

Mudanças climáticas e biodiversidade: Uma análise da integridade ecossistêmica do Cariri Oriental Paraibano

Climate Change and Biodiversity: An Analysis of the Ecosystem Integrity of the Eastern Cariri Region of Paraíba

Rosilene Barros Gomes¹; Ângela Maria Cavalcanti Ramalho²; Jana Yres Barbosa de Sousa³; Everton John Camelo Alves⁴

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais - PPGEGRN/UFCG, Brasil. Email: rosilenebgomes2018.2@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8086-8851>

² Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/UEPB, Brasil. Email: angelamcr@uepb.edu.br,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8567-4367>

³ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Campina Grande/UFCG, Brasil.

Email: jybs9018@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1197-9448>

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós graduação em Engenharia Civil, Campina Grande/UFCG, País.

Email: everton.prof.2020@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7097-9478>.

Resumo: O estudo, realizado na Paraíba, analisou as condições climáticas e a integridade ecológica dos municípios de Alcantil, Barra de Santana e Riacho de Santo Antônio, localizados no Cariri Oriental, numa sequência temporal de 10 anos. A pesquisa realizou o cruzamento entre a temperatura média anual e o regime pluviométrico, destacando a variabilidade climática e seus impactos sobre a biodiversidade do Cariri Oriental. Em Alcantil, verificou-se uma forte oscilação pluviométrica, com extremos de 200 mm em 2016 e 550 mm em 2022, associada a aumento da temperatura média em 2023 (25,9 °C), resultando num estresse hídrico e na fragmentação da vegetação. Em Barra de Santana, as chuvas oscilaram entre 250 mm (2015-2017) e 700 mm (2022), enquanto as temperaturas médias também se elevaram, intensificando nas perdas de espécies vegetais e animais. Já em Riacho de Santo Antônio, o regime hídrico revelou forte irregularidade, com mínimos de 150 mm em 2015-2016 e máximos em 2022, em contraste com o avanço das temperaturas em 2023, o que ampliou a degradação da vegetação nativa local. Para avaliar a relação entre o clima e a biodiversidade, foi proposto e desenvolvido um Índice de Integridade Ecológica do Cariri Oriental (ICECO), calculado a partir de métricas de cobertura vegetal (CV), vulnerabilidade climática (VC) e resiliência ecológica (RE), sob suporte do pacote R e análise espacial no QGIS. Os resultados apontaram valores bem distintos entre os municípios: Alcantil (ICECO = 0,48), Barra de Santana (ICECO = 0,75) e Riacho de Santo Antônio (ICECO = 0,65). Esses índices revelaram maior vulnerabilidade no município de Alcantil, devido aos fragmentos vegetais reduzidos e o efeito de borda, enquanto Barra de Santana apresenta maior capacidade adaptativa, já Riacho de Santo Antônio do Cariri se encontra numa condição intermediária, com potencial de recuperação ecológica. Conclui-se que a região semiárida do Cariri Oriental enfrenta instabilidades climáticas severas, no entanto, apresenta condições ecossistemas resilientes, apesar das temperaturas elevadas, as secas prolongadas e as atividades antrópicas. O uso do ICECO demonstrou-se eficaz em mensurar os impactos sobre a biodiversidade, podendo até subsidiar políticas de conservação, manejo ambiental e justiça socioambiental na região estudada.

Palavras-chave: Semiárido; Cariri Oriental; Biodiversidade; Integridade ecológica; Mudanças climáticas

Abstract: The study, conducted in Paraíba, analyzed the climatic conditions and the ecological integrity of the municipalities of Alcantil, Barra de Santana, and Riacho de Santo Antônio, located in the Eastern Cariri, over a 10-year time series. The research cross-referenced annual average temperature and rainfall patterns, highlighting climate variability and its impacts on the biodiversity of Eastern Cariri. In Alcantil, there was a strong fluctuation in rainfall, with extremes of 200 mm in 2016 and 550 mm in 2022, associated with an increase in average temperature in 2023 (25.9 °C), resulting in water stress and vegetation fragmentation. In Barra de Santana, rainfall ranged from 250 mm (2015–2017) to 700 mm (2022), while average temperatures also rose, intensifying the loss of plant and animal species.

In Riacho de Santo Antônio, the hydrological regime showed strong irregularity, with minimums of 150 mm in 2015–2016 and maximums in 2022, contrasting with the rise in temperatures in 2023, which further increased the degradation of the native vegetation.

To assess the relationship between climate and biodiversity, an Eastern Cariri Ecological Integrity Index (ICECO) was proposed and developed, calculated from metrics of vegetation cover (VC), climate vulnerability (CVu), and ecological resilience (ER), supported by the R package and spatial analysis in QGIS. The results showed very distinct values among the municipalities: Alcantil (ICECO = 0.48), Barra de Santana (ICECO = 0.75), and Riacho de Santo Antônio (ICECO = 0.65). These indices revealed greater vulnerability in the municipality of Alcantil, due to reduced vegetation fragments and edge effects, while Barra de Santana shows greater adaptive capacity, and Riacho de Santo Antônio is in an intermediate condition, with potential for ecological recovery.

It is concluded that the semi-arid region of Eastern Cariri faces severe climatic instabilities; however, it presents resilient ecosystem conditions despite high temperatures, prolonged droughts, and anthropogenic activities. The use of ICECO proved effective in measuring the impacts on biodiversity and may even support conservation policies, environmental management, and socio-environmental justice in the studied region.

Keywords: Semi-arid; Eastern Cariri; Biodiversity; Ecological integrity; Climate change

Recebido: 27/08/2025; Aceito: 24/11/2025; Publicado: 09/12/2025.

1. Introdução

A região do Cariri Oriental, na Paraíba, localizada no semiárido nordestino, é uma das áreas mais sensíveis às mudanças climáticas do Brasil. Não se pode falar somente de área propensa a desertificação, ou de grave degradação, mas sim de detalhar e especificar que é dominada por um clima de semiárido quente (BSh segundo a classificação de Köppen) com grande variabilidade interanual na precipitação, com precipitação média anual variando entre 400 mm e 700 mm, concentrada em um curto período chuvoso seguido de longos períodos de seca (INMET, 2024). Chuvas irregulares e escassas, combinadas com o aumento das temperaturas médias, e que agravam o processo de degradação ambiental, colocando em risco a biodiversidade local, que já está sob constante pressão humana.

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), os ecossistemas em regiões semiáridas estão entre os mais vulneráveis às mudanças climáticas, principalmente devido à capacidade limitada de adaptação e à crescente atividade sobre os recursos naturais. O aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos, como as secas prolongadas, tem levado à perda da cobertura vegetal nativa, agravando os processos de desertificação, fenômeno já observado em diversas áreas do Cariri paraibano (MMA, 2022). A Paraíba se destaca por apresentar uma das maiores variabilidades pluviométricas nas suas regiões, em especial nos municípios como Alcantil, Santo Antonio e Barra de Santana, localizado na microrregião do Cariri Oriental paraibano, onde acumulam médias anuais abaixo de 500mm, bem diferente das áreas do eixo leste do Estado, onde o acumulado corresponde a 1500mm anualmente (AESA, 2024).

O ecossistema nativo do Bioma Caatinga, é composta geralmente por vegetação espinhosa e seca, típica de espécies xerófitas, e esse tipo de biomassa de semiárido é fortemente decomposto fisiologicamente, quando aliado às condições de fortes temperaturas, devido as condições climáticas da região (Salgado *et al.* 2015). A biodiversidade local, diante desse contexto, é composta por espécies vegetais adaptadas à densa caatinga e animais altamente endêmicos. Espécies vegetais como *Pilosocereus gounellei* (xique-xique), *Cereus jamacaru* (mandacaru) e *Mimosa tenuiflora* (jurema-preta) não são apenas importantes elementos ecológicos, mas também importantes recursos socioculturais e econômicos para as comunidades locais (Cavalcante *et al.* 2013). Dentre essa fauna, destacam-se o caso de alguns roedores como o mocó e o preá, alguns répteis como o lagarto teiú, e o camaleão, sendo esse mamífero, além do tatu peba, o lobo guará, e outros como a raposa, o tamanduá, (Romero, 2011).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2021) alerta que a perda de biodiversidade em regiões áridas e semiáridas torna-se danosa a resiliência dos sistemas alimentares locais e reduzirá a capacidade dos ecossistemas de fornecer serviços ambientais essenciais, como regulação da água, ciclagem de nutrientes e controle natural de pragas. Na região do Cariri Oriental da Paraíba, esses serviços são essenciais para a sobrevivência das populações rurais que dependem da agricultura familiar e da coleta de produtos da biodiversidade. Portanto, diante desse arcabouço textual, compreender o regime climático do Cariri Paraibano e seu impacto na biodiversidade, também requer uma análise crítica das políticas públicas ambientais e da governança climática local. Portanto, o trabalho visa analisar e gerar respostas técnicas sob construção de indicadores relacionados aos aspectos ecológicos, sociais e institucionais, proporcionando um diagnóstico abrangente da vulnerabilidade da biodiversidade e do potencial da região dos municípios diante das mudanças climáticas.

2. Metodologia

Os municípios da área de estudo (Figura 1) compreende a região do Cariri Oriental, sendo analisados os municípios de Santo Antonio (entre as coordenadas 7°21'20"S 36°03'40"W), Barra de Santana (7°31'01" S, 36°00'08") e Alcantil (7°44'32"S, 36°03'49") estão localizados na região do Cariri Leste do estado da Paraíba, no semiárido nordeste do Brasil. A região tem um clima quente e seco, com pouca precipitação e grande variabilidade interanual, o que impõe muitas restrições ao uso do solo e à proteção ambiental. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), o clima predominante é o semiárido quente (BSh, segundo Köppen-Geiger), com temperatura média anual em torno de 26°C e precipitação média inferior a 600 mm/ano, entre fevereiro a maio.

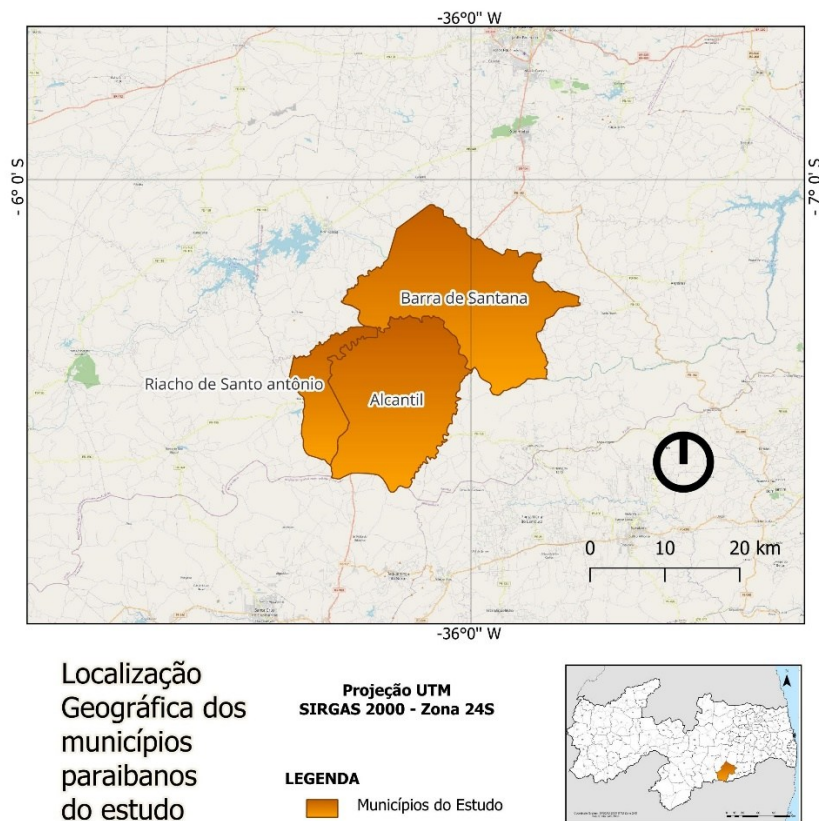


Figura 1 – Localização dos municípios como áreas de estudo, do estado da Paraíba.

Fonte: Autora (2025).

A vegetação principal é composta por arbustos e árvores da Caatinga, adaptados à baixa umidade e solos rasos, incluindo espécies tolerantes à seca, como juazeiro, jurema-preta, xiquexique e mandacaru (Silva, 2015). Parte dessa vegetação foi substituída por pastagens e agricultura de subsistência (especialmente milho e feijão, típicos da região), que, se não forem manejadas de forma sustentável, só agravam os processos de degradação do solo. Hidrologicamente, a região é atravessada intermitentemente por cursos d'água, especialmente o rio Paraíba, crucial para a segurança hídrica local, embora sua vazão tenha diminuído durante secas prolongadas (ANA, 2020). Pequenas represas, lagoas e cisternas são as principais formas de captação e armazenamento de água pelas comunidades rurais.

O método utilizado tem abordagem interdisciplinar e qualitativa, combinando com um enfoque ecológico e sociológico. A construção metodológica é inspirada e adaptada dos estudos de Acuña-Alonso et al. (2021), que utilizaram modelos e indicadores hidrológicos para avaliar a integridade ecológica de bacias hidrográficas, e Almeida (2019), que propôs uma interpretação sociológica dos riscos climáticos com base nas desigualdades ambientais e na vulnerabilidade social.

A avaliação ecológica foi associada a alguns fatores fitogeográficos dos municípios estudados, propondo o (ICEC – Índice de Integridade Ecológica do Cariri), adaptado de Acuña-Alonso et al. (2021), como macro-indicador focando três vertentes:

- A composição vegetal;
- A vulnerabilidade do clima;
- A resiliência ecológica.

Cada um desses é composto pelos micro-indicadores, sendo estes compostos por:

Composição Vegetal

- Fontes de dados: Imagens de satélite Landsat 8 (OLI) e Sentinel-2 (MSI) adquiridas entre 2013 e 2023, com atmosfera recalibrada usando o algoritmo DOS1 e com uma máscara de nuvem, através do QGIS 3.34;
- Uso do NDVI para o diagnóstico da vitalidade da cobertura vegetal nativa, obedecendo a escala de -1 a 1.
- Uso do Plugin LecoS para avaliação da Ecologia expondo espacialmente um perfil de regeneração ou não (utilizando a métrica de mancha), com resultados em excel.

Em razão da análise qualitativa, em meios as ações antrópicas e vulnerabilidades do clima é possível obter respostas geoespaciais significativas (FEITOSA et al., 2010).

Vulnerabilidade do clima

- Fonte de dados: séries temporais de temperatura (°C), precipitação (mm) e número através de dados do INMET, AESA e FUNCEME para o período estudado entre 2012 e 2023. A composição se adquiri com a finalidade de analisar e observar as sequencias de dias com precipitações inferiores a 1mm, e as inclinações de temperatura média anual para compor a aplicação um peso entre 0 e 1, ou seja, gerando uma escala de alta temperatura e dias muitos secos (1). Todos acerca da propositura dos autores Acuña-Alonso et al. (2021).

Indicadores de Resiliência Ecológica

- Fonte de dados: inventários botânicos da fauna local, o uso de dados do Herbário da UFPB e publicações científicas regionais e dos municípios. O propósito é avaliar:
 1. Áreas florestais em bom estado de conservação, com variável binária (0 = ausente; 1 = presente); e pastagens, por km², sendo esse uma condição negativa (0).

A atribuição multicritério proposta por Acuña-Alonso et al. (2021) foi ajustada para a integridade da paisagem da Caatinga, com adaptação também para as observações de resiliência ecológica, proposta por (Medeiros e Torezan, 2012) e (Graciano-Silva *et al.* 2018), em que apresentaram índices de Integridade Biótica para sustentabilidade de florestas urbanas.

Com as adaptações propostas, formulou-se o Cálculo do Índice de Integridade Ecológica do Cariri Oriental (ICECO), todos correlacionados as fragilidades locais e considerando dois eixos: a biodiversidade e o clima.

$$\text{ICECO} = \text{Peso 1} \cdot \text{CV} + \text{Peso 2} \cdot \text{VC} + \text{Peso 3}$$

(formula da propositura do trabalho)

Onde:

- ICECO = Índice de Integridade Ecológica do Cariri Oriental
- CV = **Cobertura Vegetal** (com peso 0 – 1)
- VC = **Vulnerabilidade Climática** (peso 0–1)
- RE = **Resiliência Ecológica** (peso 0–1)
- P1=0,6 ,P2=0,2 ,P3= 0,2 = Pesos atribuídos a cada eixo (devem totalizar em 1)

2.1 Ferramentas Utilizadas

Foram utilizados para esse trabalho, as ferramentas do QGIS 3.34: com tratamento espacial das imagens de satélite, segmentação e classificação, além de métricas de fragmentação; o R Studio (pacotes raster, ecolTools): análise estatística. O pacote raster (aplicado com o Rstudio, viabiliza a realização de inúmeras operações de SIG. As operações de álgebra de mapa podem ser aplicadas pixel a pixel (Mas et al. 2019).

2.2 Análise Social e Justiça Ambiental

A região do Cariri Oriental Paraibano apresenta características e fatores que apontam uma forte dependência de políticas públicas e de assistência social. Esses municípios fazem parte de áreas que apresentam densidade populacional baixa e vulnerabilidades econômicas, por isso a necessidade de programas de transferência de renda, como o Bolsa Família, e outros benefícios sociais (PAN-BRASIL, 2005).

De acordo com o PAE-PARAÍBA (2024), programas sociais de maiores relevâncias se resumem nos: Programas de Abastecimento Hídrico (adutoras e carros-pipa); Programa Restaurantes Populares, o “Tá na Mesa”, do Governo Estadual, e Garantia Safra. Resumidamente, segundo o IBGE (2010) e (2023), a Tabela 1 apresenta os indicadores dos três municípios em estudo, Alcantil, Barra de Santana e Riacho de Santo Antônio, demonstrando a dependência social e econômica do governo.

Tabela 1 – Amostragem dos indicadores sociais dos três municípios estudados.

Indicadores	Alcantil	Barra de Santana	Riacho de Santo Antônio
IDH (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal)	~0,500 (índice baixo)	~0,540 (índice baixo)	~0,550 (índice baixo)
Índice de pobreza (%)	Alto	Alto	Alto
Acesso à água potável (%)	Baixo	Baixo	Baixo
Coleta de resíduo sólido (%)	baixo	baixo	baixo
Saneamento básico (%)	Abaixo de 50%	Abaixo de 50%	Abaixo de 50%
Dependência de programas do governo	Alta	Alta	Alta

Fonte: Autora (2025); IBGE (2010, 2023).

3. Resultados e discussão

Para compreensão e entendimento do comportamento espectral da vegetação, por meio do Sensoriamento Remoto, utilizou-se das imagens:

- Sensor OLI do LANDSAT 8 com passagem do satélite: 24/09/2013 e 17/11/2023, períodos mais secos em razão da presença de nuvens e sombras na maioria dos meses analisados.
- Sensor MSI do Sentinel 2B com passagem do satélite: 23/10/2023, em período seco, em virtude da presença de nuvens entre os meses antecessores.

O processamento e toda etapa computacional, utilizando as ferramentas do QGIS, se deu com a utilização do plugin SCP > Pre-processing > DOS> start imagens para correção atmosférica, e em seguida a etapa de recorte das áreas municipais de interesse por meio das ferramentas dos menus VECTOR e RASTER para edição do recorte.

A máscara de nuvem foi possível, considerando as informações dos complementos adicionais da plataforma do download das imagens, o Copernicus Browser, por trazer as imagens com máscaras de nuvens, facilitando o processamento espectral. Em seguida, escolheu-se as imagens do MSI, os canais, vermelho (banda 4) e do infra-vermelho (banda 8A), e o OLI (banda para a composição e definição do Índice de Vegetação Normalizada, o NDVI, estudado e proposto por Rouse et al. (1973).

Considerando sua equação ajustada para o Cariri Oriental, a equação foi definida representando o período de 2012 e 2023, e as imagens que melhor se adequaram para a análise NDVI foram as do satélite Sentinel, com passagem em (02-10-2023), em período seco, porém com pequenos pontos de nuvens e a do OLI (Landsat8), com passagem em : 07-11-2013, pois em 2012 o satélite não tinha sido lançado nesse ano.

$$NDVI = (NIR5 - RED4) / (NIR5 + RED4) \quad eq1$$

Onde:

NIR: infravermelho próximo, com faixa nanométrica correspondente ao canal 5 (sensor OLI) e o canal 4 (sensor OLI) correspondente ao vermelho.

Para o uso do Sentinel a equação se adequou da seguinte maneira:

$$NDVI = (NIR8A - RED4) / (NIR8A + RED4) \quad eq2$$

Em que, pela faixa correspondente a faixa nanométrica 8A, se adequa mais a uma reflectância que amplia a observação do vegetal, por ser o infravermelho de borda. E o vermelho, utilizou-se o canal 4.

Analisando o NDVI correspondente a 2013, Figura (2), nota-se para os três municípios observados, e seguindo o comportamento espectral do período seco, com a passagem do satélite no mês de novembro de 2013, as faixas dos valores entre (0,36 – 0,56) retratam a fragilidade vegetativa, em meio ao período seco para os municípios estudados, notando-se um sensibilidade no vigor devido a possíveis atividades antrópicas nas áreas, associadas as altas temperaturas para essa época, com baixos registros de chuva. A fragilidade local corresponde a prolongada estiagem, notificando uma dependencia direta da vegetação, em necessitar das chuvas, a qual influencia no resultado do NDVI analisado.

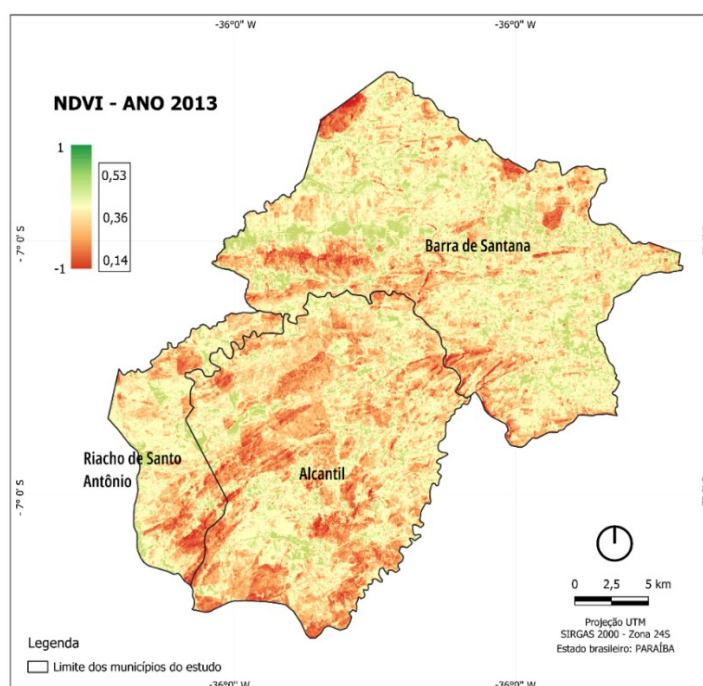


Figura 2– Analise do NDVI 2013, para avaliação do comportamento vegetativo.

Fonte: QGIS 3.34 (2025).

Para o ano correspondente a 2023, a realidade temporal e espectral das informações do NDVI de 2023, mostra uma realidade não tão distante, no que diz respeito a uma prolongada estiagem ocorrida entre os anos de 2012 a 2017, uma das piores já registradas, devido a presença do El Niño (CGEE, 2016). As faixas (0,38 – 0,62), reflete uma certa recuperação da cobertura vegetal nativa, mais precisamente nos municípios de Barra de Santana, nas proximidades do rio Paraíba, assim como das áreas de menor acesso antrópico, nos três municípios. Vale salientar que no trecho do rio Paraíba, percorre as águas do rio São Francisco, com o curso fluindo de Boqueirão até o reservatório de Acauã, em Itatuba. De acordo com as características espectrais da vegetação, o verde se acentua devido os meses anteriores do ano de 2023 terem sido mais chuvosos, conforme pode ser visto na Tabela 2, das precipitações, no entanto as atividades antrópicas ligadas ao mau uso do solo, devido as diversas atividades abropastoris desses municípios, como pode ser percebido pela média do NDVI analisada, responde para a análise uma área ainda limitada e resiliente, ou seja, há ainda fragilidades que podem ser

prolongadas ou gradualmente afetadas.

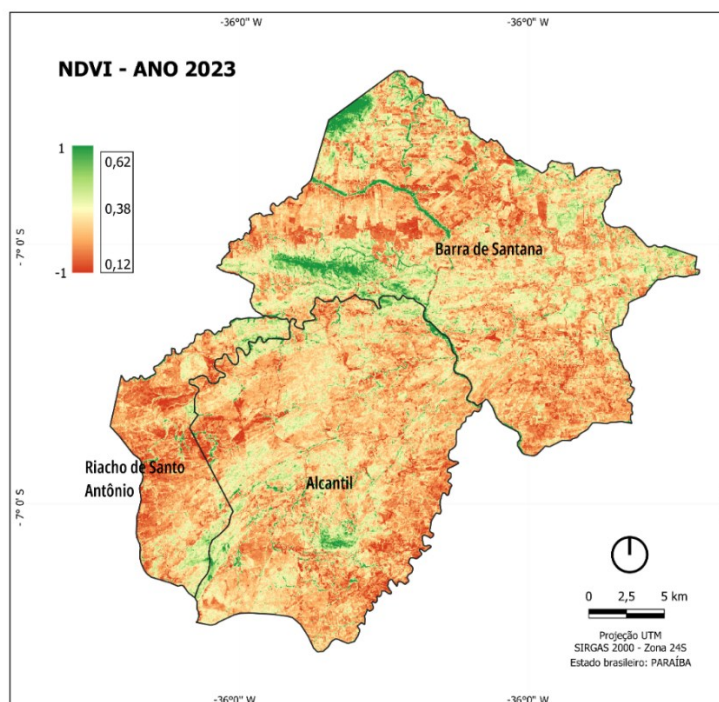


Figura 3 - Análise do NDVI 2023, para avaliação do comportamento vegetativo.

Fonte: QGIS 3.34 (2025).

O comportamento da vegetação nativa torna-se alterada ou preenchida quando em períodos chuvosos, que não foi o caso dessa análise, por está considerando o período seco, a degradação do ambiente pode ficar “mascadado” por consideramos que nessa região semiárida, as pastagens, pequenas árvores, e arbustos se predominam em grande maioria, vendo portanto a necessidade de mais análise dessa biomassa de Caatinga. Para analisar de uma maneira mais detalhada, considerando uma pequena classificação da vegetação, denominando de florestas do Cariri Oriental, foi possível analisar com o uso do Plugin LecoS, do QGIS3.34, em conjunto com a aplicação estatística do R studio library-dplyr e Library-ggplot2, para complementação dos dados tabulares e gráficos. A métrica considerada, se deu por meio das ferramentas: Raster > landscape statistics > e em seguida o Landscape Proportion e a média por classes, nesse caso considerando apenas (fragmentos de vegetação densa, podendo ser arboreas e vegetação semi-densa, podendo ser arbustos, cactaceos).

Considerou-se a médias em m² para serem convertidas em km², no QGIS. Segundo os estudos dos autores Costa Filho et al. (2008), ao estudar áreas no Rio Grande do Norte, grande parte das áreas que se misturam com o processo de urbanização e movimento de atividades antrópicas, são compostas por vegetação, como a catingueira (*Poincianella bracteosa*) e outras espécies como o pereiro (*Aspidosperma*), situação semelhante das áreas do estudo desse trabalho. Com os dados já adquiridos pelo software e acompanhados pelo R, na Tabela 2, pode-se considerar e identificar os valores da métrica, por meio das classificações geradas do software. Os fragmentos de florestas nativas do Cariri Oriental foram contabilizados de acordo com a área gerada dos fragmentos, considerando o ano de 2013 e 2023. A partir da Figura 4, tem-se os resultados supracitados dos fragmentos encontrados no municípios estudados, Alcantil, Barra de Santana e Riacho de Santo Antônio.

Tabela 2: Valores dos fragmentos gerados pela métrica, por meio das classes de vegetação (2013).

Ano	Município	Classe	Área (km²)	Nº de Fragmentos	Média da Área (km²)
2013	Barra de Santana	Veg Densa	0	0	0
2013	Barra de Santana	VegSemi-densa	63,589	9852	0,00646
2013	Alcantil	Veg Densa	0	0	0
2013	Alcantil	VegSemi-densa	59,800	8958	0,00668
2013	Riacho de Santo Antônio	Veg Densa	0	0	0
2013	Riacho de Santo Antônio	VegSemi-densa	7541	421	17,91188

Fonte: Autora (2025).

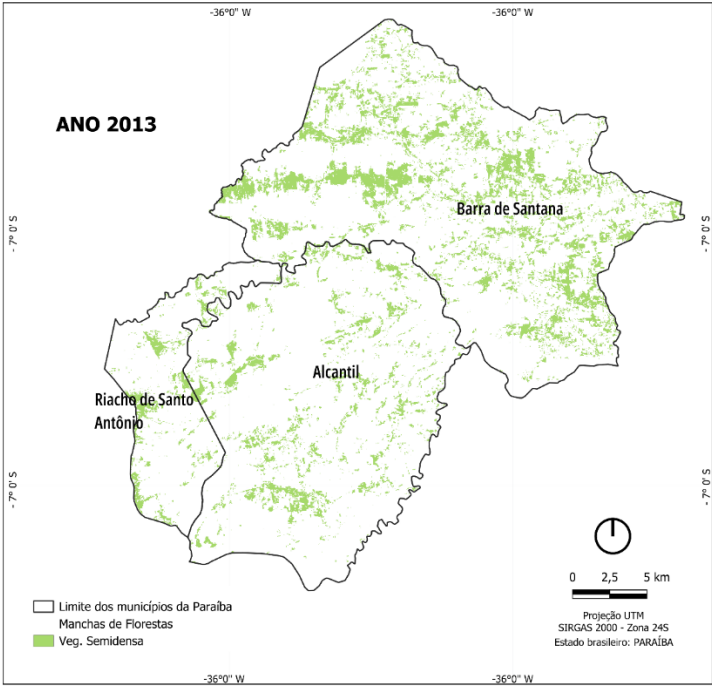


Figura 4 - Modelo temático das machas considerando o termo florestas para os três municípios do Cariri Oriental.
Fonte: QGIS (2025).

Tabela 3: Valores dos fragmentos gerados pela métrica, por meio das classes de vegetação.

Ano	Município	Classe	Área (km ²)	Nº de Fragmentos	Média da Área (km ²)
2023	Barra de Santana	Veg Densa	47,233	4623	0,01022
2023	Barra de Santana	Veg Semi-densa	33,952	4852	0,00700
2023	Alcantil	Veg Densa	48,123	8452	0,00569
2023	Alcantil	Veg Semi-densa	29,874	6854	0,00436
2023	Riacho de Santo Antônio	Veg Densa	5,468	562	0,00973
2023	Riacho de Santo Antônio	Veg Semi-densa	4,987	236	0,02113

Fonte: Autora (2025).

A ferramenta da mancha mostrou claramente uma realidade impactante para os tres municípios, onde pode ser observado nas Tabelas 2 e 3. Para o ano de 2013, há uma dexconção ecológica pelo fato dos fragmentos estarem mais isolados ou quebrados, justificando as intensas ações antrpicas em busca por água, e trabalhos agropastoris, pecuários, transporte com animais. Considerando o ano de 2023, e observando as condições anteriores das fragmentações analisadas, houve um pequeno aumento na veg. Semi-densa, situação que coloca os municípios em observação pelo fato de associar essa condição ao aumento das pastagens e de possíveis reduções de floresta nativa ao longo dos anos e consequentemente redução de fauna e flora nativos da região. Porém a métrica da vegetação, mostra que as maiores fragmentações conseguem passar um estado de melhor potencial ecológico, no entanto deve-se considerar as condições biofísicas dos municípios.

A Figura 5, apresenta as classes associadas com os valores das médias, todas elas, para os tres municípios, bem abaixo de 1,0 km², mostrando que podem ou não prejudicar em perdas da biodiversidade , em meio aos registros de estiagens e temperaturas elevadas.

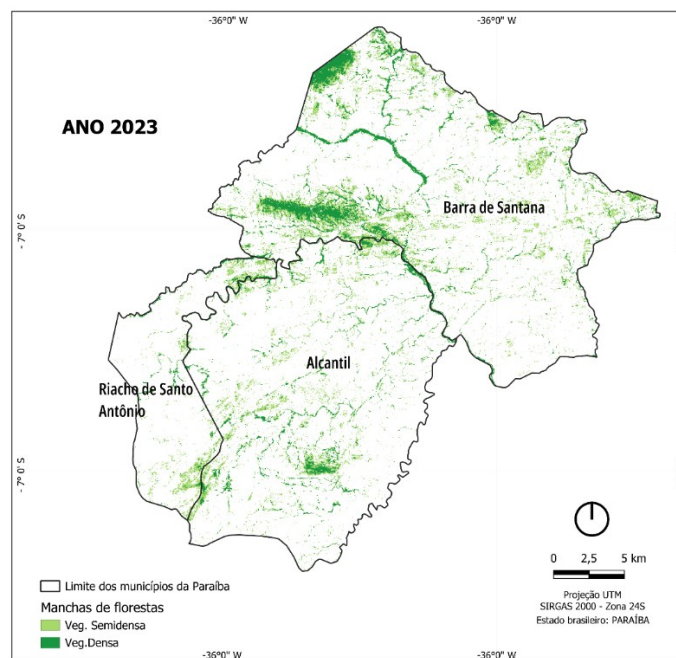


Figura 5 – Modelo temático das machas considerando o termo florestas para os três municípios do Cariri Oriental.

Fonte: Autora (2025); Dados específicos do MapBiomias (2023).

3.1 Vulnerabilidade do Clima

A análise do regime chuvoso dos três municípios considerou um cruzamento entre as condições da temperatura e a pluviometria local. Para o município de Alcantil, nesses últimos 12 anos, houve uma intensa variabilidade nas precipitações, e o ano de 2016 ganha destaque pelo fato de chegar a uma média anual de 200mm, condição grave e extrema, porém em 2022 atingiu uma média significativa de 550mm (AESA, 2023). Conforme a Tabela Z, as temperaturas média anual, entre os anos de 2013 e 2023, mostram que as temperaturas até 2022 oscilavam em torno de 24,4 a 25,8°C, porém em 2023 a realidade da temperatura começou a mudar, apresentando um aumento de 25,9°C. Os anos analisados, considerando a temperatura e as prolongadas estiagens, causaram um grande estresse hídrico e um gradativo processo de degradação da vegetação, o que consequentemente aponta as fragilidades por amostras das fragmentações de floresta e as perdas da biodiversidade. No caso de Barra de Santana, as chuvas, segundo a AESA (2023), também apresentou irregularidades ao longo dos 10 anos, no entanto em 2022, justamente pelo fato dos ciclos atmosféricos irregulares, teve um pico de chuva de mais de 700 mm. Já no ápice da seca grave, entre 2025 e 2027, o registro anual de chuva foi pouco menos que 250 mm. As temperaturas apresentaram valores médios entre 24,9° e 25,7°C, o que demonstra um gradativo aumento, principalmente nos últimos anos 2022 e 2023. Esse comportamento atmosférico e meteorológico associando as atividades antrópicas, comprometem ainda mais o poder de regeneração da cobertura vegetal, e consequentemente a perda de espécies de flora e fauna, situação que se assemelha ao diagnóstico estudado por Souza (2008), no Cariri paraibano, em que as intensas atividades rurais comprometeram a composição do estrato arbóreo e arbustivo da região estudada, em Cabaceiras-PB.

O município de Riacho de Santo Antônio, por também está localizado geograficamente numa região de alta vulnerabilidade climática, teve um aumento nas precipitações no ano de 2022, em que segundo a AESA (2023), foram os melhores meses de chuvas para o Cariri paraibano. No entanto, a força do fenômeno El Niño e outras condições atmosféricas, entre os anos de 2015 e 2016, foram extremamente graves para o município, registrando apenas 150mm. Os registros das temperaturas de maior destaque, conforme o gráfico da Figura 6, mostra um considerado aumento no ano de 2023. Já a Figura 7 já resume a média anual, a qual já responde o aumento a partir do ano de 2022. As áreas fragmentadas desse município foram evidentes na cobertura vegetal, e as altas temperaturas reduzem ainda mais a flora local. Não é tão recente essas condições de degradação no município estudado, haja vista os anos de 2012 a 2023 terem sido castigantes no que diz respeito a perdas de vegetação e espécies animais locais. Conforme Silva (2012), o registro do índice de aridez do município de Riacho de Santo Antônio, em seu diagnóstico climático, foi classificado como muito grave e dentro de uma zona árida.

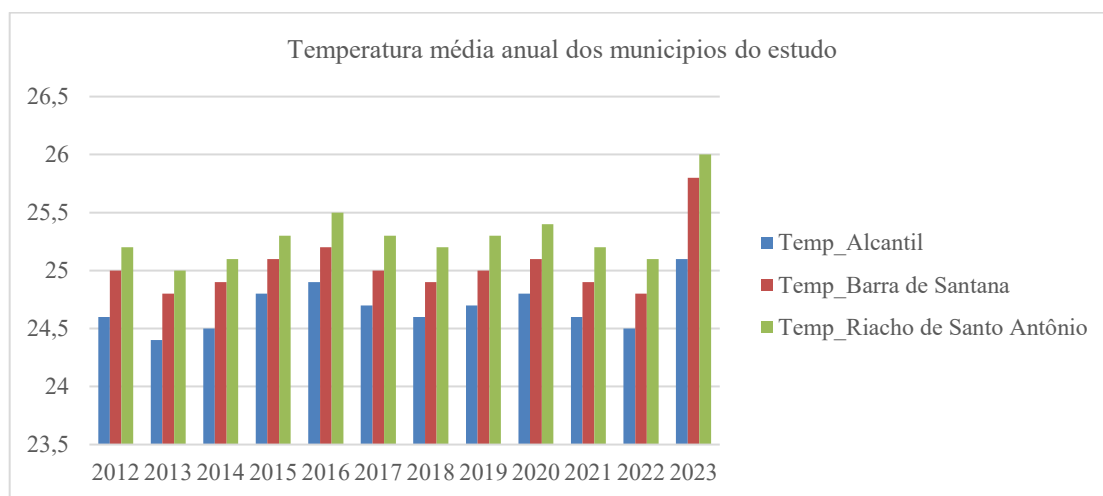


Figura 6 – Gráfico das médias de temperatura dos municípios do Cariri Oriental.

Fonte: AESA (2023).

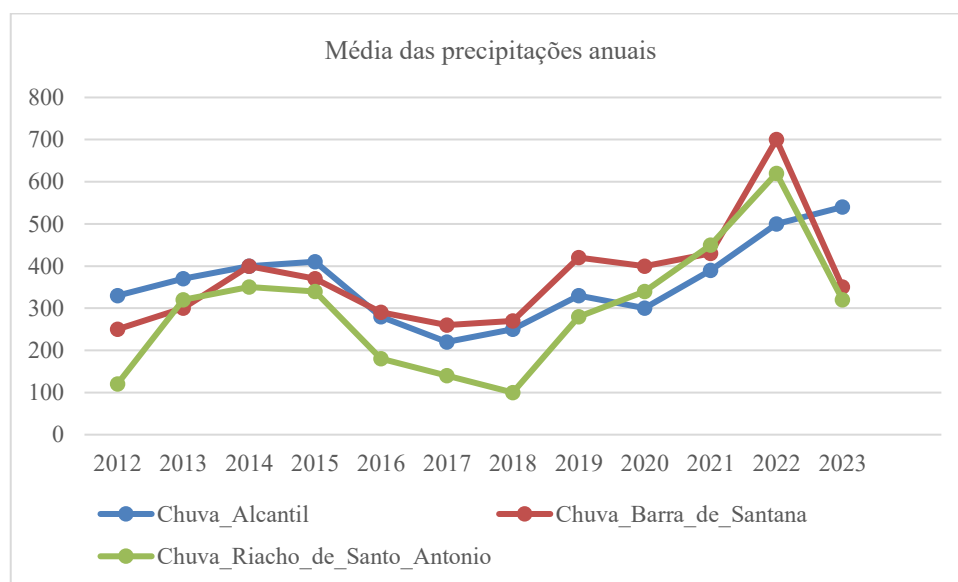


Figura 7 – Média anual das precipitações dos municípios do Cariri Oriental.

Fonte: AESA (2023).

As condições climáticas e suas mudanças ao longo dos mais de 10 anos analisados, mostram que os três municípios estão inseridos dentro de um regime climático que afeta diretamente a biodiversidade, descaracterizando as paisagens nativas do ecossistema do Cariri, em meio a temperaturas que oscilam constantemente, principalmente em épocas de estiagens mais severas. O índice proposto nesse trabalho, o Índice de Integridade Ecológica do Cariri Oriental (ICECO), correlaciona a biodiversidade e o clima, frente aos processos que envolve a perda do habitat e das áreas mais verdes dos municípios. Utilizando os pacotes R e consultando a biblioteca: (library (landscapemetrics), library (dplyr), library (ggplot2) para organizar as informações via script, as informações foram associadas considerando a fauna e flora dos três municípios, situação que de acordo com os autores Lima; Barbosa (2014), Barbosa et al. (2007), Araújo (2012), várias espécies e riqueza florestal, de acordo com os levantamentos científicos e de pesquisa, contribuíram em identificar mais

de 400 espécies de plantas nativas, sendo as mais frequentes (Leguminosae, Euphorbiaceae, Asteraceae, Malvaceae e Cactaceae) e animais nativos com aves e répteis, sendo maior destaque par 218 espécies de aves, (Pintassilgo-do-Nordeste *Spinus yarrellii* e espécies endêmicas), (Zanetti, 2023).

Integrando essa condição ecossistêmica ligada a fauna e flora, ou seja, a biodiversidade local, dos três municípios, e com base na métrica atribuída e NDVI, através do software QGIS3.34, os três eixos: **Cobertura Vegetal (CV)**, **Vulnerabilidade Climática (VC)** e **Resiliência Ecológica (RE)** com os pesos atribuídos referente a sua relevância ecológica ($P1 = 0,6$; $P2 = 0,2$; $P3 = 0,2$), através do R (junção: raster, *landscapemetrics*), os resultados do $(ICECO=(CV \times P1)+(VC \times P2)+(RE \times P3))$ indicaram para os três municípios, como mostra a Tabela 4:

Tabela 4: Resultado do Índice de Integridade Ecológica do Cariri Oriental.

Município	CV	VC	RE	ICECO
Alcantil	0.50	0.70	0.60	0.48
Barra de Santana	0.80	0.40	0.75	0.75
Santo Antônio do Cariri	0.65	0.60	0.70	0.65

Fonte: Elaborado pela autora (2025), adaptado de Acuña-Alonso et al. (2021);

(Graciano-Silva et al. 2018).

Os resultados apontam que, de acordo com os dados do NDVI associado as fragmentações da métrica, no período dos 10 anos, O município de Alcantil, por apresenta um ICECO =048, e fragmentos pequenos ($< 0,01 \text{ km}^2$) geram condições favoráveis ao efeito de borda, reduzindo habitats internos, no entanto pode gerar prejuízos para espécies mais sensíveis. Isso reflete justamente devido a alta vulnerabilidade climática (0,70). Para o município de Barra de Santana ICECO=0,75, os últimos registros de chuvas, associado a menor vulnerabilidade em áreas com o NDVI entre (0,62), já demonstra melhor adaptabilidade de espécies nativas (fauna e flora), se manterem no ambiente, mesmo com os efeitos climáticos das altas temperaturas. O desempenho do ICECO para o município de Riacho de Santo Antônio foi intermediário, com (0,65), mostrando que a fragmentação compromete a fauna, no entanto há um potencial de recuperação, devido a cobertura vegetal ajudar no equilíbrio e no enfrentamento da vulnerabilidade climática.

Considerações finais

A região semiárida da Paraíba é caracterizada por instabilidades climáticas e ao mesmo tempo de um ecossistema resiliente, em que através das mudanças climáticas, põe estratégias de sobrevivência “em jogo”, tentando se conectar com o regime de chuvas (fortes ou fracas) para se adequar a uma melhor sobrevivência. As ferramentas utilizadas nesse trabalho para construção do ICECO, se mostraram altamente eficaz para compreender o estado e a condição ecológica, no que diz respeito aos fenômenos climáticos, mostrando que deve ser utilizada para subsidiar planos de conservação e de gestão ambiental, assim como de justiça socioambiental.

Os dados do NDVI e das métricas, junto aos meteorológicos, evidenciaram que não há Integridade Ecológica do Cariri Oriental plena nos municípios de Alcantil, Barra de Santana e Riacho de Santo Antônio, pois há uma desconexão de vivência da fauna e flora, pois as baixas coberturas vegetal, compromete e dificulta o estado ecológico, e geram riscos de perda da biodiversidade, por estarem expostas demais a altas temperaturas. O cruzamento dos dados geoespaciais, pluviométricos e das fragmentações reforçam a necessidade de políticas ambientais mais focadas na preservação e fechamento de áreas mais sensíveis a atividades antrópicas de maior intensidade.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado por professores da UFCG, UFPB, com a colaboração de dados e apoio da AESA, Campina Grande – PB.

Referências

- AESA- Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba. *Previsão Numérica, Tempo*, 2024. Disponível em: <https://seira.aesa.pb.gov.br/previsao-numerica-tempo/previsao-para-o-estado>. Acesso em: 02 de Agosto de 2025.
- AESA-Agência Executiva de Águas do Estado da Paraíba. 2023. *Menu Chuvas*. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesawebsite/meteorologiachuvas/?formdate=produto=municipio&periodo=anual>. Acesso em: 20 de junho de 2025.
- ACUÑA, A.C.P. FERNANDES, X. ÁLVAREZ, E. VALERO, F.A.L. PACHECO, S.D.G.P. VARANDAS, D.P.S. TERÊNCIO, L.F.S. Fernandes. *Water security and watershed management assessed through the modelling of hydrology and ecological integrity: a study in the Galicia-Costa*, (NW Spain), 2021.
- ANA – Agencia Nacional das Águas. *Nascentes do Brasil*, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh/agencias-de-agua/informes-cacg/2020>. Acesso em: 02 de Agosto de 2025.
- ARAÚJO, H.F.P.; VIEIRA-FILHO, A. H.; CAVALCANTI, T. A.; BARBOS, M. R. V. 2012. Aves e onde elas ocorrem em uma Reserva Particular no Cariri paraibano, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ornitologia (RBO)*. 20(3): 365-377.
- BARBOSA, Et al. 2007. *Vegetação e flora no Cariri paraibano*. Ed. EDUEPB. Campina Grande. 120 p.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. *Desertificação, degradação da terra e seca no semiárido Brasileiro*. Brasília, Brasil: 2016.
- COSTA FILHO, A.; BARBOSA, M. P.; PETTA, A. R. *O uso de geotecnologias no diagnóstico de risco a desertificação no campo Petrolífero Canto do Amaro, município de Mossoró, RN*. Engenharia Ambiental Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n 3, p. 243-253, 2008.
- FEITOSA, P. H. C.; ANDRADE, K. S. de.; BARBOSA, M. P.; RIBEIRO, G. de. N. Avaliação do processo de degradação da cobertura vegetal em serra branca e coixola - pb. *Revista Verde*, Mossoró-RN, V.5, n. 1, p. 1–7, 2010.
- GRACIANO-SILVA, T.; MELLO, K.; CARDOSO-LEITE, E. Adaptação e Eficiência de um Índice de Integridade Biótica para análise da sustentabilidade em florestas urbanas. *Gaia Scientia*, Paraíba, v. 12, n. 2, p. 60-75, 2018.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Panorama da Paraíba*. 2010. Disponível em: cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/panorama. Acesso em: 12 de Agosto de 2025.
- _____. – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades e Estados*. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>. Acesso em: 12 de Agosto de 2025.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. *El Niño 2024: Boletim de junho*, 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/el-ni%C3%B1o-2024-boletim-de-junho>. Acesso em: 29 de julho de 2025.
- IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. *Relatório Síntese sobre Mudança Climática 2023*. Sexto Relatório de Avaliação do IPCC. 2023. APUD Agência Brasil. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-12/brasil-lanca-versao-em-portugues-do-relatorio-sobre-clima-do-ipcc> Acesso em 29 de julho de 2025.
- LIMA, I.B. de, BARBASO, M.R. de V. Composição florística da rppn fazenda almas, no cariri paraibano, Paraíba, Brasil. Departamento de Sistemática e Ecologia, *Revista Nordestina de Biologia*. v.23(1), p.49-6, 2014.
- MAPBIOMAS. *Plataforma Alerta MapBiomias*. 2023. Disponível em: [https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/mapa?monthRange\[0\]=2019-01&monthRange\[1\]=2025-04&sources\[0\]=All&territoryType=all&authorization=all&embargoed=all&locationType=alert_code&activeBaseMap=7&map=-7.316158%2C-36.453318%2C9](https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/mapa?monthRange[0]=2019-01&monthRange[1]=2025-04&sources[0]=All&territoryType=all&authorization=all&embargoed=all&locationType=alert_code&activeBaseMap=7&map=-7.316158%2C-36.453318%2C9). Acesso em: 10 de Agosto de 2025.
- MAS, J.F. et al. *Análise espacial com R*. Feira de Santana: UEFS, Editora, 2019.
- MEDEIROS, H.R, TOREZAN, J.M. Evaluating the ecological integrity of Atlantic Forest remnants by using rapid ecological assessment. *Environ Monit Assess*, 185: 4373–4382.2012.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. *Bioma Caatinga*, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt->

br/assuntos/centros-de-pesquisa/cavernas/publicacoes/relatorio-anual-2022_site.pdf. Acesso em: 30 de julho de 2025.

PAE-PARAÍBA -Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030 : Plano Operacional / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação.* – Brasília : Mapa/DEPROS, 2021.133p.

PAN-BRASIL. Programa Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; *Secretaria de Recursos Hídricos*, 2005.

ROUSE, J. W.; HAAS, R.H., SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERT*. In: Proceeding of ERTS-1 Symposium. Anais ... NASA, United States, n. 3. p. 309-317, 1973.

SALGADO, E.V.; ANDRADE, E.M.; HEVIA, J.N.; NUNES, E.P.; RODRIGUES, M.M.A. Rainfall patterns and the contriution of litter in the caatinga dry tropical forest. *Revista Ciência Agronômica*, v.46,n.2,p.299-309. 2015.

SILVA, V. A. Diversidade de uso das cactáceas no Nordeste do Brasil: Uma Revisão. *Revista Gaia Scientia*, 9(2), 175–182.2015.

SILVA, M.C. da. *O uso de índices climáticos para analise da desertificação no Cariri paraibano*. 68p.Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB.2012.

SOUZA, B.I., de. *Cariri Paraibano: do silêncio do lugar à desertificação*. 198p. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, RS, 2008.

ZANETTI, T. N. *Guia de aves do cariri paraibano* . 63p. 2023. Monografia (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciencias Ambientais, PB.2023.