

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **SUSCETIBILIDADE BIOFÍSICA AOS EVENTOS DE SECAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORURIBE – ALAGOAS, BRASIL**

*Matheus Henrique Olímpio dos Santos<sup>1</sup>; Nathalia Sarmiento Cardoso<sup>2</sup>; Jefferson Santos da Costa<sup>3</sup>;  
Alysson Matheus Pimentel de Moraes<sup>4</sup>; Wesley Douglas Oliveira Silva<sup>5</sup> & Manoel Mariano Neto<sup>6</sup>*

**Abstract:** This study aimed to spatially analyze the biophysical susceptibility to drought events in the Coruripe River basin, in the state of Alagoas. For this purpose, remote sensing data regarding the average slope of the relief, soil surface temperature, Thornthwaite aridity index and land use/cover were used. The variables were normalized and the biophysical susceptibility index to drought occurrence (ISBio) was calculated from the simple arithmetic meaning of these variables. In the Coruripe River basin, classes of medium and low susceptibility to drought events predominate; however, 13.11% of this territory presents high susceptibility. This configuration can favor the occurrence of situations of water scarcity, especially in periods of extreme and exceptional events. The analysis highlights the importance of implementing mitigation strategies, such as soil and water conservation, and the recovery of degraded areas.

**Resumo:** Este trabalho teve por objetivo analisar espacialmente a susceptibilidade biofísica à ocorrência de eventos de secas na bacia hidrográfica do rio Coruripe, no Estado de Alagoas. Para tanto, foram utilizados dados de sensoriamento remoto referentes à declividade média do relevo, temperatura à superfície do solo, o índice de aridez de Thornthwaite e o uso/cobertura do solo. As variáveis foram normalizadas e o índice de suscetibilidade biofísica aos eventos de secas (ISBIO) foi calculado a partir da média aritmética simples dessas variáveis. Constatou-se que na bacia hidrográfica do Rio Coruripe predominam as classes de suscetibilidade média e baixa aos eventos de seca, no entanto, 13,11% desse território apresenta alta suscetibilidade. Essa configuração pode favorecer a ocorrência de situações de escassez hídrica, especialmente em períodos de eventos extremos e excepcionais. A análise destaca a importância de implementar estratégias de mitigação, como a conservação do solo e da água, e a recuperação de áreas degradadas.

**Palavras-Chave** – Eventos climáticos extremos; sensoriamento remoto; recursos hídricos.

## **INTRODUÇÃO**

As secas são fenômenos passíveis de ocorrer em todo o globo terrestre, de modo a culminar em perdas significativas nos âmbitos social, econômico e ambiental (Wilhite, 2016). Esses eventos se caracterizam pelos déficits hídricos naturais e recorrentes, que causam desequilíbrios meteorológicos, hidrológicos, agrícolas e socioeconômicos, afetando tanto o meio ambiente quanto a sociedade (Maia *et al.*, 2021). Por consequência, intensificam a disputa por recursos hídricos,

1) Universidade Federal de Alagoas. E-mail: matheus.olimpio@ctec.ufal.br

2) Universidade Federal de Alagoas. E-mail: nathalia.cardoso@ctec.ufal.br

3) Universidade Federal de Alagoas. E-mail: jefferson.costa@ctec.ufal.br

4) Universidade Federal de Alagoas. E-mail: alysson.morais@ctec.ufal.br

5) Universidade Federal de Alagoas. E-mail: wesley.silva@ceca.ufal.br

6) Universidade Federal de Alagoas. E-mail: manoel.mariano@ctec.ufal.br

elevam a ocorrência de incêndios florestais e podem resultar na migração forçada de populações vulneráveis (Blain *et al.*, 2022).

Nas últimas décadas, tem-se observado um aumento na frequência e intensidade dos eventos de secas em várias regiões do mundo. Essa realidade também é evidente no Brasil e no Estado de Alagoas, que nos últimos anos têm enfrentado repetidos episódios dessa anomalia climática (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, 2024).

De acordo com o Monitor de Secas do Brasil, gerenciado pela ANA (2024), a região Nordeste experimentou um período prolongado de secas entre os anos de 2012 e 2017. Em Alagoas, o auge desse fenômeno ocorreu em 2017, quando 61,64% do território estadual foi afetado por uma Seca Extrema, que afetou de maneira mais intensa o sertão alagoano, uma vez que a economia dessa região é fortemente dependente da agropecuária (Aquino *et al.*, 2017; SEAGRI, 2024).

Dentre os aspectos que permitem caracterizar, avaliar e monitorar as secas, destaca-se a suscetibilidade biofísica, definida como a propensão de uma região a sofrer impactos ambientais adversos devido às suas características naturais (Listo, 2011; Santos; Cruz, 2020). Dessa maneira, a suscetibilidade biofísica à ocorrência de secas, é determinada por variáveis inter-relacionadas, como a precipitação, a temperatura, os tipos de solos e as condições de uso e cobertura da terra (Bitar, 2014; Santos; Cruz; Mendes, 2020).

Diante dos fatos destacados, esse estudo aborda a bacia hidrográfica do rio Coruripe, localizada na porção central do Estado de Alagoas. A escolha dessa localidade se deu pela transição entre o sertão e o litoral, aspecto que a torna singular e propícia para o estudo proposto.

Assim, esta pesquisa teve como objetivo analisar espacialmente a suscetibilidade biofísica aos eventos de seca na bacia hidrográfica do rio Coruripe. Para tanto, foi necessário identificar os principais fatores biofísicos que influenciam a ocorrência desses eventos, selecionar indicadores relevantes para a avaliação da suscetibilidade e, por fim, propor um modelo integrado de análise que considere a interação entre essas variáveis.

## **METODOLOGIA**

### **Área de estudo**

A bacia hidrográfica do rio Coruripe (Figura 1) está localizada em Alagoas, na parte central do estado, com uma área de aproximadamente 1694,32 km<sup>2</sup>. Essa porção geográfica vem sofrendo diversas alterações espaciais ao longo dos anos, em virtude das diversificações das atividades agropecuárias e do processo de urbanização (Santos; Monteiro *et al.*, 2019). A hipsometria varia de 1 a 691 metros, com as cotas mais baixas localizadas próximas ao exutório, enquanto as altitudes mais elevadas são registradas na porção norte da bacia.

Ao analisar a normal climatológica para o intervalo entre 1991 e 2020 (Figura 2), observa-se que a bacia do rio Coruripe apresentou uma média pluviométrica de 824,99 mm, o menor e o maior valor registrado corresponderam a 528,72 mm e 1.171,20 mm, nos anos de 1993 e 2002, respectivamente. Foram registradas a ocorrência de chuvas abaixo da média em cinco anos consecutivos (2015 a 2019), fato que evidencia a seca meteorológica na região.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Coruripe

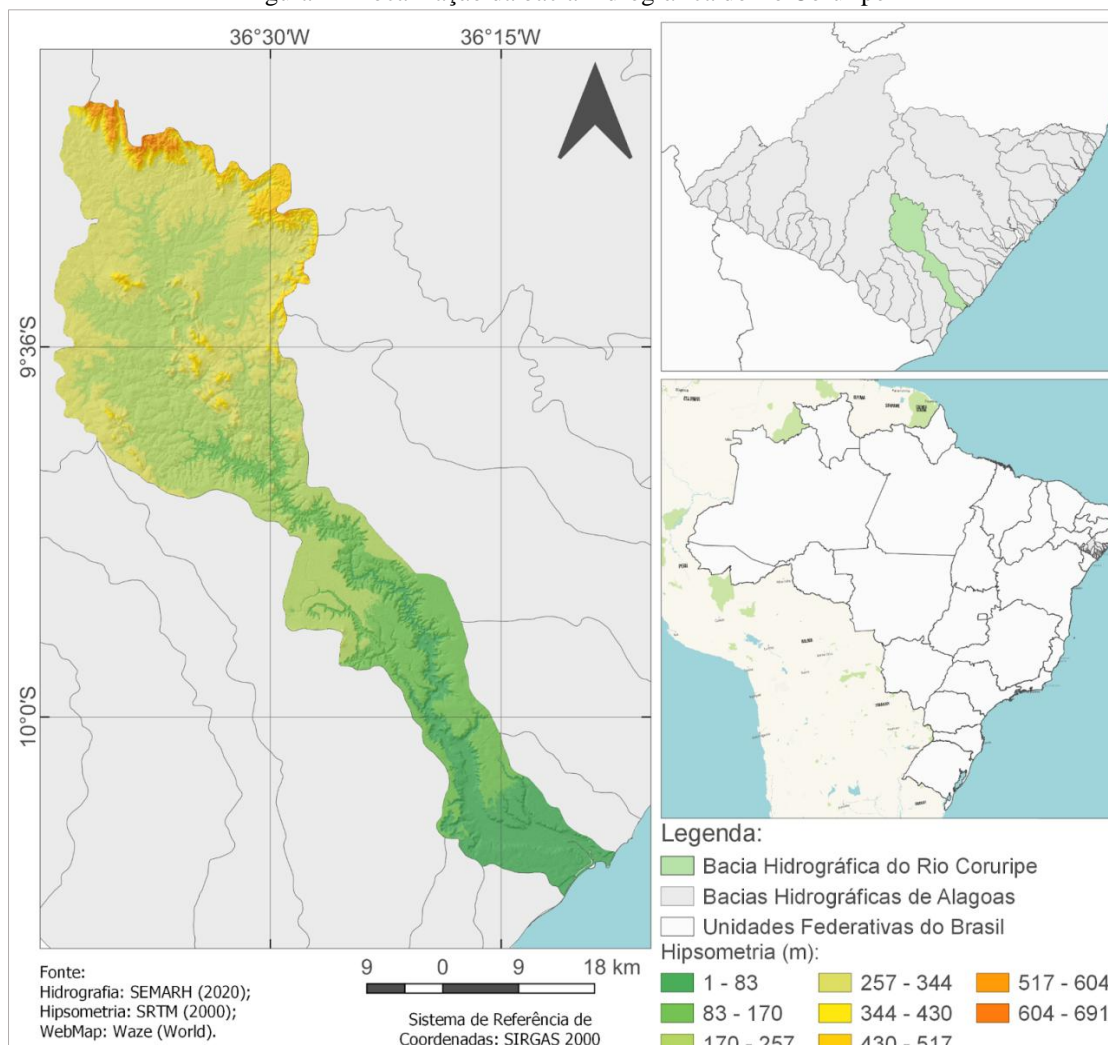
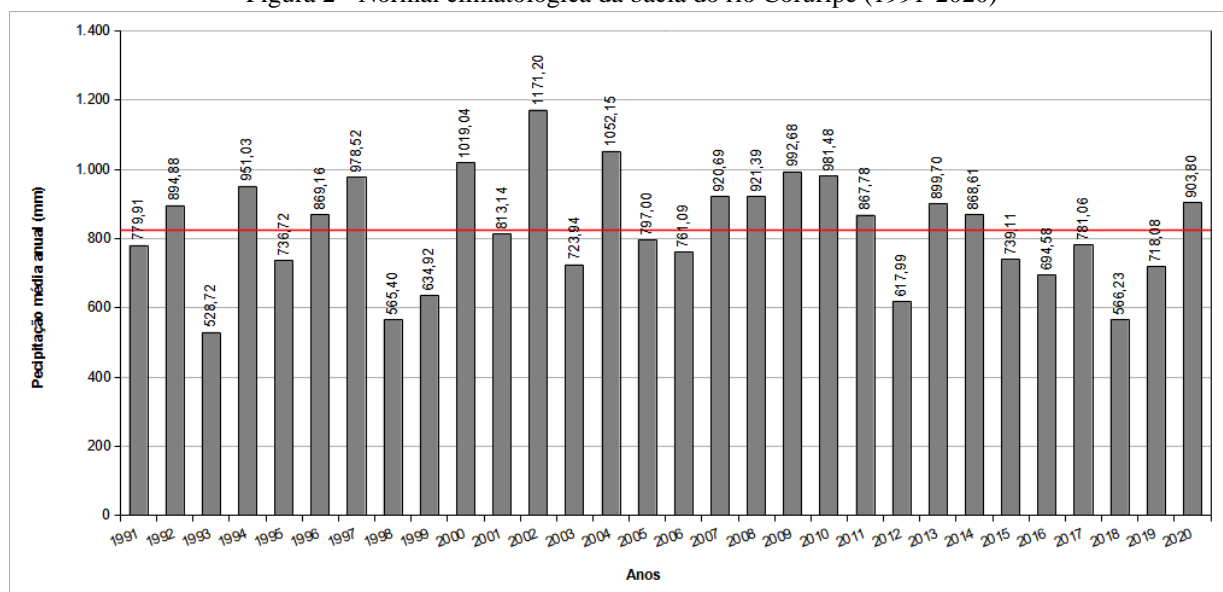


Figura 2 - Normal climatológica da bacia do rio Coruripe (1991-2020)



Fonte: CHIRPS - NASA (2024b). Elaborado pelos autores, 2025.

## Procedimentos metodológicos

Foram selecionadas e integradas quatro variáveis biofísicas: declividade média do relevo (DM), temperatura à superfície do solo (TS), uso e cobertura do solo (US) e o índice de aridez (IA), conforme apresentado na Tabela 1 e Equação 1.

Tabela 1 - Variáveis utilizadas para avaliar a suscetibilidade biofísica à ocorrência de secas

Variáveis	Descrição	Fontes
Declividade média do solo	Calculada em porcentagem, a partir do MDE-SRTM 30m.	NASA (2013)
Temperatura à superfície do solo	Média anual para 2023, calculada a partir do produto MOD11C3, obtido pelo Satélite Terra, Sensor MODIS.	NASA (2024a)
Índice de Aridez	Utilizou-se o modelo de Thornthwaite (1948). Calculado a partir da precipitação anual (CHIRPS) e da evapotranspiração líquida anual (produto MOD16A3, Satélite Terra, Sensor MODIS), para o ano de 2023.	NASA (2024b), (NASA, 2024c)
Uso e cobertura do solo	Dados de 2022 (o mais recente disponível).	MAPBIOMAS (2023)

$$ISBio = (DM + TS + US + IA) / 4 \quad (1)$$

A declividade média do relevo permite avaliar aspectos como erosão, escoamento superficial e a aptidão do solo para diferentes usos. A temperatura à superfície do solo está diretamente relacionada aos processos hidrológicos, como evapotranspiração e umidade do solo, além do microclima.

O uso e cobertura do solo caracteriza como a terra é utilizada, se caracteriza como uma variável chave para analisar a pressão sobre os recursos naturais e os padrões de ocupação territorial. Já o índice de aridez, mede a relação entre precipitação e evapotranspiração, indicando o grau de aridez de uma região e, consequentemente, a disponibilidade de água e o risco de desertificação (Santos; Cruz, 2020).

As variáveis foram processadas com o auxílio do software QGIS versão 3.34. Devido às diferentes unidades de medida das variáveis, foi necessário normalizar os dados para viabilizar a composição do Índice de Suscetibilidade Biofísica aos eventos de secas (ISBio) e garantir a compatibilidade entre as escalas. Para isso, aplicou-se a Equação 2 às variáveis cuja maior magnitude representa maior suscetibilidade: declividade média do relevo (DM), temperatura da superfície do solo (TS) e uso e cobertura do solo (US). Já para o índice de aridez (IA), cuja menor magnitude indica maior suscetibilidade, utilizou-se a Equação 3.

$$Imax = (indicador - V_{\text{mínimo}}) / (V_{\text{máximo}} - V_{\text{mínimo}}) \quad (2)$$

$$Imín = 1 - (indicador - V_{\text{mínimo}}) / (V_{\text{máximo}} - V_{\text{mínimo}}) \quad (3)$$

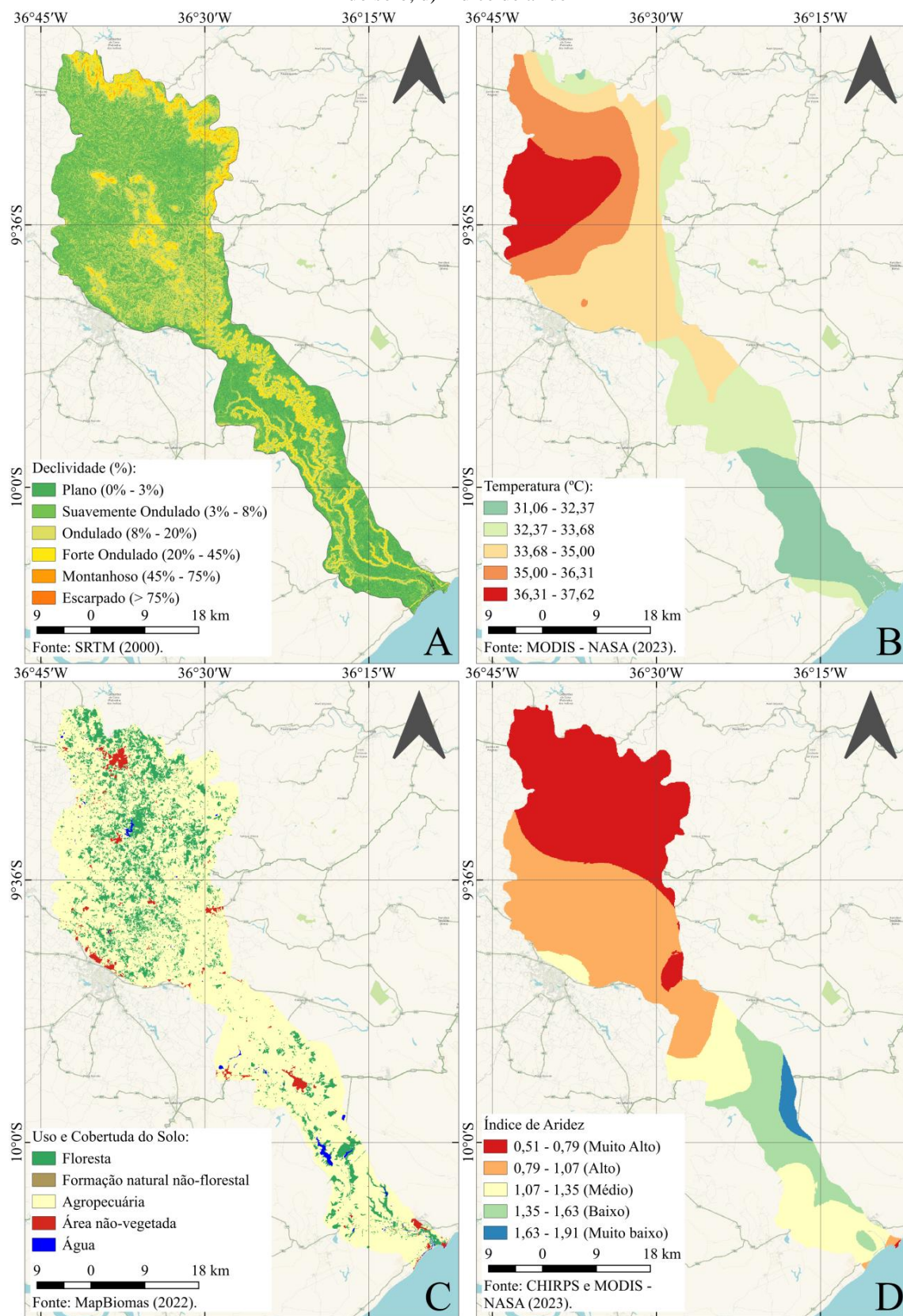
Onde:  $Imax$  = Valor normalizado para o indicador a ser maximizado;  $Imín$  = Valor normalizado para o indicador a ser minimizado;  $V_{\text{máximo}}$  = Valor máximo observado para o indicador;  $V_{\text{mínimo}}$  = Valor mínimo observado para o indicador.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As variáveis biofísicas utilizadas no estudo estão espacializadas na Figura 3.



Figura 3 – Variáveis biofísicas: a) Declividade média do solo, b) Temperatura à superfície do solo, c) Uso e Cobertura do solo, d) Índice de aridez



Sistema de Referência de Coordenadas: SIRGAS 2000.

Fonte das informações: Divisão hidrográfica (SEMARH, 2020), BaseMap (Waze World).

Ao analisar o relevo da bacia hidrográfica do rio Coruripe (Figura 3a e Tabela 2), observa-se que a classe de declividade suavemente ondulada (3% - 8%) predomina, abrangendo 43,71% da área. O relevo ondulado (8% - 20%) ocupa 27,99%, enquanto a classe de relevo plano (0% - 3%) corresponde a 17,63% da área. As demais classes apresentam menor abrangência: o relevo fortemente ondulado (20% - 45%) representa 9,97%, o montanhoso (45% - 75%) cobre 0,68%, e o escarpado (>75%) ocupa apenas 0,01%.

Tabela 2 - Declividade média do relevo (Dm)

<b>Classes</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual (%)</b>
Plano	299,06	17,63%
Suavemente Ondulado	741,47	43,71%
Ondulado	474,81	27,99%
Forte Ondulado	169,11	9,97%
Montanhoso	11,60	0,68%
Escarpado	0,13	0,01%

As classes com maior inclinação aumentam a intensidade do escoamento da água, reduzindo a infiltração no solo e o armazenamento no subsolo. Essas áreas também são mais vulneráveis à erosão, agravando os efeitos das secas. Além disso, a vegetação tende a ser menos densa e mais irregular em terrenos inclinados (Souza *et al.*, 2022).

A temperatura à superfície do solo variou entre 31,06 °C e 37,60 °C (Figura 3b e Tabela 3). A ocorrência de temperaturas elevadas acelera a degradação da matéria orgânica e pode destruir a biota do solo, resultando em menor fertilidade e capacidade de retenção de água (Silveiro *et al.*, 2024). Essa questão se torna especialmente preocupante nas áreas da bacia onde foram registradas temperaturas acima de 35,00 °C, contribuindo significativamente para a degradação do solo e exacerbando as condições de seca.

Tabela 3 - Temperatura à superfície do solo

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual (%)</b>
31,06 - 32,37	251,99	14,86%
32,37 - 33,68	359,00	21,16%
33,68 - 35,00	525,61	30,99%
35,00 - 36,31	323,87	19,09%
36,31 - 37,62	235,77	13,90%

Na bacia do rio Coruripe, a alta temperatura do solo, junto com a baixa precipitação e a aridez, faz a água evaporar mais rapidamente, o que reduz a umidade do solo. Isso agrava as secas e torna a região mais vulnerável, dificultando a recuperação das áreas afetadas (Santos; Cruz, 2020).

No tocante às condições de uso e cobertura do solo (Figura 3c e Tabela 4) a maior parte da bacia do rio Coruripe é destinada à agropecuária, ocupando 80,35% da área total. A segunda categoria mais significativa é a de floresta, que representa 16,96%, mais comum na porção norte, de forma fragmentada. Outros usos do solo incluem áreas não-vegetadas (2,06%), corpos d'água (0,56%) e formações naturais não-florestais (0,07%).

A predominância de atividades agropecuárias pode levar à degradação ambiental, perda de biodiversidade, e impactos negativos nos recursos hídricos da bacia do rio Coruripe. Em relação às

secas, essas atividades geralmente demandam grande quantidade de água e podem levar ao desmatamento, agravando a escassez hídrica e comprometendo a sustentabilidade da bacia hidrográfica (Santos, 2018).

Tabela 4 – Uso e cobertura do solo

<b>Classes</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual (%)</b>
Floresta	287,60	16,96%
Formação natural não florestal	1,22	0,07%
Agropecuária	1.362,41	80,35%
Área não vegetada	34,88	2,06%
Água	9,42	0,56%

Ao analisar os valores calculados para o índice de aridez (Figura 3d e Tabela 5), verificou-se a predominância das classes muito alta (0,51 - 0,79), com 35,06%; e alta (0,79 - 1,07), com 34,84%, especialmente na região norte da bacia. Logo, pode-se concluir que a parte superior da bacia apresenta maior severidade de aridez, enquanto os níveis de aridez diminuem em direção à parte inferior, fenômeno justificado pelos menores valores de precipitação e elevada evapotranspiração.

Tabela 5 – Índice de aridez

<b>Classes</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual</b>
Muito Alto	594,62	35,06%
Alto	590,93	34,84%
Médio	291,08	17,16%
Baixo	191,60	11,30%
Muito Baixo	28,02	1,65%

Evidencia-se que a maior parte da bacia do rio Coruripe, especialmente a porção norte, enfrenta um rigor climático mais acentuado, tornando-a mais suscetível às secas, sobretudo devido ao déficit hídrico. Portanto, é crucial adotar medidas para reduzir os impactos das secas recorrentes, como aprimoramento da conservação da vegetação e gerenciamento eficiente dos recursos hídricos.

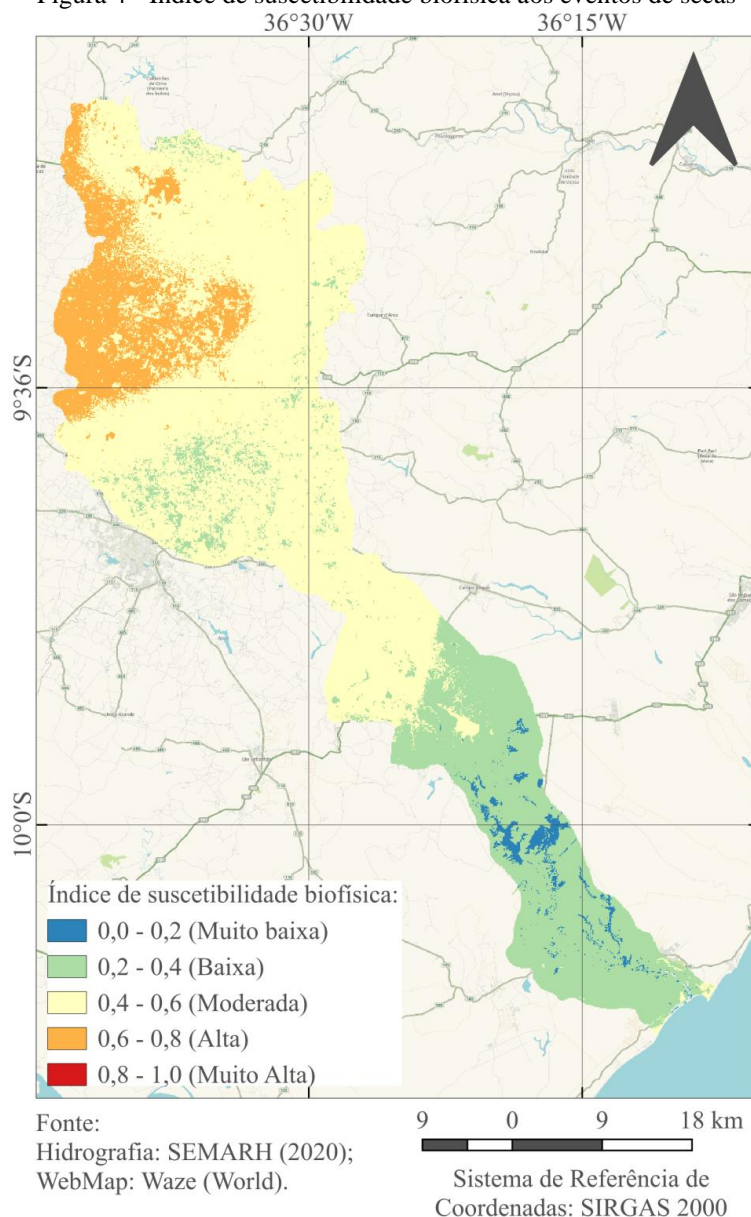
Ao compor o índice de suscetibilidade biofísica aos eventos de secas, constatou-se que na bacia hidrográfica do rio Coruripe predominam as classes de moderada e baixa suscetibilidade (Tabela 6 e Figura 4), que abrangem 59,62% e 25,65% da área, respectivamente. Essas classes estão distribuídas nas porções da bacia caracterizadas por relevo ondulado e fortemente ondulado, alta aridez e temperaturas variando entre 32,37 °C e 35,00 °C.

Tabela 6 – Índice de suscetibilidade biofísica aos eventos de secas

<b>Índice</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual</b>
Muito Baixa	27,31	1,61%
Baixa	433,96	25,65%
Média	1.008,51	59,62%
Alta	221,76	13,11%



Figura 4 - Índice de suscetibilidade biofísica aos eventos de secas



A classe de suscetibilidade alta corresponde a 13,11% da área e está associada a relevo ondulado a fortemente ondulado, com aridez alta a muito alta e temperaturas variando entre 35,00 °C e 37,62 °C.

Por outro lado, a classe de suscetibilidade muito baixa abrange 1,61% da área, predominando em regiões de relevo plano a suavemente ondulado, com baixa a média aridez, temperaturas entre 31,06 °C e 33,68 °C. A proximidade com o oceano Atlântico contribui para a redução das temperaturas e da aridez nessas regiões. Não foram identificadas áreas pertencentes à classe de suscetibilidade muito alta.

De acordo com a estatística descritiva (Tabela 7), a bacia hidrográfica do rio Coruripe apresenta suscetibilidade biofísica moderada aos eventos de secas, com valor médio do ISBf de 0,47. Aspecto relacionado especialmente as condições de uso e cobertura do solo, elevadas temperaturas e elevado índice de aridez.



Tabela 7 - Estatística descritiva para o ISBio

Parâmetros	Valores
Valor máximo	0,72
Valor mínimo	0,07
Média	0,47
Desvio padrão	0,11

## CONCLUSÃO

Na bacia hidrográfica do rio Coruripe, predominam as classes de suscetibilidade média e baixa aos eventos de seca, no entanto, 13,11% desse território apresenta alta suscetibilidade. Essa configuração pode favorecer a ocorrência de situações de escassez hídrica, especialmente em períodos de eventos extremos e excepcionais. Nesses cenários, os impactos podem comprometer a sustentabilidade das atividades econômicas, além de prejudicar a conservação da biodiversidade local, ampliando os efeitos das adversidades relacionadas às secas.

O índice de suscetibilidade biofísica aos eventos de seca é uma ferramenta que orienta a gestão, o planejamento e a formulação de políticas públicas voltadas à convivência com a seca. Ao oferecer uma visão detalhada das áreas mais vulneráveis, subsidia a tomada de decisões sobre prioridades para ações de conservação, práticas de manejo sustentável e direcionamento de investimentos em infraestrutura hídrica.

Para pesquisas futuras, recomenda-se aperfeiçoar o cálculo do índice de suscetibilidade a partir de métodos de análise multicritério. Também é sugerido realizar análises temporais para identificar padrões de mudança ao longo do tempo e áreas que estão se tornando mais suscetíveis. Essas abordagens podem ajudar a entender melhor as dinâmicas ambientais da bacia e a formular estratégias adaptativas mais eficazes diante das mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. **Monitor de Secas do Brasil**. Disponível em: <https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=4&ano=2024>. Acesso em: 19 Abril. 2024.

AQUINO, J. R.; FREIRE, J. A.; CARVALHO, A. C. A. T. Importância, heterogeneidade e pobreza da agricultura familiar no estado do Rio Grande do Norte. **Revista Geotemas**, v. 7, n. 2, p. 66-92, 2017.

BITAR, Omar Yazbeck. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações:1:25.000 (livro eletrônico):nota técnica explicativa. **São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**. Brasília, 2014.

BLAIN, G. C.; ROCHA, G. R.; MARTINS, L. L. Elevações na frequência de ocorrência de secas meteorológicas no Estado de São Paulo sob condições de mudanças climáticas. **Derbyana**, v. 44, 2023.

LISTO, F. L. R. Análise da suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na Bacia do Alto Aricanduva, RMSP (SP), 2011. **Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo**. São Paulo, 2011.

MAIA, Y. A. B.; BRITO, H. C.; RUFINO, I. A. A.; BRAGA.; C. F. C. Panorama da seca plurianual 2012–2018 no semiáridobrasileiro: impactos hidrológicos, agrícolas e medidas de convivência. **Desenvolvimento e Meio Ambiente - DMA**, Vol. 58, p. 911-931, jul./dez. 2021.

MAPBIOMAS. Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, 1985-2022. São Paulo: **MapBiomias**, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), 30 meter resolution**. Washington, D.C.: NASA, 2013. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **MOD11C3 - Land Surface Temperature and Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG**. Washington, D.C.: NASA LP DAAC, 2024a. Disponível em: <https://earthdata.nasa.gov/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **CHIRPS: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data, Annual Precipitation**. Washington, D.C.: NASA, 2024b. Disponível em: <https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/>. Acesso em: 13 ago. 2024.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **MOD16A3 - Annual Terrestrial Evapotranspiration (ET), 2023**. Washington, D.C.: NASA, 2024c. Disponível em: <URL>. Acesso em: 13 ago. 2024.

SEAGRI, **Secretaria de Agricultura de Alagoas**. Disponível em: [Página Web Bloqueada \(agricultura.al.gov.br\)](https://agricultura.al.gov.br). Acesso em: 08/08/2024.

SANTOS, J. E. B.; MONTEIRO, K. A. Caracterização morfométrica da bacia do rio Coruripe, Alagoas. **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada - SBGFA**. Fortaleza, 2019.

SANTOS, F. A.; CRUZ, M. L. B. Indicadores biofísicos e a suscetibilidade a secas do alto vale da sub-bacia do rio piracuruca (CE-PI). **GEOgraphia**, v. 22, n. 49, 27 nov. 2020.

SANTOS, L. **Alterações espaciais na bacia hidrográfica do Rio Coruripe, Alagoas**. 87 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2018.

SILVEIRO, A. C.; SILVÉRIO, D. V.; MACEDO, M. N.; COE, M. T.; MARACAHIPES, L.; URIBE, M.; BRANDO, P. M. Droughts amplify soil moisture losses in burned forests of southeastern Amazonia. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 129, n. 10, p. e2024JG008011, 2024.

SOUZA, A. C. N.; SOUZA, S. D. G.; SOUSA, M. L. M. Paisagens semiáridas e desertificação: indicadores geobiofísicos de relevo, clima e recursos hídricos na sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, Ceará. **GeoSaberes**, v. 13, 2022.

SANTOS, F. A.; CRUZ, M. L. B.; MENDES, L. M. S. Suscetibilidade biofísica a secas da sub-bacia hidrográfica do rio piracuruca (CE-PI): biophysical susceptibility of drying of the piracuruca river sub-basin (CE-PI). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 40, n. 01, p. 1–20, 2020.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

WILHITE, D. A. **Droughts: a global assesment**. Routledge, 2016.