promover o ensino e a aprendizagem, contribuindo para a redução das desigualdades sociais e compreensão das vulnerabilidades.
Taxa de mortalidade infantil (IBGE, 2022)	A taxa de mortalidade infantil é um importante indicador da vulnerabilidade social, pois reflete as condições de saúde, econômicas e sociais que afetam a vida e o desenvolvimento das crianças.
Índice de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2010)	O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é uma unidade de medida utilizada, para aferir o grau de desenvolvimento de uma determinada sociedade, nos quesitos de educação, saúde e renda.

Fonte: Os autores, 2024.

O Índice de Carência do Saneamento Básico (ICSB) foi desenvolvido pelo Instituto de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento Jones dos Santos Neves (IJSN) em 2004. Esse índice visa medir a carência em serviços essenciais de saneamento básico, que são fundamentais para a saúde pública e a qualidade de vida. O ICSB utiliza indicadores específicos para avaliar a disponibilidade e a qualidade dos serviços de saneamento em uma determinada área. Para o cálculo do ICSB, foram utilizados os microdados da amostra do SNIS, atualizados em 2023. O Quadro 2 apresenta as variáveis analisadas para determinar o Índice de Carência do Saneamento Básico e entender as deficiências desses serviços nas áreas estudadas.

Quadro 2 - Variáveis para construção do ICSB

Variáveis	Descrição
% de domicílios com abastecimento de água via rede geral (SNIS, 2023)	Quando o domicílio ou o terreno, ou a propriedade em que estava localizado, estava ligado a uma rede geral de distribuição de água. Não contempla: poço ou nascente na propriedade, água de chuva armazenada em cisterna ou outros. É um indicador importante da capacidade de uma comunidade de atender suas necessidades básicas e manter a saúde pública. Áreas com baixa cobertura estão mais expostas a riscos e desafios que aumentam sua vulnerabilidade social e ambiental.

% de coleta do esgotamento sanitário por domicílio (SNIS, 2023)	Quando a canalização das águas servidas e dos dejetos, proveniente de sanitários, estava ligada a um sistema de coleta, conduzia-os a um desaguadouro geral da área, região ou município, com sistema que dispusesse de estação de tratamento da matéria esgotada. A falta de esgotamento sanitário adequado implica o agravamento do impacto dos eventos climáticos, não apenas contribuindo para a degradação do meio ambiente, mas também no surgimento de doenças e dificuldade de recuperação do local afetado.
% de tratamento do esgoto sanitário coletado por domicílio (SNIS, 2023)	A ausência de drenagem adequada pode levar ao acúmulo de água nas vias urbanas durante períodos de chuva intensa. Isso pode resultar em inundações que afetam a infraestrutura, os serviços públicos e as propriedades, aumentando a vulnerabilidade das comunidades às intempéries. Embora o impacto da drenagem deficiente seja mais evidente, em situações de chuvas intensas, a falta de infraestrutura de drenagem também pode agravar problemas em regiões de seca. A má gestão das águas pluviais pode reduzir a capacidade de captar e armazenar água para períodos secos, exacerbando a escassez de água (Tasca; Pompeo; Finotti, 2017).
% de vias com drenagem de águas pluviais (SNIS, 2023)	A acumulação de resíduos sólidos pode aumentar o risco de desastres relacionados ao manejo inadequado dos resíduos. Por exemplo, entulho e lixo acumulados podem obstruir sistemas de drenagem e aumentar a probabilidade de inundações durante períodos de chuva intensa. Além disso, a queima de resíduos a céu aberto pode contribuir para a poluição do ar e agravar problemas de saúde respiratória.
% de domicílios com resíduos sólidos coletados (SNIS, 2023)	A acumulação de resíduos sólidos pode aumentar o risco de desastres relacionados ao manejo inadequado dos resíduos. Por exemplo, entulho e lixo acumulados podem obstruir sistemas de drenagem e aumentar a probabilidade de inundações durante períodos de chuva intensa. Além disso, a queima de resíduos a céu aberto pode contribuir para a poluição do ar e agravar problemas de saúde respiratória.

Fonte: Os autores, 2024.

O Índice de Degradação Ambiental (IDA) resulta das ações antrópicas, que, por sua vez, aumentam os riscos associados aos eventos climáticos extremos. Os fatores que agravam esses riscos incluem desmatamento, agricultura inadequada, sobrepastoreio, urbanização e infraestrutura inadequadas, uso impróprio da água, incêndios e mudanças climáticas. Esses fatores, frequentemente interligados criam um ciclo vicioso que intensifica os eventos climáticos extremos, afetando negativamente a biodiversidade, a produção agrícola e a qualidade de vida das populações locais. O Quadro 3 apresenta os fatores que agravam o IDA.

Quadro 3 - Variáveis para a construção do IDA

Variáveis	Descrição
% de Perda de corpos hídricos (Mapbiomas, 1985/2022)	A extração excessiva de água subterrânea e de rios para a agricultura, indústria e consumo urbano pode levar à redução dos lençóis freáticos e à degradação dos ecossistemas aquáticos, agravando a aridez das áreas afetadas.
% de Perda de Vegetação original (Mapbiomas, 1985/2022)	A remoção indiscriminada de vegetação nativa reduz a cobertura do solo, deixando-o exposto à erosão e diminuindo a capacidade do solo de reter água. Isso leva à perda de nutrientes, ao aumento da aridez e exacerba riscos de inundações e movimentos de massa em áreas urbanas.
% de área acumulada queimada (Mapbiomas, 1985/2022)	O uso inadequado do fogo na agricultura e a ocorrência de incêndios florestais podem destruir a cobertura vegetal, deixando o solo desprotegido e suscetível à erosão e degradação.
% de crescimento da área destinada a agropecuária (Mapbiomas, 1985/2022)	Práticas agrícolas insustentáveis, como monocultura, uso excessivo de fertilizantes e pesticidas e irrigação inadequada, podem esgotar os nutrientes do solo e aumentar a salinidade, tornando a terra improdutiva.

% de crescimento da mancha urbana (Mapbiomas, 1985/2022)	O crescimento urbano, muitas vezes, leva à impermeabilização do solo pela construção de pavimentos e infraestrutura. Isso reduz a capacidade do solo de absorver água da chuva, aumentando o risco de enchentes e alagamentos durante períodos de chuva intensa. O crescimento desordenado pode levar à urbanização de áreas de risco, como encostas instáveis e zonas propensas a inundações, o que aumenta a exposição e a vulnerabilidade da população a desastres.
Evolução histórica de pluviosidade e da temperatura (Wordclim, 1980/2020)	O aumento da temperatura e a redução das chuvas parece ser uma tendência na região analisada e esses fatores têm impacto direto na ocorrência de eventos climáticos extremos.

Fonte: Os autores, 2024.

A normalização das variáveis é um processo utilizado para transformar medidas de diferentes variáveis em uma escala comum. Esse procedimento é necessário, quando as variáveis têm escalas diferentes e é desejável compará-las ou combiná-las de alguma forma. A técnica empregada nessa etapa foi a minmax (também conhecida como padronização), em que os valores de referência são obtidos pela fração entre a ocorrência da variável no município e a quantidade total de domicílios ou pessoas expostas, dependendo da variável. Esse processo utilizou parâmetros mínimos de 0 e máximos de 1. Assim, 0 corresponde à situação ideal ou desejável e 1 corresponde à pior situação.

Para realizar o processo de normalização das variáveis, foram utilizadas duas equações distintas. A Equação (1) foi aplicada às variáveis que apresentam uma relação direta com a vulnerabilidade (quanto maior o valor da variável, menor a vulnerabilidade). Já para as variáveis com relação indireta à vulnerabilidade (quanto menor o valor da variável, maior a vulnerabilidade), foi utilizada a Equação (2).

$$x = \frac{Is - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \cdot p \quad (1)$$

$$x = \frac{I_{max} - Is}{I_{max} - I_{min}} \cdot p \quad (2)$$

Em que (x) representa o valor normalizado da variável, (Is) é o valor original da variável, ($I_{max} - I_{min}$) são os valores máximo e mínimo da variável e (p) é o peso aplicado a cada variável (Saaty, 1980).

Com a obtenção dos atributos normalizados (x) para cada variável pode-se calcular os indicadores a partir da Equação (3).

$$ix = \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

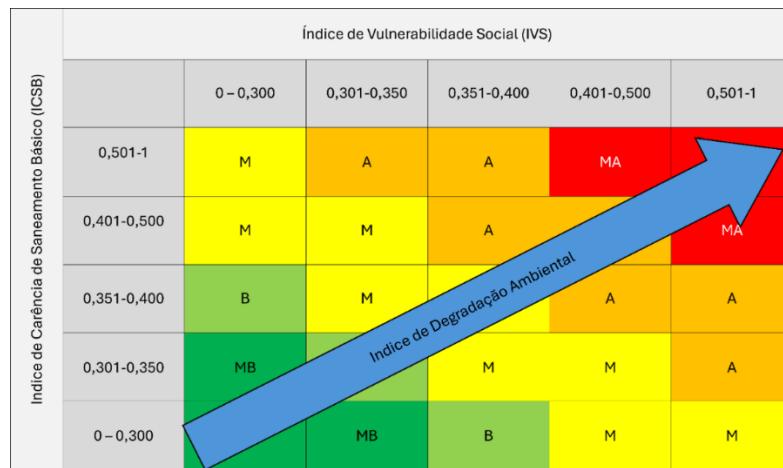
Em que (ix) representa a média dos valores para cada índice, (x_i) são os valores individuais para variável e cada (x_i) representa um valor específico dentro do conjunto de dados, (n) é o número total de valores ou observações no conjunto de dados, ou seja, representa o limite superior de cada índice (o último valor de i) e (i) é uma variável que representa a posição ou o índice de cada valor na soma, em que começa em 1 e aumenta até n , o número total de valores.

Por fim, definiu-se um valor de cada índice para cada município do Cariri Paraibano. Com esses valores, foi realizada a intersecção em uma matriz de Classificação de Vulnerabilidade aos Eventos Climáticos (Cutter, 2011). Assim, ao se cruzarem e interagirem, essas vulnerabilidades produzem resultados danosos à determinada população e ao meio ambiente do entorno, ou seja, quanto maior o número de pessoas, em situação de vulnerabilidade social, ocupando áreas de alta suscetibilidade ambiental sem infraestrutura de saneamento adequada, mais preocupante é a condição comunitária.

Para esta análise, foi utilizado o algoritmo de aprendizado estatístico *Frequency Ratio*, desenvolvido em *Python*, para calcular os atributos e alcançar os índices propostos. Após obter os índices para os

municípios, os valores foram cruzados na matriz (Figura 3). Dessa forma, a classificação da vulnerabilidade socioambiental é determinada, na matriz de impacto, com as seguintes categorias: MB – Muito Baixa (cor verde-escura), B – Baixa (cor verde), M – Média (cor amarela), A – Alta (cor laranja) e MA – Muito Alta (cor vermelha). O resultado dessa interação captura a dinâmica espacial específica, permitindo a definição e a compreensão da escala da vulnerabilidade aos eventos climáticos extremos (IVEC).

Figura 3 - Matriz de Classificação de Vulnerabilidade aos Eventos Climáticos



Fonte: Cutter, 2011. Elaboração: Os autores, 2024.

Com os índices classificados para cada município, foi possível espacializar essas vulnerabilidades. Para a criação do mapa-base, foram utilizados os vetores dos municípios fornecidos pelo IBGE (2021). Os mapas temáticos foram elaborados utilizando o software de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) Esri ArcGIS 10.8®. Essa abordagem permitiu a construção de cartografias dos diferentes indicadores propostos e forneceu uma avaliação abrangente da problemática em estudo.

Para minimizar as distorções entre a realidade e a vulnerabilidade, conforme o índice estabelecido, foram realizadas visitas de campo em pelo menos 12 municípios da região do Cariri Paraibano. Em cinco desses municípios, discutiu-se a implementação de ações específicas, para enfrentar as mudanças climáticas, enquanto, no município de Serra Branca, foi firmada uma parceria com a prefeitura para a elaboração de uma agenda climática, com implementação prevista para o ano de 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, o Cariri Paraibano apresentou um Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVEC) considerado elevado. Há 31.052 pessoas expostas a um IVEC classificado como Muito Alto, nas seguintes localidades: Barra de Santana, Alcantil, Amparo, São João do Tigre, Caturité, Parari e Caraúbas. Além disso, 32.061 habitantes enfrentam um IVEC classificado como Alto, 40.323 estão expostos a um IVEC Médio e 50.602 vivem em áreas com IVEC Baixo ou Muito Baixo. A Tabela 1 apresenta os resultados da análise da vulnerabilidade aos eventos climáticos extremos:

Tabela 1 - Resultado dos indicadores de vulnerabilidade aos eventos extremos

Cód.	Município	IVS	ICSB	IDA	Classe IVEC
4	Barra de Santana	0,668	0,831	0,678	Muito Alta
1	Alcantil	0,623	0,786	0,701	Muito Alta
2	Amparo	0,594	0,851	0,332	Muito Alta
23	São João do Tigre	0,544	0,850	0,351	Muito Alta
10	Caturité	0,478	0,692	0,491	Muito Alta

17	Parari	0,359	0,625	0,567	Muito Alta
9	Caraúbas	0,482	0,344	0,678	Muito Alta
7	Cabaceiras	0,447	0,641	0,406	Alta
20	Santo André	0,315	0,668	0,465	Alta
13	Gurjão	0,446	0,501	0,520	Alta
19	Riacho de Santo Antonio	0,504	0,529	0,367	Alta
22	São João do Cariri	0,420	0,467	0,501	Alta
14	Livramento	0,369	0,496	0,398	Alta
11	Congo	0,345	0,397	0,509	Alta
24	São José dos Cordeiros	0,341	0,497	0,397	Alta
26	Serra Branca	0,376	0,433	0,360	Média
28	Taporoá	0,370	0,343	0,453	Média
12	Coxixola	0,357	0,377	0,405	Média
5	Barra de São Miguel	0,407	0,326	0,350	Média
6	Boqueirão	0,396	0,351	0,301	Média
18	Prata	0,400	0,354	0,106	Média
16	Ouro Velho	0,454	0,277	0,316	Média
3	Assunção	0,261	0,406	0,370	Baixa
27	Sumé	0,406	0,221	0,332	Baixa
21	São Domingos do Cariri	0,259	0,267	0,370	Baixa
15	Monteiro	0,267	0,205	0,342	Muito Baixa
25	São Sebastião do Umbuzeiro	0,358	0,290	0,103	Muito Baixa
8	Camalaú	0,223	0,113	0,405	Muito Baixa
29	Zabelê	0,306	0,306	0,117	Muito Baixa
Cariri Paraibano		0,406	0,470	0,403	Alta

Fonte: Os autores, 2024.

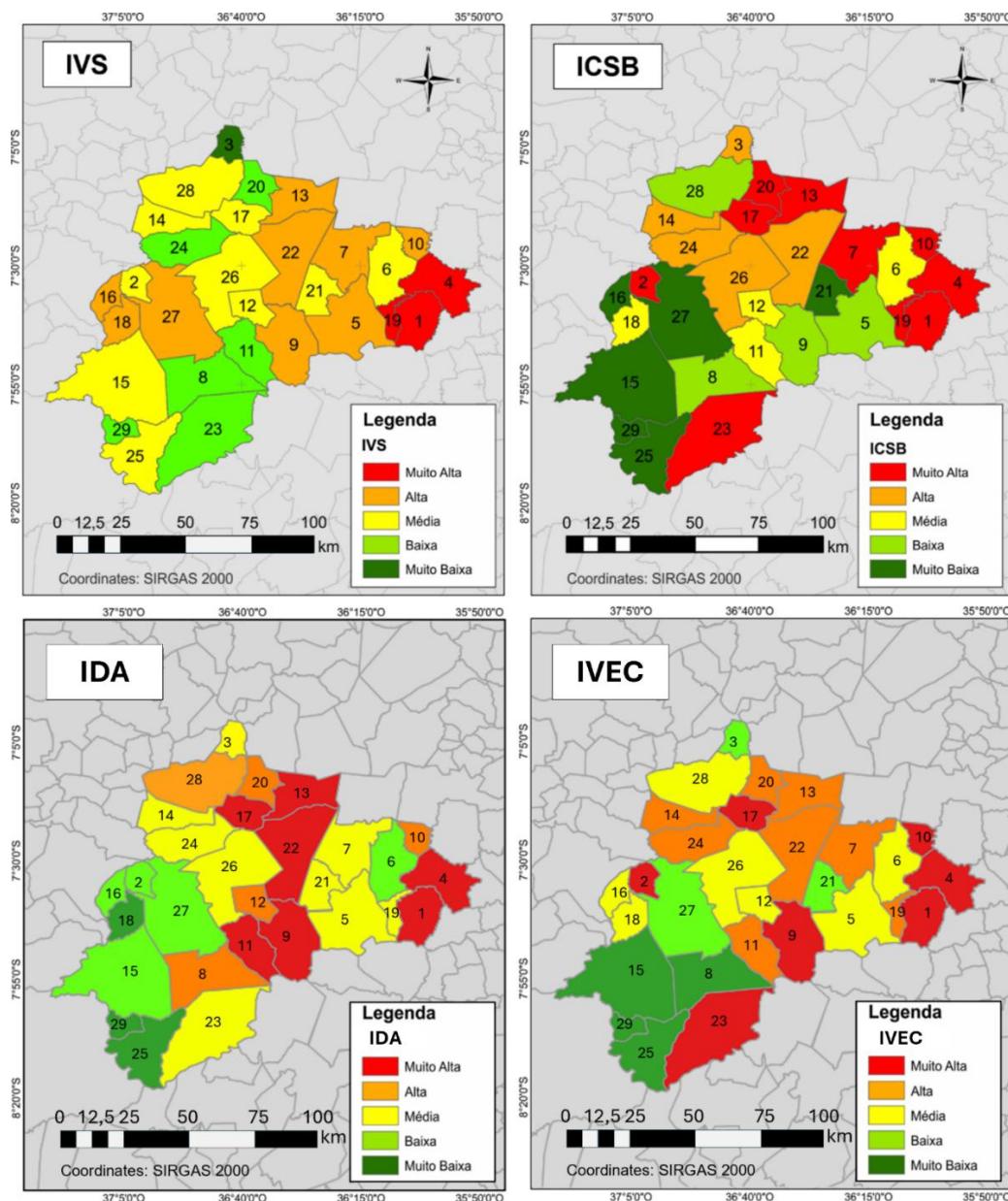
O Cariri Paraibano apresentou um IVS (Tabela 1) de 0,406, considerado alto (Figura 4). Os municípios com IVS mais elevados são: Barra de Santana (0,668), Alcantil (0,623), Amparo (0,594) e São João do Tigre (0,544). Isso indica que esses municípios apresentam problemas, como pobreza, desigualdade de renda, falta de acesso a serviços básicos e infraestrutura inadequada. Destaca-se o município de Barra de Santana, no qual 58% da população tem o rendimento nominal mensal per capita de até 1/2 salário-mínimo em que apenas 8% da população tem trabalho formal (IBGE, 2022). A taxa de mortalidade infantil é de 31 para cada mil nascidos vivos (IBGE, 2022). Com um IDH de 0,570 considerado médio, Barra de Santana está em uma posição intermediária, em termos de desenvolvimento humano, sendo um dos piores indicadores do estado da Paraíba.

Os indicadores de IVS revelam duas realidades distintas: (i) as famílias que residem em áreas rurais; e (ii) aquelas que vivem em áreas urbanas. Conforme Rocha *et al.* (2021), as famílias localizadas em comunidades rurais exibem altos índices de vulnerabilidade social e econômica, refletindo a fragilidade observada na avaliação das variáveis estabelecidas. Em contraste, as áreas urbanas tendem a ter melhor acesso a serviços essenciais como saúde, educação, transporte e infraestrutura. As cidades também oferecem mais oportunidades de emprego e uma economia mais diversificada, como exemplificado pelo município de Monteiro, que apresenta um baixo índice de vulnerabilidade social (Silva; Moura; Cunico, 2024). Por outro lado, as áreas rurais frequentemente enfrentam deficiências na infraestrutura e nos serviços básicos. Esses dados corroboram com o estudo de Sousa *et al.* (2008), que indicou que os municípios mais ruralizados do Cariri Paraibano são, também, os mais socialmente vulneráveis.

Em relação ao Índice de Carência de Saneamento Básico (ICSB), o resultado obtido foi de 0,470 (Tabela 1), classificado como Alto (Figura 4). Os municípios com os piores valores são Amparo (0,851), São João do Tigre (0,850), Barra de Santana (0,831) e Alcantil (0,786). O abastecimento de água é particularmente precário em Amparo, que não possui sistema de distribuição de água, segundo o SNIS (2023), Barra de Santana (onde apenas 7% da população tem acesso à água encanada) e São João

do Tigre (com apenas 10% de cobertura). Conforme o SNIS (2023), a cobertura de coleta e tratamento de esgoto é ainda mais crítica, com 15 dos 28 municípios analisados não possuindo nenhum sistema em operação. A coleta de resíduos sólidos também apresenta um quadro preocupante, com uma cobertura de apenas 48%, muito abaixo da média nacional de 90% e da média estadual de 84% (SNIS, 2023). As piores condições de coleta de lixo foram identificadas nos municípios de Gurjão, Caturité e São João do Tigre. Além disso, a drenagem de águas pluviais é ineficiente, com apenas sete municípios dispondo de algum tipo de sistema.

Figura 4 - Mapas índices



Fonte: Os autores, 2024.

A questão da carência de saneamento básico, no Cariri Paraibano, passa pela falta de planejamento para os investimentos. De acordo com Ferreira *et al.* (2024), verificou-se que a mesorregião do Agreste Paraibano (onde se localiza o Cariri Paraibano) apresenta os cenários de vulnerabilidade à falta de saneamento básico mais elevadas do estado da Paraíba, culminando em maiores índices de arboviroses entre outras problemáticas relacionadas. As políticas públicas, voltadas aos setores de

infraestrutura sanitária, são impactadas de forma negativa pela diminuição de investimentos por não serem lucrativos para o estado (Nunes; Souza; Moura, 2016). O estado, enquanto titular natural dos serviços de saneamento básico, mostra-se inerte à situação, não participando de forma ativa, nas soluções dos problemas de saneamento.

Com relação à extensão da infraestrutura de redes de água, de esgotamento sanitário e de drenagem, esses são parcisos, sem um crescimento que dê ideia de um processo de universalização, com base nos dados do SNIS (2023). A insegurança hídrica no estado é característica de uma gestão ineficiente, realizada pelos órgãos responsáveis e, acima de tudo, pela companhia prestadora de serviços, fato esse comprovado mediante os altos índices de perdas na distribuição dos serviços de água, o que contribui, juntamente com as características pluviométricas da região, para a ausência ou precariedade de serviços de abastecimento dos municípios. Os investimentos são irrigatórios, inconstantes e dispersos sendo motivo da não universalização do saneamento básico (Nunes; Souza; Moura, 2016).

Conforme os resultados, o Índice de Degradação Ambiental (IDA) foi de 0,403 (Tabela 1), o que é considerado Alto (Figura 4). Os municípios com os maiores valores de IDA são Alcantil (0,701), Barra de Santana (0,678) e Caraúbas (0,678). A perda de vegetação variou de 0 a 0,530, com destaque para Caraúbas (0,530), Caturité (0,450) e Barra de Santana (0,431). A perda de área de corpos hídricos foi mais acentuada em Alcantil (0,945) e Riacho de Santo Antônio (0,962), enquanto municípios como Assunção e São João do Tigre apresentaram um aumento na área de recursos hídricos. Em relação à frequência de queimadas na região, Monteiro (0,110), Camalaú (0,110) e São João do Tigre (0,113) destacam-se com os piores indicadores. Quanto à ampliação da área urbana, os municípios que mais apresentaram vulnerabilidades foram Amparo (0,911) e São João do Tigre (0,521). O crescimento das áreas destinadas à agropecuária foi mais pronunciado em Caturité (0,562), Zabelê (0,406) e Monteiro (0,412), refletindo uma forte presença dessas atividades econômicas e seu impacto direto na aridez do solo. Além disso, os municípios que mais apresentaram alterações climáticas foram São João do Cariri, Caraúbas e Gurjão.

Em relação à degradação ambiental no Cariri, Silva, Souza e Bacani (2019) identificaram, por meio de um Índice de Transformação Antrópica, que mais de 55% do território do Cariri está altamente pressionado pelas ações humanas, principalmente nos rios e cursos de água. A irrigação intensiva na agricultura, especialmente nas áreas secas da região, por vezes sobrecarrega os recursos hídricos locais e reduz a disponibilidade de água para outras necessidades (Emídio *et al.*, 2024). Já estudos realizados por Esteves *et al.* (2020) identificaram que a conversão de áreas de floresta e vegetação nativa, em pastagens e terras agrícolas, está reduzindo a capacidade de captura de carbono e alterando o ciclo hidrológico local, resultando em menos evapotranspiração e maior aquecimento da região. Já o uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura pode resultar, na emissão de óxidos de nitrogênio, outro gás de efeito estufa que contribui para o aquecimento em escala regional (Sousa, 2024; Yu *et al.*, 2020). Além disso, a prática de monocultura e o pastoreio intensivo estão levando à degradação do solo, reduzindo sua capacidade de retenção de água e aumentando a suscetibilidade à erosão (Souza, 2020).

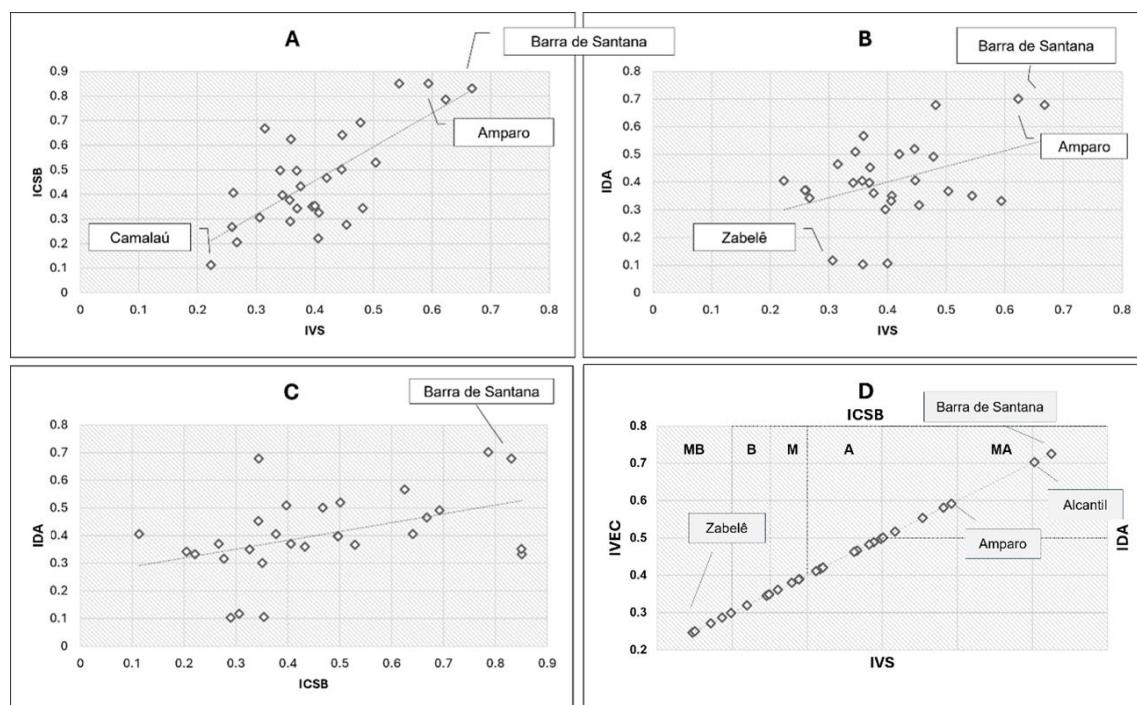
No Cariri, o fenômeno que mais degrada o meio natural são as queimadas. De acordo com Alcântara e Oliveira (2020), as queimadas ocorrem pelo aumento das temperaturas e pela recorrência de secas e a aridez da região, tornando a vegetação ainda mais suscetível a incêndios. Outro fator é a ampliação de áreas destinadas à agricultura e à pecuária, uma vez que essas áreas são frequentemente queimadas para promover o crescimento de novas pastagens e a preparação do solo para agricultura. Segundo o CEPED/UFSC (2024), no estado da Paraíba, entre os anos de 2013 e 2023, o acúmulo da área queimada apresentou um aumento superior a 26% em relação à série anterior (2003 a 2012). As queimadas liberam grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e outros gases de efeito estufa na atmosfera (Jones *et al.*, 2022). Áreas devastadas por queimadas não apenas perdem sua capacidade de sequestrar carbono, mas também emitem partículas finas e aerossóis que afetam os padrões de precipitação (Liu *et al.*, 2021). No Cariri, a liberação desses gases pode estar intensificando o aumento das temperaturas locais e regionais, diminuindo a recorrência de chuvas na região e aumentando a área de desertificação e agravando secas e estiagens.

A rápida urbanização em diversos municípios tem relação com aumento dos riscos e dos impactos dos eventos climáticos extremos, principalmente inundações e enxurradas. Áreas urbanizadas estão absorvendo e retendo mais calor, criando ilhas de calor urbanas. Isso se deve à maior concentração de superfícies asfaltadas e construídas (Silva *et al.*, 2023). Com o aumento da impermeabilização do solo, há maior escoamento superficial que está levando à poluição dos corpos d'água e à redução de

sua capacidade de absorver água, bem como a ocorrência de inundações, enxurradas, erosões e movimentos de massa (Silva *et al.*, 2023; Freitas; Silva, 2022).

A transposição do Rio São Francisco também exerceu impactos nos rios da região do Cariri Paraibano. A chegada dessas águas alterou as características naturais do regime fluvial do Rio Paraíba, ou seja, modificou a forma como o rio tradicionalmente flui e se comporta ao longo do ano. Antes da chegada das águas do Rio São Francisco, o Alto Rio Paraíba tinha um regime fluvial bastante variável e característico de regiões secas, com períodos de alta e baixa vazão bem definidos e influenciado significativamente pelos açudes na região. Conforme Dornellas *et al.* (2024), a transposição das águas alterou esse regime, o que pode ter implicações presentes e futuras, para a gestão dos recursos hídricos e para a compreensão do comportamento do rio, em contextos de seca prolongada e/ou inundações. A Figura 5 apresenta diversas correlações que podem ser observadas entre os indicadores analisados neste estudo.

Figura 5 - Gráficos de correlações entre os indicadores



Fonte: Os autores, 2024.

A relação entre o IVS e o ICSB (Figura 5A) revela que os municípios com altos índices de vulnerabilidade social também apresentam elevados índices de carência de saneamento básico. Algumas cidades se destacam por apresentarem altos índices, em ambas as categorias, o que sugere áreas de maior necessidade de políticas sociais e climáticas. Exemplos incluem Alcantil, Amparo, São João do Tigre, Caturité e Barra de Santana. Além disso, são identificados *clusters* de municípios com índices semelhantes, o que pode indicar padrões socioeconômicos e ambientais comuns. Destacam-se *clusters* localizados a Oeste, ao Centro e a Leste, que refletem padrões regionais consistentes em termos de vulnerabilidade social e carência de saneamento básico.

Na regressão entre IVS com IDA (Figura 5B), observa-se que municípios como Alcantil, Barra de Santana e Riacho de Santo Antônio enfrentam uma situação significativa de vulnerabilidade social e ambiental. Esses locais apresentam tanto altos índices de vulnerabilidade social quanto elevados níveis de degradação ambiental. Em contraste, municípios como Assunção, Barra de São Miguel e Coxixola possuem um IVS relativamente baixo, mas apresentam IDAs notavelmente altos. Isso sugere uma discrepância entre as condições sociais e ambientais dessas localidades. Enquanto a população pode não estar enfrentando grandes dificuldades sociais, o ambiente local está sob considerável pressão ou ameaça, o que pode impactar negativamente as condições socioeconômicas em longo prazo. De modo

geral, as áreas mais degradadas tendem a coincidir com aquelas que apresentam maior vulnerabilidade social, evidenciando a interdependência entre degradação ambiental e precariedade social.

Ao correlacionar ICSB com IDA (Figura 5C), observam-se alguns padrões e discrepâncias. Municípios como Amparo, Barra de Santana e São João do Tigre apresentam tanto um alto ICSB quanto um alto IDA. Isso indica que a falta de saneamento básico está associada a condições ambientais adversas, o que potencialmente aumenta os riscos e os impactos dos eventos climáticos extremos nessas áreas. Em contraste, municípios como Assunção e São José dos Cordeiros possuem um ICSB relativamente baixo, mas seus IDAs são significativamente altos. Esse cenário sugere que, embora o saneamento básico não seja uma preocupação tão urgente nessas áreas, o processo de desertificação e a recorrência de secas têm um impacto direto no IDA, reduzindo a disponibilidade de água e exacerbando a degradação ambiental.

A correlação entre os índices (Figura 5D), em menos 15 municípios do Cariri Paraibano, a vulnerabilidade se apresenta como preocupante em todas as dimensões analisadas. Além disso, sugere-se uma interconexão entre os diferentes aspectos analisados, indicando que municípios que enfrentam problemas em uma área frequentemente lidam com outros desafios em outras. A alta vulnerabilidade aos eventos extremos, em locais como Alcantil, Amparo, Barra de Santana e São João do Tigre, destaca a necessidade urgente de abordagens integradas que considerem tanto as necessidades sociais quanto as questões ambientais. Nesse contexto, os eventos climáticos extremos tendem a ter um impacto mais severo, em municípios com populações mais pobres, menor acesso à infraestrutura e mais áreas degradadas pela agroindústria. Os diversos padrões de valores e classes indicam que os eventos extremos, principalmente a seca e estiagens, podem afetar diferentes comunidades de maneiras distintas, dependendo de vários fatores locais. Esses resultados destacam a complexidade das condições sociais e ambientais em cada município, evidenciando a necessidade de abordagens adaptadas e específicas para cada contexto.

O estudo indica que a ação antrópica no Cariri Paraibano culminou no agravamento dos impactos dos eventos climáticos extremos (Tiburcio *et al.*, 2023; LAPIS, 2024). Assim, registram-se secas e estiagens mais recorrentes e cada vez mais intensas (Farias; Xavier, 2023). Eventos mais prolongados, como os registrados no ano de 2024, estão reduzindo a disponibilidade de água, para o consumo humano e para a agricultura, diminuindo a produção de alimentos. A escassez de alimentos, por sua vez, tem relação com o aumento de preços, tornando-os inacessíveis para famílias de baixa renda, exacerbando a insegurança alimentar e a pobreza (São José *et al.* 2020). Em relação às inundações, cada vez mais recorrentes no Cariri, Cunico, Lucena e Moura (2022), constata-se que os municípios de Assunção, São João do Tigre e São José dos Cordeiros estão entre os 15 municípios com os maiores índices de suscetibilidade do estado da Paraíba. Também se registram diversos pontos de erosão que afetam a produção de alimentos, bem como a ocorrência cada vez mais constante de enxurradas.

Assim, é necessário colocar em prática um plano de ação climática que fortaleça a resiliência local (Agenda Climática), não apenas para garantir a rápida recuperação, após uma crise, mas também para fortalecer a percepção da população sobre o risco, aumentando sua autonomia, garantindo condições para que elas possam responder e se adaptar de forma mais independente. Sugere-se também:

- melhorar a comunicação sobre o risco;
- estimular a aprendizagem da população sobre sinais do risco no meio ambiente, bem como sistemas de alerta do governo;
- impedir o desmatamento, queimadas e avanço da agroindústria;
- aumentar a capacidade de absorção dos impactos com a implementação de estruturas de segurança, que sejam adaptadas ao meio físico e social local;
- criar redes comunitárias de apoio em cada comunidade de risco;
- proporcionar a educação sobre planejamento urbano e formas de construção que sejam sustentáveis;
- fomentar a participação social na tomada de decisão, aumentando o senso de pertencimento;
- desenvolver um plano habitacional que seja eficiente e;
- ampliar a drenagem de águas pluviais e universalizar o saneamento básico.

Por fim, a comprovada e histórica vulnerabilidade social, a ineficiência dos serviços de saneamento básico, a elevada degradação ambiental, combinada aos efeitos perversos das mudanças no clima,

estão levando ao agravamento dos impactos dos eventos climáticos extremos. De fato, as comunidades vulneráveis, principalmente as localizadas na área rural, têm menos recursos para se adaptar às mudanças climáticas e aos eventos extremos, como secas e inundações. A ausência de infraestrutura adequada e o baixo nível de proteção social interagem e se reforçam mutuamente, criando um ciclo que perpetua a vulnerabilidade. O enfrentamento desses desafios requer uma abordagem colaborativa, envolvendo governos, organizações não governamentais, comunidades locais e o setor privado. Somente por meio de esforços coordenados e abrangentes, podemos esperar quebrar o ciclo de vulnerabilidade e promover uma maior resiliência quanto às mudanças climáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Cariri Paraibano expõe uma situação complexa, em que múltiplos fatores interagem para moldar as condições de vida das comunidades locais. Esta pesquisa pode contribuir, teoricamente, para o desenvolvimento de estudos que enfocam a proatividade em situação de desastres e que não se limite apenas à resposta em emergências. Nesse contexto, este artigo contribui para os estudos urbanos com novos métodos de análise do risco da seca, considerando a expansão urbana em território suscetível a eventos climáticos e extremos e a ampliação de vulnerabilidade social da população. A contribuição prática deste estudo decorre do fato de que este mapeamento pode ser uma ferramenta importante para a gestão de riscos, pois permite identificar as áreas mais vulneráveis a desastres socioambientais e os grupos populacionais com maior potencial de impacto. Com base nessas informações, as autoridades podem implementar planos e ações preventivas e de mitigação mais eficazes. Assim, os recursos financeiros podem ser melhor aplicados nos locais e na população que mais precisa.

O método se baseia em ferramentas e tecnologias geoespaciais amplamente disponíveis, e a abordagem multidisciplinar permite a adaptação do método para diferentes tipos de riscos e contextos socioeconômicos e ambientais. Além disso, a medição e a cartografia da vulnerabilidade social e física podem ser adaptadas, para diferentes escalas geográficas, desde comunidades locais até países e regiões inteiras. O uso de análises, baseadas em locais e a intersecção da vulnerabilidade física e social, também, permite uma compreensão mais precisa e localizada das questões de risco, o que pode ser útil para o planejamento e a gestão de riscos e desastres em nível local.

A principal limitação é que os dados provenientes de diferentes fontes podem apresentar formatos, definições e padrões variados, dificultando a integração e análise. Além disso, as informações podem estar desatualizadas e não refletir a situação atual, comprometendo a precisão das conclusões. A validação dos índices criados é complexa, especialmente pela falta de uma base de dados de referência confiável. Para minimizar distorções, foram realizadas incursões de campo para conhecer a realidade local e discutir uma agenda climática para esses municípios.

É importante lembrar que a replicabilidade do método pode depender da disponibilidade de dados geoespaciais e socioeconômicos precisos e atualizados, bem como da capacidade de reunir e integrar informações de diferentes disciplinas. Estudos futuros pretendem expandir a Agenda Climática Participativa, em todos os municípios do Cariri Paraibano e, posteriormente, avançar nos estudos para o Semiárido nordestino.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ-PB) pelo financiamento do projeto “Gestão e mapeamento climático em municípios do Cariri Paraibano, considerando a Meta 11b do ODS 11 e o ODS 13: diretrizes para planejamento urbano e rural” (chamada 19/2022, 2023-2025). Os autores também agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio ao projeto de cooperação internacional “Desafios escalares da governança da água em territórios hidrossociais no Brasil em contexto de mudanças climáticas: um estudo comparado com México, Portugal e Inglaterra” (Chamada n.º 14/2023) e pela concessão da bolsa de pós-doutorado no exterior a Bruno Jandir Mello.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, E.F.; OLIVEIRA F.R. Mapeamento e análise dos níveis de severidade de áreas de queimadas no Semiárido brasileiro com o uso de técnicas de geoprocessamento. **Revista de Geografia**, v. 37, n. 3, 2020. Doi: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.245683>
- ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 34, p. 53-66, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005>
- BECK, U. Emancipatory catastrophism: What does it mean to climate change and risk society? **Current Sociology**, v. 63, n.1, pp. 75–88, 2015.
- CAMPBELL, K. M. et al. **Age of consequences: the foreign policy and national security implications of global climate change**. Center for a New American Security, 2022.
- CEPED – Centro de Estudos e Pesquisa sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2022**. UFSC, 2022.
- CEPED/UFSC - Centro Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas Digital dos Desastres no Brasil**. 2024. Disponível em: <<https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/mapa-interativo.xhtml>> Acesso: 21 mar. 2024.
- CLAYTON, S.; KARAZSIA, B. T. Development and validation of a measure of climate change anxiety. **Journal of environmental psychology**, v. 69, p. 101434, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101434>
- COSTA, R.L. et al. Cenários de Mudanças Climáticas para a Região Nordeste do Brasil por meio da Técnica de Downscaling Estatístico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. spe, p. 785-801, 2020. Doi: [10.1590/0102-77863550002](https://doi.org/10.1590/0102-77863550002)
- CUNICO, C.; LUCENA, D.B.; OLIVEIRA M.M. Vulnerabilidade socioambiental e risco de desastre por inundações no Estado da Paraíba, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 42, n. 01, 2022. Doi: [10.5216/bgg.v42.71324](https://doi.org/10.5216/bgg.v42.71324).
- CUTTER, S. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 93, n. 1, 2011, p., 59-70.
- DORNELLAS, P. C.; SILVA, R. M. da; XAVIER, R. A.; BORGES NETO, I. de O.; SOUZA, J. O. P. de. Análise do regime fluvial do Alto Rio Paraíba no Semiárido Paraibano. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 25, n. 97, p. 183–200, 2024. DOI: [10.14393/RCG259768998](https://doi.org/10.14393/RCG259768998)
- EMÍDIO, R.A. et al. **Diagnóstico social, da qualidade do solo-água e do uso da terra em comunidades agrícolas do Cariri Paraibano**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande, 2024.
- ESTEVES, P.M.S.V. et al. **Avaliação da fragilidade ambiental ao processo de desertificação nos municípios de Ouro Velho e São José dos Cordeiros no cariri ocidental paraibano de 1998 a 2018**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, 2022.
- FARIAS, A. A; XAVIER, R.A. Eventos Extremos de Secas na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Sucuru, Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 38, p. e38230087, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1590/0102-77863810087>
- FERREIRA, Y.B.C. et al. Proposição de um índice de vulnerabilidade humana à insuficiência de saneamento básico: o contexto dos municípios paraibanos de pequeno porte. **Environ. Manag. & Sust.**, v.13, n.1, 2024. Doi: <https://doi.org/10.5585/2024.25071>
- FOLKE, C. et al. Our future in the Anthropocene biosphere. **Ambio**, v. 50, p. 834-869, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01544-8>
- FREITAS, R.J.R.; SILVA, B.L.G. Arborização urbana como estratégia de adaptação frente às mudanças climáticas no semiárido brasileiro: uma revisão teórica. In: ARAUJO, L.R.; NETO, M.S. **Educação Ambiental–atitudes e ações resilientes para o equilíbrio do planeta**, 2022.
- JONES, M.W. et al. Global and regional trends and drivers of fire under climate change. **Reviews of Geophysics**, v. 60, n. 3, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1029/2020RG000>

HO, M.C. *et al.* How do disaster characteristics influence risk perception? **Risk Analysis**, v.28, n.3, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01040.x>

HUMMEL, B.M.L.; CUTTER, S.L.; EMRICH, C.T. Social vulnerability to natural hazards in Brazil. **International Journal of Disaster Risk Science**, v.7, 2016. Doi: <10.1007/s13753-016-0090-9>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA. **Censo demográfico 2022**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938&t=resultados>> Acesso: 19 jul. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA. **Portal de Mapas** (2021). Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>> Acesso: 26 jan. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro, p. 1-251, 2010.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, 2023. Doi: <10.59327/IPCC/AR69789291691647.001>

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policymakers**. **World Meteorological Organization**, Genebra, Suiça, pp. 32, 2018. Disponível em: <https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf> Acesso em: 25 ago. 2020.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis** 2021.

KEMP, L. *et al.* Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 119, n. 34, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.2108146119>

LAPIS - Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites. Universidade Federal de Alagoas. **Áreas Susceptíveis à Desertificação**. 2024. Disponível em: <<https://noticias.ufal.br/ufal/noticias/2019/7/lapis-utiliza-metodologia-inedita-para-monitorar-processo-de-desertificacao-no-brasil>> Acesso: 2 de jan. 2024.

LIU, Y. *et al.* Projection of future wildfire emissions in western USA under climate change: contributions from changes in wildfire, fuel loading and fuel moisture. **International Journal of Wildland Fire**, v. 31, n. 1, p. 1-13, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1071/WF20190>

MAPBIOMAS. **Mapa de uso e ocupação do solo**, 2022. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/>> Acesso: 30 mar. 2023

NUNES, D.S.; SOUSA, E.A.; MOURA, D.C. Avaliação socioambiental no Cariri Paraibano: estudo de caso de Cabaceiras e Serra Branca. **Paisagens & Geografias**, v. 1, n. 2, 2016. Disponível em: <<https://paisagensegeografias.revistas.ufcg.edu.br/index.php/A1p7D/article/view/16>> Acesso: 30 Jan. 2023.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impactos, vulnerabilidade e adaptação: sumário executivo**. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Brasília: PBMC, 2013. Disponível em: <<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/>> Acesso: 30 Jan. 2023.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2010**. Disponível em: <<http://unicrio.org.br/relatorio-do-desenvolvimento-humano-2010-analise-das-tendencias-de-40-anos-revela-que-as-nacoes-pobres-obtem-ganhos-de-desenvolvimento-com-maior-rapidez/>> Acesso em: 09 de setembro de 2020.

ROCHA, R.R. *et al.* Mudança de longo prazo e regionalização da evapotranspiração de referência no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 891-902, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/0102-77863550126>

ROCHA, S. F. *et al.* Desenvolvimento rural no Brasil: políticas públicas diante da vulnerabilidade e da resiliência da agricultura familiar. **Terceira Margem Amazônia**, v. 7, n. 17, p. 55-72, 2021. Doi: <10.36882/2525-4812.2021v7i17.p55-72>

SAATY, T.L. **The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation.** McGraw-Hill International Book Co: Nova York, 1980.

SÃO JOSÉ, R.V. *et al.* Avaliação de vulnerabilidade agrícola à seca: um estudo de caso no Semiárido do Estado da Bahia. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 77, p. 96–110, 2020. DOI: [10.14393/RCG217752133](https://doi.org/10.14393/RCG217752133).

SILVA, L.A.P. *et al.* Mapeamento da aridez e suas conexões com classes do clima e desertificação climática em cenários futuros-Semiárido Brasileiro. **Sociedade & Natureza**, v. 35, 2023. Doi: [10.14393/SN-v35-2023-67666](https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67666)

SILVA, T.S.; OLIVEIRA M.M; CUNICO, C. Vulnerabilidade socioambiental a estiagem e seca na região pluviométrica do Cariri/Curimataú Paraibano. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 26, n. 1, p. 123-144, 2024. Doi: [10.35701/rcgs.v26.950](https://doi.org/10.35701/rcgs.v26.950)

SILVA F.L.; DE SOUZA, B. I.; BACANI, V. M. Intensidade da ação antrópica na área de proteção ambiental do Cariri Paraibano. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 20, n. 71, p. 364–383, 2019. DOI: [10.14393/RCG207145788](https://doi.org/10.14393/RCG207145788).

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Dados estatísticos**. 2023. Disponível em: <<http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/site/index>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

SOUZA, E.G. Efeitos da degradação da terra nas substâncias húmicas de solos no cariri paraibano. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba, 2024.

SOUZA, R. F. *et al.* Vulnerabilidades e impactos socioeconômicos e ambientais em municípios do Cariri Paraibano. **Engenharia Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 63-78, 2008.

SOUZA, F.M.C. **Dinâmica da produção de palma forrageira no Cariri Ocidental Paraibano**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba 2020.

STEFFEN, W.; BRADSHAW, S. **Hitting home: The compounding costs of climate inaction**. Climate Council, 2021.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Nova delimitação do Semiárido brasileiro. Sudene, 2020. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763%20&groupId=24915> Acesso: 30 out. 2024

TIBURCIO, I.M. *et al.* Balanço Hídrico e Mudanças Climáticas no Semiárido Pernambucano: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para o Pernambuco (SUPer). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1657-1670, 2023. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1657-1670>

TIERNEY, K. **Disasters: a sociological approach**. London: Polity Press, 2020.

WEN, J. *et al.* Disaster risk reduction, climate change adaptation and their linkages with sustainable development over the past 30 years: A review. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 14, n. 1, p. 1-13, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00472-3>

WORLDCLIM. **Global climate and weather data**. 2023. Disponível em: <https://worldclim.org/data/index.html#google_vignette> Acesso: 21 jun. 2023

WU, J. *et al.* Projections of land use change and habitat quality assessment by coupling climate change and development patterns. **Science of The Total Environment**, v. 847, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157491>

YU, G.H. *et al.* Unexpected bulk density and microstructures response to long-term pig manure application in a Ferralic Cambisol Soil: Implications for rebuilding a healthy soil. **Soil and Tillage Research**, v. 203, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104668>

XU, K. *et al.* Assessing the vulnerability of ecosystems to climate change based on climate exposure, vegetation stability and productivity. **Forest Ecosystems**, v. 7, p. 1-12, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00239-y>