ANÁLISE GEOGRÁFICA DAS TENDÊNCIAS DE PRECIPITAÇÃO NO RIO GRANDE DO NORTE

GEOGRAPHIC ANALYSIS OF PRECIPITATION TRENDS IN RIO GRANDE DO NORTE STATE

ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE LAS TENDENCIAS DE PRECIPITACIÓN EN RIO GRANDE DO NORTE

Lucas Lima Ferreira
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
lucaslima0098@gmail.com

Francisco Jablinski Castelhano
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
francisco.castelhano@ufrn.br

Destaques

- Verificou-se tendência estatística negativa significativa nos índices pluviométricos do Rio Grande do Norte entre 2003 e 2019, abrangendo todos os 167 municípios analisados.
- As regiões ocidentais, notadamente Mossoró e Pau dos Ferros, apresentaram maior intensidade de decréscimo pluviométrico, evidenciando processos de aridificação regional progressiva.
- A utilização de dados de sensoriamento remoto e do teste não paramétrico de Mann-Kendall proporcionou robustez estatística à análise das tendências pluviométricas estaduais.
- Os resultados apontam a necessidade de políticas públicas voltadas à mitigação da vulnerabilidade hídrica e ao planejamento territorial frente à variabilidade climática.
- Observou-se padrão espacial de redução pluviométrica com intensificação gradativa do leste para o oeste, associado a fatores atmosféricos e transformações antrópicas.

v. 17, n. 33, 2026 - ISSN 2176-9559
REL/DOI 10.30612

RESUMO

Essa pesquisa se propõe a realizar um estudo analítico das tendências pluviométricas sobre o estado do Rio Grande do Norte durante o período 2003-2019, de forma a observar e analisar geograficamente os aumentos e diminuição nos valores anuais de chuva nos municípios do estado. Para tanto, foram utilizados dados de sensoriamento remoto para todos os 167 municípios do estado, com resolução temporal diária, como fonte para essa análise. Os dados passaram por tratamento inicial em ambiente excel e posteriormente testes de tendência de Mann Kendall através do software RStudio. Os resultados foram mapeados junto ao software Qgis e permitiram observar que os 167 municípios, do estado do Rio Grande do Norte apresentam tendência estatística negativa significativa nos níveis de precipitação, com a região do oeste do estado com maior aumento nesses níveis e a porção leste as menores.

Palavras-chave: Chuvas. Território Potiguar. Semiárido Nordestino. Variabilidade Climática. Geografia.

ABSTRACT

This research purposes an analytical study of rainfall trends in the state of Rio Grande do Norte, northeast Brazil, during the period 2003-2019, to observe and geographically analyze the increases and decreases in annual precipitation values in the state's municipalities. We used remote sensing data for all 167 municipalities in the state, with daily resolution as a source for this analysis. The data passed by an initial treatment in an Excel environment and later Mann Kendall trend tests using RStudio software were applied. The results were mapped with Qgis software and allowed us to observe that the 167 municipalities in the state of Rio Grande do Norte present a significant negative statistical trend in precipitation levels, with the western region of the state having the greatest increase in these levels and the eastern portion the smallest.

Keywords: Rainfall. Potiguar Territory. Northeast Semiarid. Climate Variability. Geography

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo realizar un estudio analítico de las tendencias de las precipitaciones en el estado de Rio Grande do Norte durante el período 2003-2019, con el fin de observar y analizar geográficamente los aumentos y disminuciones de los valores anuales de precipitaciones en los municipios del estado. Para este fin, se utilizaron datos de teledetección de los 167 municipios del estado, con resolución temporal diaria, como fuente para este análisis. Los datos se sometieron a un procesamiento inicial en un entorno Excel y posteriormente a pruebas de tendencias de Mann Kendall utilizando el software RStudio. Los resultados fueron mapeados mediante el software Qgis y permitieron observar que los 167 municipios del estado de Rio Grande do Norte presentan una tendencia estadística negativa significativa en los niveles de precipitación, siendo la región occidental del estado la que presenta el mayor aumento en estos niveles y la porción oriental las menores.

Palabras clave: Precipitaciones. Territorio Potiguar. Semiárido Nordeste. Variabilidad climática. Geografía

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais são um fenômeno que se encontram em evidência ao redor do globo. Embora ele seja discutido desde meados da década de 1970, suas repercussões são sentidas de forma mais evidente nas últimas décadas, o que traz consequências em diversos espectros da vivência humana. Tal ocorrência é fruto da intensificação do Efeito Estufa, este que ocorreria naturalmente, mas a partir de diversas atividades humanas que envolvem emissões de gases como dióxido de carbono, tem se intensificado e alterado as dinâmicas naturais da atmosfera.

Se até o começo do século as mudanças climáticas povoavam o plano futuro e contribuam para a formação de um imaginário distópico, na última década, o intensificar dos seus processos o fez adquirir tons de crise, povoar o tempo presente, e tornar necessária que ações e medidas para sua mitigação e adaptação sejam alavancadas com certo grau de urgência.

A falta de temperança na queima de combustível fóssil e o desmatamento são exemplos de ações antrópicas que acabam por incrementar as emissões de gases como CO_2 fato que gera impactos na atmosfera e repercute em desequilíbrios climáticos. A título de exemplo, de acordo com informações recentes da Organização das Nações Unidas (2021) a temperatura da Terra terá um aumento, nos próximos anos de 1,5°C.

Outro elemento climático possivelmente impactado pelos cenários de mudanças climáticas são as precipitações, de acordo com IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change* ou Painel intergovernamental de mudanças climáticas) são os regimes de chuva, que passarão por mudanças distintas ao redor do globo, com localidades que apresentam tendências a aridez, e outras a incremento (Martel et al., 2021).

Especificamente para o cenário sul-americano, os modelos mais recentes têm apresentado cenários de grande variação espaço-temporal. Modelos globais recentes (CMIP6) tem revelado possíveis cenários de seca na região amazônica, bem como aumento na precipitação no sudeste brasileiro. No nordeste brasileiro, os cenários até a metade do século (2040-2059) têm apontado para maior concentração da chuva nos meses

chuvosos. Tal situação se intensifica nos cenários que projetam o final do século (2080-2099) (Almazroui et al., 2021).

A aplicação de modelos em escala global, todavia, ainda gera dúvidas e em alguns casos pouca robustez estatística, levantando a necessidade de estudos em escalas regionais, que possam aproximar tal fenômeno da realidade social.

Assim, em consideração a disparidade de cenários apresentados para a precipitação, faz-se necessário que estudos na escala do regional e local sejam realizados de forma a aproximar o fenômeno cuja origem encontra-se no âmbito do global para tais dimensões, de modo a municiar tomadores de decisão no que tange o planejamento e ordenamento dos territórios.

A partir desta premissa, este trabalho tem como objetivo analisar as alterações dos regimes de precipitações pluviais nos municípios do estado do Rio Grande do Norte, região nordeste do Brasil, e na sequência, identificar os possíveis padrões geográficos para possíveis variações neste elemento climático no estado. O estudo pretende quantificar os aumentos e/ou decréscimos nas chuvas em cada município potiguar, a partir de fatores como mudanças climáticas, interferências antrópicas e outros elementos que possam ter impacto na dinâmica das chuvas.

Dessa forma, espera-se que este trabalho possa contribuir para uma melhor compreensão das condições climáticas do Rio Grande do Norte no contexto da Crise Climática e fornecer informações relevantes para a formulação de políticas públicas efetivas de gestão e adaptação às mudanças climáticas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para compreender a dinâmica temporal das chuvas no estado do Rio Grande do Norte, faz se necessário que primeiro revisemos quais os principais sistemas climáticos que são responsáveis pela precipitação para o estado da região nordeste do país, como a ZCIT, DOL e VCANs que serão os sistemas climáticos brevemente apresentados a seguir.

Zona de Convergência Intertropical

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um sistema meteorológico que flutua por toda a região equatorial. Sua formação se dá pelo aquecimento diferencial da região, e consequente formação de um cinturão de baixa pressão por toda a porção equatorial, e tendo como resultado, constantes movimentos de deslocamento de ar dos hemisférios norte e sul rumo ao Equador, e gerando convecções de ar umedecido, o que ocasiona em precipitações. Ao longo do ano, a ZCIT apresenta movimentos sazonais, deslocando-se para o norte nos meses de agosto-setembro e para o sul nos meses de março-abril, de acordo com a temperatura de superfície do mar (Borsato,2016).

Admite-se que sua posição predominante da ZCIT ao longo do ano está relacionada às temperaturas mais frias das águas na região equatorial leste dos oceanos. Ela tende a atuar preferencialmente nas áreas tropicais, onde as águas são mais quentes e desempenha papel crucial na geração de chuvas sobre as áreas equatoriais dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, assim como em regiões continentais (Cavalcante et al., 2009).

Na região Nordeste, estimativas recentes têm apontado para a influência do deslocamento latitudinal desse sistema como determinantes para a história moderna das sociedades do nordeste brasileiro, refletindo em períodos de seca mais intensa sobretudo nos últimos 500 anos (Utida et al., 2023)

A ZCIT desempenha um papel importante para a distribuição de chuvas nas áreas equatoriais dos oceanos e em regiões continentais, atuando diretamente na ocorrência de eventos extremos de chuva (Lyra et al., 2025). No Rio Grande do Norte, sua atuação sobretudo no litoral norte e leste é mais intensa durante o verão e início de outono (Lucena et al, 2018).

Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

Outro sistema que afeta as chuvas na região são os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), que desempenham um papel significativo na região Nordeste do Brasil, compondo um dos três sistemas meteorológicos mais atuantes na região. Caracterizados por um centro de pressão baixa, eles tendem a ser predominantemente estacionários, embora possam apresentar movimentos lentos de leste a oeste e persistir

por vários dias. Em sua atuação ocorrem movimentos verticais ascendentes em seu centro e descendentes em sua periferia, o que torna sua região central de atuação seca e suas franjas chuvosas. Esses sistemas são classificados em dois tipos: vórtices Palmén, originados em latitudes extratropicais, e vórtices Palmer, com origem nos trópicos (Cavalcante et al., 2009).

Durante os meses de dezembro a fevereiro, no verão brasileiro, os VCANs de origem tropical têm uma duração média de 4 a 11 dias, fato que influencia o clima da região Nordeste e resulta em períodos de chuvas. Quando surgem no continente, a periferia nordestina pode apresentar nebulosidade, enquanto parte da região desfruta de céu claro devido aos movimentos descendentes em seu centro, assim, consideram-se os VCANS como sistemas que tanto causam chuvas, como dificultam sua formação (Lucena et al, 2018). Além disso, os VCANs interagem com outros dois sistemas meteorológicos relevantes: a Alta da Bolívia (AB) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Cavalcante et al., 2009).

Além dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), é importante mencionar a interação desses sistemas com as Altas da Bolívia (AB) e as Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Embora esses sistemas não tenham uma atuação direta sobre o estado do Rio Grande do Norte, acabam exercendo influência no clima e nas condições meteorológicas na região Nordeste, atuando na variação espaço-temporal da precipitação na região (Diniz e Pereira, 2015, Costa et al., 2021)

Distúrbios Ondulatórios de Leste

Um terceiro sistema que traz precipitações para o Rio Grande do Norte são os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), originárias da costa oeste africana, desempenham um papel significativo na formação de tempestades e furacões no Oceano Atlântico. Embora sejam menos ativas no contexto sinótico da América do Sul em comparação com sua atuação na região do Sahel africano, no nordeste brasileiro essas ondas desempenham um papel fundamental na modulação da convecção em muitos eventos oceânicos de grande escala (Cavalcante et al., 2009).

Esse sistema, tem um período de atuação no litoral do nordeste, de acordo com o monitoramento da (National Meteorological Center, atual National Centers for Environmental Prediction – NCEP) de 4 a 6 dias em níveis de 700 ou de 500 hPa, com ondas de 6.000Km de comprimento e velocidade 1.200Km por dia (Ferreira, Cavalcante. 2022).

Os estudos sobre essas ondas no Brasil tiveram início com Neiva (1975) e Yamazaki (1975), que utilizaram análise espectral aplicada a dados gerados por modelos de previsão numérica do tempo e a inspeção visual de imagens transmitidas por satélites. Esses estudos observaram a presença dessas ondas de leste também na América do Sul. Sua atuação no estado limita-se uma faixa da costa Leste que varia entre 50 e 100 km a partir do mar.

Estudos recentes apontam sua atuação mais presente durante os meses de outono e começo de inverno, sendo igualmente responsáveis por precipitações intensas nas cidades litorâneas do leste do Rio Grande do Norte até o norte do litoral baiano. Movimentando-se no sentido leste-oeste, tal fenômeno está relacionado a eventos extremos de precipitação no litoral leste nordestino (Lyra et al, 2025).

El Niño Oscilação Sul

Além dos sistemas mencionados anteriormente, é importante mencionar o El Niño Oscilação Sul e La Niña, dada sua influência na variabilidade interanual das precipitações no Nordeste e no Rio Grande do Norte. Esses fenômenos climáticos, ocorrem no Oceano Pacífico e têm impacto significativo na América do Sul dentre outros continentes, com isso o fato de serem conhecidos como teleconexões.

No nordeste brasileiro, o El Niño, ocasionado pelo aquecimento acima do normal das águas do pacífico, quando ativo, é responsável por períodos mais chuvosos, dado o deslocamento da célula de subsidência de Walker. Por outro lado, durante a La Niña, época em que o oceano pacífico se encontra mais frio do que o habitual, e em que, portanto, temos uma intensificação da circulação de walker, sem haver deslocamentos em sua subsidência, temos o efeito o oposto, ou seja, períodos de estiagem mais intensa sobre o Nordeste brasileiro (Borsato,2016). Ao abordarmos esses sistemas, adquirimos uma

compreensão mais completa sobre os diversos elementos que influenciam o clima no nordeste do Brasil. Isso nos permite identificar com maior precisão quais são os principais fenômenos presentes na região e como eles afetam o clima regional. Essa compreensão é fundamental para a discussão do tema central deste artigo.

MÉTODOS

O estado do Rio Grande do Norte, situa-se na região nordeste do Brasil (figura1). O estado apresenta uma área de 52.809,599 km², a sua capital é a cidade de Natal com 751.300 habitantes (IBGE, 2022), localizada na costa Leste do estado.

Em termos de cobertura vegetal natural, a caatinga se apresenta como o bioma dominante nessa região, recobrindo originalmente principalmente a faixa centro-oeste do estado, embora a floresta atlântica esteja presente em fragmentos, no seu litoral leste (Diniz e Oliveira, 2018).

O Clima do estado segmenta-se em dois tipos principais, clima litorâneo úmido, em sua área costeira leste e em seu interior e litoral norte, um clima tropical semiárido (Diniz, et al. 2015). A porção leste, ocupa uma estreita faixa de pouco menos de 100 quilômetros em relação a linha de costa, é onde se concentram as chuvas no estado, com valores anuais médios de aproximadamente 1600mm. Regidos pela ocorrência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e pelos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) esta é a região com maior abundância de recursos hídricos. Deslocando-se para oeste, no sentido interior, os DOL deixam de atuar, e passamos a observar a atuação do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) com maior intensidade, mantendo o tempo mais seco, e com chuvas menos espaçadas. Em regiões como o Seridó a precipitação anual chega a ser inferior a 700 mm.

Segundo o IBGE, o estado tem uma divisão em onze áreas regionais geográficas intermediárias apresentadas na Figura 1, elas são: Natal, Canguaretama compõe o litoral leste do Estado, João Câmara, São Paulo do Potengi, Santo Antônio e Passa e Fica compõe a faixa do agreste, Santa Cruz, Caicó, Currais Novos inseridas na região do Seridó, Mossoró, e Assu, contemplando parte da costa norte e Pau dos Ferros, no alto oeste potiguar.

Figura 1 - Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Norte e suas Regiões Geográficas



Fonte: Autores (2023)

Análise dos dados

De forma a atingir os objetivos propostos, buscaram-se dados de precipitação que permitissem o cálculo e representação das tendências estatísticas desta variável para todo o estado. As informações de precipitação normalmente são coletadas, através de pluviômetros de superfície, todavia sua distribuição espacial é heterogénea, com dados concentrados nas grandes áreas urbanas e próximas a rios, de modo que, apenas os dados de superfície não conseguiriam cobrir todo o território potiguar. Ademais, entende-se que os dados coletados por estações meteorológicas de superfície podem apresentar falhas em sequência e ruídos por possíveis problemas nas coletas.

Desta forma, para esta análise, optou-se por utilizar dados de sensoriamento remoto coletados no período 2003- 2019 em escala diária, totalizando 16 anos de série histórica, a fim de oferecer uma perspectiva ampla e confiável sobre as variações nas precipitações pluviais.

Os dados de precipitação coletados a partir do modelo ERA-Interim (Berrisford et al., 2011; Dee et al., 2011), que consiste em uma reanálise atmosférica global realizada pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* – (ECMWF). O conjunto de dados meteorológicos foi recuperado com resolução temporal de 6 h e resolução espacial de 12,5 km escala temporal diária e com resolução espacial de 12.5 km. Após sua coleta, os dados passaram por contabilização da precipitação acumulada por dia, e posteriormente foram agregados para cada município. Tais dados passaram por processo de validação, revelando grande acurácia com os de superfície e sendo utilizados em diversas pesquisas recentes (Berrisford et al., 2011; Dee et al., 2011; Castelhano et al., 2022).

Tanto as resoluções espaciais quanto temporais da série mostraram-se adequadas para os objetivos. Reforça-se que a rede de monitoramento de precipitação em superfície no Rio Grande do Norte revela-se ainda muito escassa, com pouca cobertura, de forma que os dados oriundos de reanálises ou de sensores remotos ainda mostram-se com uma alternativa com elevada correlação e boa cobertura temporal e espacial para estudos climatológicos (Castelhano et al., 2017)

Após sua coleta, os dados foram tratados junto ao programa Excel, onde foram organizados e filtrados. Em seguida, foram trabalhados no programa R, onde foi executada a função Mann-Kendall do pacote Kendall, que forneceu os resultados de tendência estatística para a precipitação em cada município. O teste de tendência de Mann kendall situa-se como um teste de correlação que envolve a variável (no caso, os valores diários de precipitação para cada município) e o tempo cronológico. Como resultado, tem-se os valores do coeficiente Tau (que representava os valores de -1 até +1, indicando a força da tendência e sua direção) e P-valor (que variava de 0 até 1, indicando a significância da tendência encontrada) para cada município do estado.

Após isso, foi feita uma filtragem, levando em conta que a tendência só foi considerada significativa a partir do P-valor igual ou inferior a 0,05 (5%). O coeficiente Tau varia de -1 a 1, de modo que valores próximos aos extremos indicam a força da tendência, e o sentido (negativo ou positivo) a sua orientação, assim, considera-se os valores do coeficiente Tau, considera-se aqueles os valores negativos como diminuição de chuvas e valores positivos com aumento de chuvas.

Depois do tratamento desses dados, procedeu-se a espacialização das tendências através do software de geoprocessamento QGIS para confecção do mapa com os resultados, onde um padrão de cores foi escolhido para identificação dos municípios que tiveram tendência para um aumento das chuvas no estado, sem tendência significativa ou tendência a diminuição e para a intensidade da tendência a depender dos valores de TAU encontrados. Os resultados foram posteriormente analisados, levando em conta a escala das regiões imediatas do estado. Optou-se por trabalhar nesta escala devido a dificuldade em relatar e analisar as tendências para todos os 167 municípios.

RESULTADOS

Após a realização dos cálculos de tendência de Mann-Kendall para os 167 municípios do estado, observou-se que em todos, sem exceção, foram identificados coeficientes negativos para uma significância maior/igual a 95%, o que indica que, durante o período analisado (2003-2019) a precipitação apresentou quedas no estado como um todo. A Tabela 01, apresentada a seguir, foi construída seguindo a proposta do IBGE de região imediata, esse modelo foi escolhido para facilitar a interpretação e apresentação dos resultados, obtidos para elaboração deste trabalho.

O estado do Rio Grande do Norte, segundo esta segmentação, divide-se em onze regiões imediatas, que são: Açu, Caicó, Currais Novos, Canguaretama, João Câmara, Mossoró, Natal, Pau dos Ferros, Santo Antônio/Passa e Fica/nova Cruz e Santa Cruz, ja apresentadas na Figura 1. Na Tabela 01 a seguir, é possível observar os valores médios dos coeficientes de tendência para cada região imediata.

As regiões imediatas de Pau dos Ferros e Mossoró, ambas no extremo oeste do estado, foram aquelas com os maiores coeficientes médios de tendência (-0.1206 e -

0.1229 respectivamente). Já as regiões de Natal e São Paulo do Potengi, no leste potiguar, apresentaram os menores coeficientes de tendência (-0.0533 e -0.0505 respectivamente), indicando serem essas as localidades cuja tendência à queda na precipitação foi menos intensa. As regiões de Currais Novos e Caicó, ambas compondo o Sertão do Seridó, na porção central do estado apresentaram índices intermediários (-0.081 e -0.087 respectivamente).

Tabela 1 - Coeficiente de tendências das regiões imediata do estado do RN

Região	Coeficiente de Tendência
Assú	-0.1007
Caicó	-0.0870
Currais Novos	-0.0810
Canguaretama	-0.0584
João Camâra	-0.0538
Mossoró	-0.1229
Natal	-0.0533
Pau dos Ferros	-0.1206
São Paulo do Potengi	-0.0505
Santo Antonio Passa-e-Fica Nova Cruz	-0.0600
Santa Cruz	-0.0778
Total	-0.0855

Fonte: Autores (2023)

Nas regiões imediatas de Natal e Canguaretama, observa-se que as tendências negativas, se mantém no padrão dos municípios localizados na região leste do estado, com um resultado de queda de precipitação, mas com pouca intensidade, haja vista que o coeficiente nestas áreas foi próximo a zero.

Nas regiões imediatas de Santo Antônio-Passa e Fica-Nova Cruz, João Câmara e São Paulo do Potengi, estas que estão mais a oeste e ligeiramente distantes do litoral, observou-se um pequeno aumento no coeficiente de tendência comparado às outras duas regiões citadas anteriormente, o que revela uma queda na precipitação ainda relativamente fraca.

A região imediata de São Paulo do Potengi, teve o coeficiente de tendencia abaixo das regiões ligadas à costa, mas com um valor próximo. Em geral todos esses

apresentaram resultados de tendência muito fraca, mantendo o padrão da região leste do estado. A região de Santa Cruz, localizada mais ao centro, por sua vez, tem um resultado razoável para queda de precipitação (-0,0778).

Observa-se na tabela a similaridade dos resultados dessas regiões, apresentando um valor baixo para tendência de seca. Uma possível explicação para isso é as ondas de leste, que podem ter ainda efeitos no interior da zona leste do estado, chegando tendo como limite de atuação o centro do estado (Lucena et al.,2018).

Por consequência da localização dessas regiões estarem mais próximas do mar, mesmo as que se localizam mais no interior do estado, ainda se mantém sua tendência média baixa para queda de precipitação em comparação às outras que estão do lado oeste do estado.

As regiões de Caicó e Currais Novos, são as regiões que mantêm um resultado baixo para o lado oeste em comparação às outras regiões, que ficaram com altos resultados para queda na chuva no estado, sendo o coeficiente desses municípios com variação entre -0.06 e -0.10.

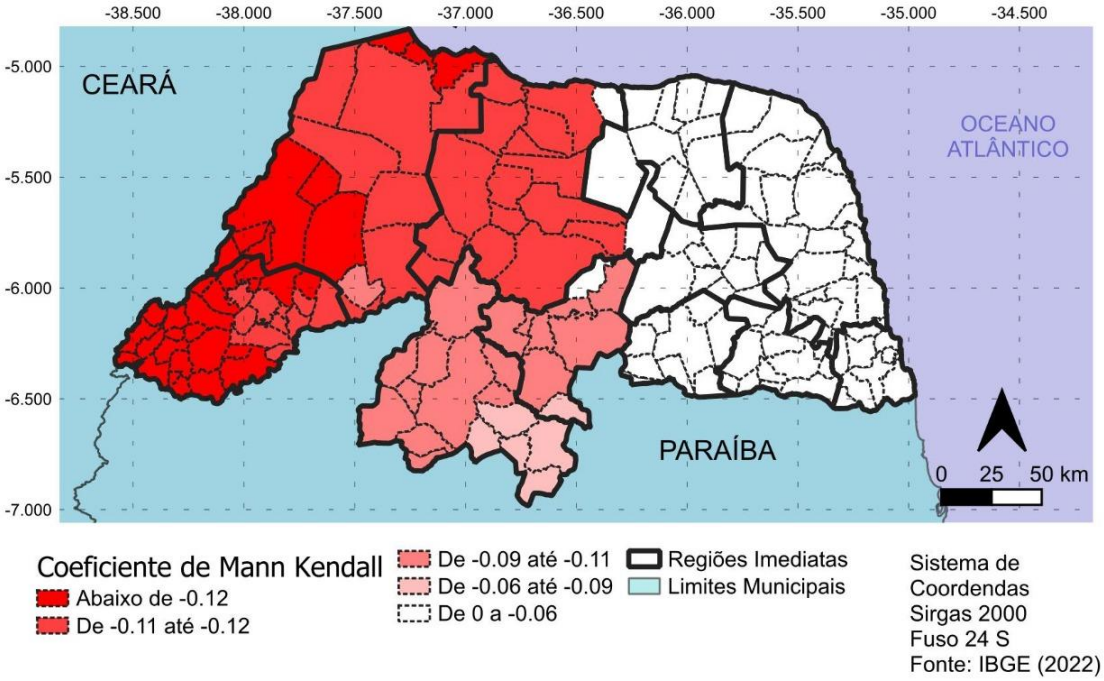
Na região oeste do estado os resultados ficam mais intensos, começando pela região de Açu, Mossoró e Pau dos Ferros, com os maiores coeficientes, seus coeficientes mostram que as tendências em relação a queda na chuva são maiores, chegando a superar -0.12. A espacialização dos coeficientes de tendência das chuvas por município no estado é demonstrada no mapa da Figura 2.

Observando o mapa de tendência, é possível identificar um padrão geográfico na dispersão das tendências de chuva. Ao observar o mapa de leste a oeste, percebe-se que o estado tem uma mudança de cores gradual e pouco abrupta, que corresponde a nível de tendência de seca.

Os municípios que estão em uma coloração mais claras são aqueles que têm tendências negativas menos intensas, indo aos mais alaranjados, no qual seus coeficientes de tendência mostraram-se razoáveis, passando para os mais avermelhados que são os com os coeficientes de tendência a precipitação negativos e mais elevados. Essa tendência, portanto, se intensifica conforme se afasta do litoral leste do estado em direção ao oeste.

O lado leste apresenta predominantemente tendência muito fraca a queda na chuva, isso acaba mudando conforme se aproxima ao centro do estado com exceção da região de Santa Cruz. Observado anteriormente, ele tem seu resultado variando entre muito fraco e fraca, mas mesmo com resultado variado, tem sua predominância de tendência fraca.

Figura 2 - Mapa de tendência média para precipitação (2003-2019) no Rio Grande do Norte



Fonte: Autores (2023)

A região de Currais Novos, localizada a oeste de Santa Cruz, tem duas cidades que fogem do padrão dessa região. São Carnaúbas do Dantas, município que localiza na fronteira do estado com a Paraíba, com um resultado de tendência fraca e Bodó com tendência muito fraca (inferior a -0.06), município esse que fica isolado dos outros que tiveram o mesmo resultado, em uma região com a predominância de tendência razoável.

Caicó, região vizinha oeste a Currais Novos, apresentou uma variação de tendência de fraca e razoável (-0.09 a -0.11). Com a maioria dos municípios que correspondem a região, tendo os seus de tendência razoável a seca e outros municípios mais próximo do limite do estado com tendência fraca a seca. É possível observar que

esses municípios com tendência fraca a seca, fazem fronteira com o único município de Currais Novos que teve esse mesmo resultado.

A norte, na região de Açu, é fortemente visível a predominância de tendência forte a seca (Abaixo de -0.12), com Lajes que fica na zona das regiões que tiveram tendência de muito fraca a seca, como a exceção dessa região.

A região de Mossoró, na divisa com o Ceará, apresentou uma predominância como visto de tendência forte a queda de precipitação (abaixo de -0.12) em grande parte de sua área, com variação de tendência muito forte quando se aproxima mais ao norte e sul da região, com apenas o município de Janduís com uma tendência razoável de queda na precipitação.

Pau dos Ferros sendo a última região a ser analisada, localizada no extremo oeste, mostra predominância de tendência muito forte, com poucos municípios de tendência forte. Essa região sendo a única a ter maior resultado a tendência de seca forte, sendo portanto a região com maior

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam um padrão espacial claro de redução nas precipitações no Rio Grande do Norte entre 2003 e 2019, com intensidade crescente do leste para o oeste. Essa tendência está alinhada com projeções globais do IPCC (2023), e reforçados por Martel et al. (2021) que apontam para a aridificação de regiões semiáridas devido ao aumento da temperatura média global e à alteração na dinâmica dos sistemas atmosféricos. A disparidade regional observada pode ser atribuída a múltiplos fatores, incluindo a atuação diferenciada de sistemas climáticos, mudanças no uso do solo e feedbacks locais

A porção leste, que apresenta as menores tendências negativas, é influenciada principalmente pelos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), conforme descrito por Lyra et al. (2025). No entanto, mesmo nesta região, a redução pluviométrica pode estar associada ao enfraquecimento da ZCIT, documentado por Utida et al. (2023) como consequência do aquecimento

anômalo do Atlântico Tropical Sul. Esse fenômeno tem reduzido a umidade transportada para o continente, exacerbando a estacionalidade das chuvas.

Já no oeste do estado, onde as tendências negativas são mais acentuadas, a interação entre Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e o avanço da desertificação desempenha um papel crítico. Estudos recentes (Carvalho et al.,2020) demonstram que a queda de volume e dias de chuva é uma realidade para o sertão nordestino, incidindo em resultados similares aos aqui apresentados. No mesmo estudo, os autores destacam menores volumes de chuva na porção litorânea, embora a quantidade de dias de chuva tenha diminuido. Além disso, a perda de cobertura vegetal na Caatinga (Justino et al., 2025) tem amplificado o albedo superficial, reduzindo a reciclagem de umidade para a atmosfera.

A redução das chuvas agrava os desafios hídricos em um estado já vulnerável. Assim, a elaboração de políticas públicas deve considerar:

-Monitoramento integrado: Combinação de dados de satélite (como os do programa ERA-Interim) com redes de estações superficiais para melhorar a acurácia (Castelhano et al., 2022).

-Gestão territorial: Zoneamento de áreas críticas com base nos padrões identificados, priorizando ações de conservação do solo e reflorestamento.

-Adaptação comunitária: Programas de captação de água de chuva e alertas precoces para eventos extremos, conforme recomendado pela ONU (2023).

A dependência de dados de reanálise, embora válida para estudos de larga escala, reforça a necessidade de expandir redes de monitoramento in situ. Sugere-se a inclusão de variáveis como umidade do solo e evapotranspiração em análises futuras, além da aplicação de modelos regionais de alta resolução (como o RegCM5) para reduzir incertezas (Almazroui et al., 2021).

CONCLUSÕES

Este estudo dos níveis de precipitação no estado do Rio Grande do Norte permitiu compreender a complexidade dos sistemas atmosféricos atuantes e a

compreensão das variações nos padrões de chuva na área de estudo. Foi possível portanto, diagnosticar quais cidades e regiões tem apresentado diminuição pluviométrica e quais suas intensidades, assim auxiliando no desenvolver de políticas públicas de gestão e planejamento territorial.

As dificuldades na elaboração dessa pesquisa sucederam-se pelo fato de os dados serem apenas remotos, fato que pode gerar ruído, já que os dados de estações superficiais e os de sensoriamento remoto são oriundos de fontes diferentes. Tal fato justifica-se pela cobertura ainda pouca, sobretudo temporalmente, da rede de monitoramento no Estado do Rio Grande do Norte.

A importância da manutenção e expansão da rede de equipamentos é crucial em estudos climáticos haja vista que a falta de registros acaba sendo crítica quando se tenta estabelecer padrões de variabilidade climática, afetando as pesquisas que necessitam de uma melhor observação sobre a distribuição hídrica no estado. Assim o Estado conseguirá ter um entendimento melhor sobre o seu território em relação a distribuição de água, prevenindo secas de grandes escalas nas cidades, e melhorando a vida de pessoas que sofrem com a falta de água.

A elaboração de planos de prevenção a seca, por exemplo, passa pelo entendimento da dinâmica temporal das chuvas do território. Por isso a importância da manutenção e modernização de equipamentos das estações meteorológicas, para que tenham uma melhor análises climáticas do estado, mas igualmente do conhecimento de suas tendências estatísticas.

Para trazer um fechamento a esse estudo, em um contexto de crise climática no mundo, o baixo nível pluviométrico médio no estado aliado às intensas tendências a sua diminuição revela a importância de estudos como o presente, para o estado do Rio Grande do Norte e para o Brasil.

REFERÊNCIAS

ALMAZROUI, M., ASHFAQ, M., ISLAM, M.N. *ET AL*. Assessment of CMIP6 Performance and Projected Temperature and Precipitation Changes Over South America. ***Earth Syst Environ,*** 5, 155–183, 2021

BERRISFORD, P., KÅLLBERG, P., KOBAYASHI, S., DEE, D., UPPALA, S., SIMMONS, A.J., POLI, P., SATO, H., Atmospheric conservation properties in ERA-Interim. **Q. J. R. Meteorol. Soc.** 137, 1381– 1399,2011

BORSATO, Victor. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**, Curitiba, CRV, 1 Edição, 2016.

CASTELHANO, Francisco J., PEDROSO, Ana Clara, COBELO, Igor, BORGE, Rafa, ROIG, Henrique. ADAMS, Mathew, AMINI, Heresh. KOUTRKIS, Petros, REQUIA, Weeberb. The impact of long-term weather changes on air quality in Brazil, **Atmospheric Environment.** V.283, n.15.2022.

CASTELHANO, Francisco J., PINHEIRO, Gabriela M., e ROSEGHINI, Wilson Flávio F., Correlação Entre Precipitação Estimada Por Satélite E Dados De Superficie Para Aplicação Em Estudos Climatológicos, **Revista Geosul**, v. 32, n. 64, p. 179-192, 2017

CARVALHO, Ailton, MONTENEGRO, Abelardo, SILVA, Hernande, LOPES, Lug, MORAIS, José, SILVA, Thieres, Trends of rainfall and temperature in Northeast Brazil, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.24, n.1, p.15-23, 2020

CAVALCANTI, Iracema Fonseca Albuquerque et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 1° edição, 2009.

COSTA, S. A. T., BEZERRA, A. C., ARAÚJO, A. M. Q., SILVA, M. F., ALVES, R. M., & SOUZA, L. S. B., Dinâmica espaço-temporal das anomalias de precipitação em uma região semiárida, Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 18, e14,2021.

DEE, D.P., UPPALA, S.M., SIMMONS, A.J., BERRISFORD, P., POLI, P., KOBAYASHI, S., ANDRAE, U., BALMASEDA, M.A., BALSAMO, G., BAUER, P., BECHTOLD, P., BELJAARS, A.C.M., VAN DE BERG, L., BIDLOT, J., BORMANN, N., DELSOL, C., DRAGANI, R., FUENTES, M., GEER, A.J., HAIMBERGER, L., HEALY, S.B., HERSBACH, H., HOLM, ´ E.V., ISAKSEN, L., KÅLLBERG, P., KOHLER,M., MATRICARDI, M., MCNALLY, A.P., MONGE-SANZ, B.M., MORCRETTE, J.-J., PARK, B.-K., PEUBEY, C., DE ROSNAY, P., TAVOLATO, C., TH´EPAUT, J.-N., VITART, F.,The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Q. J. R. Meteorol. Soc**. 137, 553–597, 2011.

DINIZ, Marco Túlio M. OLIVEIRA, Antônia. Mapeamento das Unidades de paisagem do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, v.38, n.2, p.119-141, 2018.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; PEREIRA, Vítor Hugo Campelo, Climatologia Do Estado Do Rio Grande Do Norte, Brasil: Sistemas Atmosféricos Atuantes E Mapeamento De Tipos De Clima. **Boletim Goiano de Geografia**, vol. 35, núm. 3, p. 488-506, 2015.

FERREIRA, Nelson Jesuz, ALBUEQUERQUE, Iracema Fonseca Albuquerque. **Sistemas meteorológicos atuantes no Brasil**. São Paulo,SP: Oficina de textos, 2022.

LUCENA, Rebecca Luna, CABRAL JÚNIOR, Jório. STEINEK, Ercília. Comportamento Hidroclimatológico do Estado do Rio Grande do Norte e do Município de Caicó, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, 485-496, 2018.

LYRA, M.J.A., GOMES, H.B., HERDIES, D.L. *ET AL*. Synoptic patterns of extreme precipitation events in Northeast Brazil. ***Nat Hazards,*** 2025.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). Censo Demográfico 2022: **Prévia da População - Rio Grande do Norte** [PDF]. Recuperado de https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2022/Previa_da_Populacao/RN_POP2022.pdf. Acessado em: 23/05/2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (s.d.). **Cidades e Estados: Rio Grande do Norte**. Recuperado de https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn.html. Acessado em: 23/05/2023.

JUSTINO, Sérvio Tulio Pereira; PAGANINI, Enzo Antonio Lecciolle; SILVA, Rafael Barroca; SILVA, Roberta Patrícia de Sousa; ZABOTTO, Alessandro Reinaldo; RODER Ludmila Ribeiro, Spatial-temporal analysis of vegetation cover and soil degradation from Landsat time-series – A case study in the Caatinga, Brazil, **Journal of South American Earth Sciences**, Volume 160, 2025

MARTEL, Jean-Luc et al. Climate Change and Rainfall Intensity–Duration–Frequency Curves: Overview of Science and Guidelines for Adaptation**. Journal of Hydrologic Engineering**, v. 26, n. 10, 2021

Nações Unidas Brasil. (s.d.). **Temperatura média global tem 50% de chance de exceder 1,5°C até 2026**. Recuperado de https://brasil.un.org/pt-br/181236-temperatura-média-global-tem-50-de-hance-de-exceder-15°c-até2026#:~:text=De%20acordo%20com%20os%20novos,%2C%20saltou%20para%20quase%2050%25 .

UTIDA, Giselle et al. Spatiotemporal Intertropical Convergence Zone dynamics during the last 3 millennia in northeastern Brazil and related impacts in modern human history. **Climate of the Past**, v.19, n. 10,2023

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo nº [407600/2023-0], na realização da pesquisa que permitiu a produção deste artigo.

Recebido em setembro de 2024.

Revisão realizada em maio de 2025.

Aceito para publicação em setembro de 2025.