Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
ISSN 2237-8642

O HABITUAL DAS CHUVAS PARA O CLIMA COMPARADO NAS CIDADES DE ARACAJU/SE E NATAL/RN, NORDESTE DO BRASIL

Rain habitual for the climate compared in the cities of Aracaju/SE and Natal/RN, Northeast Brazil

Lluvia habitual para el clima comparado en las ciudades de Aracaju/SE y Natal/RN, Noreste de Brasil

João Luiz Santana Brazil
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal de Sergipe
joao.s.brazil@gmail.com

Josefa Eliane Santana de Siqueira Pinto
Professora do Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal de Sergipe
j.eliane@academico.ufs.br

Francisco Jablinski Castelhano
Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e do Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal de Sergipe
fjcastelhano@gmail.com

Resumo: A variabilidade climática influência nas condições meteorológicas das cidades em grande escala, mesoescala e micro-escala. No Nordeste brasileiro (NEB), região com atuação de diversos sistemas atmosféricos e com dinâmicas climáticas distintas, fatores como as posições latitudinal e litorânea mostram-se como cruciais para a compreensão das condições climáticas. Nesse contexto, o monitoramento sobre o padrão e habitualidade das chuvas é especialmente significativo para o gerenciamento e desenvolvimento das condições urbanas específicas, sobretudo as de maior porte, mais suscetíveis a problemas de ordem climática. Portanto, o objetivo dessa pesquisa é analisar a variabilidade da precipitação e identificar possíveis tendências temporais nas cidades costeiras de Aracaju/SE e Natal/RN, Nordeste do Brasil, no período de 2000-2018. Para isso, utilizou-se dos dados meteorológicos de precipitação no período compreendido e de disponibilidade nas informações pretendidas pelo modelo ERA-Interim. Para análise da variabilidade, os dados foram agrupados em valores acumulados mensais e anuais e submetidos às medidas descritivas representadas por gráficos. Após o tratamento preliminar, as séries temporais foram submetidos ao teste de tendência estatístico de Mann-Kendall. Os resultados revelam que, para as duas cidades, os meses entre janeiro

e julho apresentaram maior dispersão dos dados de chuva (maior ocorrência de outliers), devido à influência, principalmente da ZCIT, que atua na transição de outono para inverno e ocasionam chuvas frequentes, de menor magnitude. Além disso, vale destacar a influência de frentes frias, de DOLs e das circulações das brisas. Em ambas as cidades analisadas, observou-se tendência de diminuição da precipitação no acumulado anual, no período em pauta.
Palavras-chave: Climatologia geográfica. Sistema climático. Precipitação pluvial. Clima urbano.

Abstract: Climate variability influences meteorological conditions in cities on a large, mesoscale, and microscale. In the Brazilian Northeast (NEB), a region with different atmospheric systems and distinct climatic dynamics, factors such as latitudinal and coastal positions are crucial for understanding climatic conditions. Thus, monitoring the pattern and habituality of rainfall is especially significant for the management and development of specific urban conditions, especially larger ones, more susceptible to climatic problems. Therefore, the objective of this research is to analyze precipitation variability and identify possible temporal trends in the coastal cities of Aracaju/SE and Natal/RN, Northeast Brazil, in the period 2000-2018. For this, meteorological data on precipitation in the period mentioned from the ERA-Interim model were used. For variability analysis, the data were grouped into monthly and annual accumulated values and subjected to descriptive measurements represented by graphs. After preliminary treatment, the Mann-Kendall statistical trend test was calculated over the time series. The results reveal that, for both cities, the months between January and July showed higher heterogeneity of rainfall data (higher occurrence of outliers) due to the influence mainly of the ITCZ, which acts in the transition from autumn to winter and causes frequent rains, of smaller magnitude. Furthermore, it is worth highlighting the influence of cold fronts, EWD, and breeze circulations. In both cities, there was a tendency towards a decrease in rainfall in the annual accumulation during the period analyzed.
Keywords: Geographical climatology. Climate system. Rainfall. Urban climate.

Resumen: La variabilidad climática influye en las condiciones meteorológicas de las ciudades a gran escala, mesoescala y microescala. En el Nordeste brasileño (NEB), una región con diferentes sistemas atmosféricos y dinámicas climáticas distintas, factores como las posiciones latitudinales y costeras son cruciales para comprender las condiciones climáticas. Así, el seguimiento del patrón y la habitualidad de las precipitaciones es especialmente significativo para la gestión y el desarrollo de condiciones urbanas específicas, especialmente las más grandes, más susceptibles a los problemas climáticos. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es analizar la variabilidad de las precipitaciones e identificar posibles tendencias temporales en las ciudades costeras de Aracaju/SE y Natal/RN, Nordeste de Brasil, en el período 2000-2018. Para ello se utilizaron datos meteorológicos de precipitación en el período mencionado del modelo ERA-Interim. Para el análisis de variabilidad, los datos fueron agrupados en valores acumulados mensuales y anuales y sometidos a mediciones descriptivas representadas por gráficos. Después del tratamiento preliminar, se calculó la prueba estadística de tendencia de Mann-Kendall a lo largo de la serie temporal. Los resultados revelan que, para ambas ciudades, los meses comprendidos entre enero y julio mostraron mayor heterogeneidad en los datos de precipitaciones (mayor ocurrencia de valores atípicos) debido a la influencia principalmente de la ZCIT, que actúa en la transición del otoño al invierno y provoca lluvias frecuentes, de menor magnitud. Además, cabe destacar la influencia de los frentes fríos, EWD y circulaciones de brisa. En ambas ciudades analizadas hubo una tendencia a la disminución de las precipitaciones en la acumulación anual durante el período.
Palabras clave: Climatología geográfica. Sistema climático. Precipitaciones. Clima urbano.

Submetido em: 15/07/2024

Aceito para publicação em: 04/05/2025

Publicado em: 11/06/2025

1. INTRODUÇÃO

A Climatologia Geográfica explica e descreve fenômenos atmosféricos e procura a compreensão dos processos e interações que ocorrem na sua dinâmica e na interface atmosfera-superfície da Terra. É um ramo da Geografia e tem o clima como objeto de estudo, revelando-se pela sua descrição e a compreensão dos distintos tipos de tempo que o caracterizam, bem como suas interações com a sociedade (Pinto e Netto, 2008).

Entendemos que a compreensão da circulação geral atmosférica permite identificar especificidades regionais da gênese dos processos climáticos. A variabilidade climática, todavia, não se explica apenas por este fator, sendo necessária a compreensão de um complexo sistema climático, originado em fenômenos de grande escala e que interagem com as vicissitudes do espaço geográfico, impactando diretamente no tempo atmosférico, ou seja, explicadas por diversos sistemas meteorológicos e repercutindo em fenômenos atuantes em dada área.

O território brasileiro, devido a sua magnitude espacial, comporta um mostruário completo das principais paisagens do mundo tropical que encontra na variabilidade pluviométrica, um dos principais elementos da dinâmica climática.

O Clima, particularmente, do Nordeste do Brasil (NEB), apresenta traços da dinâmica do mundo Tropical, com acentuada variabilidade de precipitação interanual, alternando irregularidades, com anos extremamente chuvosos e secos. Segundo Molion e Bernardo (2002), a multiescala se constitui no principal fator da maior parte da precipitação na região Tropical; assim, pode-se afirmar que a dinâmica climática que produz precipitações no NEB tem influência de fatores de grande, meso e micro escalas.

Em termo de grande escala, na dinâmica de chuva no Nordeste brasileiro, cabe compreender inicialmente o papel dos centros de ação e atuação das massas de ar, visto que são importantes para a compreensão da produção dos sistemas atmosféricos no espaço-temporal das localidades em análise, sem esquecer de relevar a função oceânica para as escalas regional e local.

O Nordeste brasileiro (NEB) é fortemente influenciado pela presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), com chuvas e trovoadas originadas pela convergência dos

ventos alísios dos dois hemisférios e aquelas decorrentes da formação de massas de nuvens que resultam em precipitações (Borsato; Massoquim, 2020).

Quando a ZCIT está mais ao norte, situação comumente verificada nos meses de agosto a outubro, os ventos alísios de sudeste são intensos, ocorrendo uma progressiva diminuição da intensidade à medida que a ZCIT migra em direção ao Equador, alcançando mínimos anuais durante os meses de março e abril. Tal dinâmica migratória é importante quando se refere a predominância do vento que afeta as cidades de Aracaju/SE e Natal/RN, pois influencia no padrão de circulação oceânica e das correntes costeiras consequentes a circulação de vento (Pires; Pinto, 2012).

É sabido que o cenário é marcante nas cidades analisadas, por estarem situadas na porção leste do Nordeste brasileiro, e são alcançadas periodicamente por eventos pluviais extremos, causando impactos como: inundações e alagamentos.

Dando continuidade, sobre a variabilidade climática, reflete-se por ser um assunto que vem ganhando destaque global, ainda que seja sobre mudanças em escala macro, uma vez que seus efeitos influenciam toda atividade mundial. O impacto do clima é percebido através da variação anômala de elementos climatológicos como a precipitação que é uma das variáveis climáticas mais importantes, sobretudo na zona intertropical e, por isso, justificam-se estudos considerados significativos para que se tenha um planejamento adequado sobre as estruturas urbanas e demais necessidades da população. Nos últimos anos, a frequência de eventos extremos de precipitação vem crescendo, com maior intensidade e duração, favorecendo desastres naturais como as inundações em diversas regiões do Brasil (IPCC, 2021; Marengo et al., 2011).

Da mesma forma, as cidades de Aracaju/SE e Natal/RN, localizadas na costa leste do NEB, e que têm grande parte de sua economia atrelada aos setores de serviço e comércio, são profundamente influenciadas por essas variações climáticas. As características meteorológicas, como a distribuição e intensidade da precipitação e seus extremos, tanto no espaço como no tempo, importa para o planejamento de atividades humanas, como defesa civil, produção de energia e planejamento urbano. Além disso, pode orientar na tomada de decisões quanto às medidas necessárias para minimizar os danos decorrentes da irregularidade das chuvas (Piccinini, 1993).

Indo um pouco além, o conhecimento da dinâmica climática segundo Wanderley (2020) é uma importante ferramenta de caracterização e compreensão dos distintos tipos climáticos, que apresentam fluxos de energia com amplitudes diferenciadas nos fluxos de energia entre os climas, bem como suas variabilidades cíclicas em cada região climática, representam informações chave para se alcançar níveis de adaptação dos tipos de uso da terra mais consonantes com o equilíbrio do espaço urbano.

Assim, a variação climática da zona costeira do NEB também figura na maior frequência de eventos de precipitações extremos; dessa forma, destaca-se que, nas cidades analisadas, são responsáveis por inúmeras ocorrências pluviais que causam transtornos às suas populações, desde a ameaça à saúde pública até prejuízos econômicos. Eventos têm se tornado cada vez mais preocupantes, principalmente em cidades costeiras que possuem habitações em locais de risco como encostas de falésias e banhadas ou próximas de bacias hidrográficas urbanas.

Por isso, o conhecimento sobre o padrão de chuvas torna-se importante para o gerenciamento e desenvolvimento de medidas de contenção, e/ou prognósticos para mitigar possíveis impactos, decorridos de fragilidades e vulnerabilidades locais.

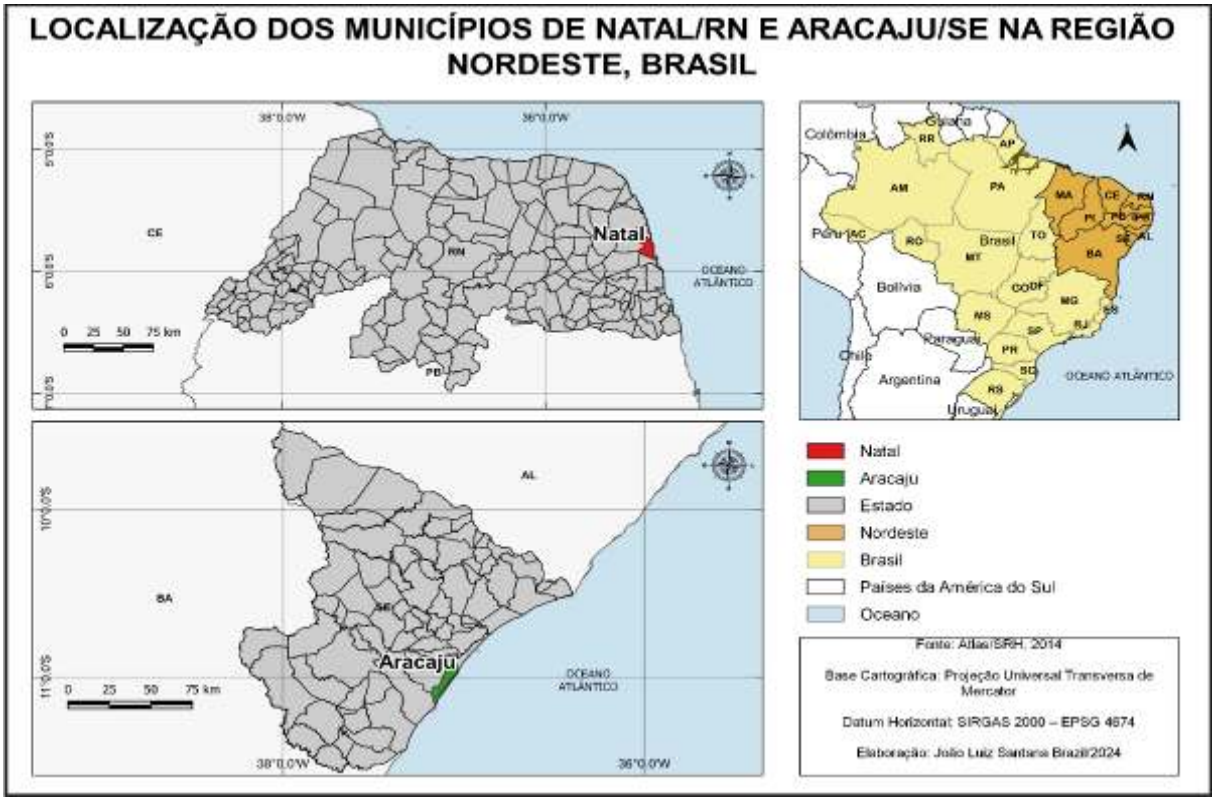
Portanto, o principal objetivo da pesquisa é analisar a variabilidade temporal da precipitação e identificar as possíveis tendências temporais nas cidades costeiras de Aracaju/SE e Natal/RN, Nordeste do Brasil, no período de 2000-2018, assim como identificar a gênese e os sistemas produtores do tempo e do clima.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da área de estudo

As cidades de Aracaju/SE e Natal/RN estão localizadas na região Nordeste do Brasil onde predomina o clima tropical no Hemisfério Sul, e as duas estão sob coordenadas geográficas apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Localização dos municípios de Natal/RN e Aracaju/SE.



Fonte: Atlas/SRH, 2014. Org.: Brazil, J.L.S, 2024

Aracaju é uma cidade de porte médio situada no litoral do Nordeste do Brasil, que ocupa uma área de 182 km^2. Está delimitada pelas coordenadas de 10º 55' 56'' (latitude sul) e 37º 04' 23'' (longitude oeste) e posicionada totalmente na zona intertropical. Em tal localização geográfica, são-lhe atribuídas características climáticas, de ordem genético explicativa, que se afigura de forma generalizada e plural, como verões quentes e invernos suaves. De fato, as estações são definidas popularmente pelo comportamento cronológico das chuvas, com maior significado para sua economia.

Natal também está localizada no Nordeste do Brasil, ocupa uma área de 167,4 km². Está delimitada pelas coordenadas geográficas 5º 47’42” (latitude sul) e 35º12’32” (longitude oeste), muito próximo ao Equador, com elevação média de 30m acima do nível do mar. É o ponto da América do Sul mais próximo da África e da Europa.

Além da localização, a posição geográfica das cidades também explica a presença de diferentes feições de organização natural. Neste caso destaca-se que as posições latitudinal e costeira expõem as duas cidades a centros de ação e sistemas de mesoescala que explicam, em grande parte, a sua condição climática. Os ventos alísios de Leste no verão e

Sudeste no inverno juntamente com sistema de brisas marítimas influenciam as condições meteorológicas nas cidades.

As características da tropicalidade em Aracaju são visualizadas, em parte, no regime pluviométrico tipicamente tropical, em relação à média anual de precipitação de 2000-2018 que é 1.645,0 mm, no qual pode ser observada a partir da soma mensal do período de 2000 a 2018 a predominância de baixos índices pluviométricos nos meses de setembro até março e uma concentração de chuvas nos meses de abril até agosto, caracterizando assim o período de verão e inverno, respectivamente.

Em relação aos outros elementos do clima, a cidade de Aracaju, tem-se como médias anuais de temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente, 27°C e 70% (INMET, 2022). Acrescenta-se altos níveis de insolação solar diários, variando em média 5 kwh/m²/dia ao longo do ano, o que confere a Aracaju um ambiente térmico naturalmente quente com característica desconfortante para o ser humano.

Em paralelo, Natal apresenta médias anuais de temperatura e umidade relativa do ar de, respectivamente, 26ºC e 77,3%. Em relação à média anual de precipitação de 2000-2018 é 2.064,0 mm, e na qual, apresentam picos, sendo o primeiro entre março e abril, associado à migração para o sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o segundo e principal entre junho e julho, por influência principalmente dos sistemas de mesoescala, notadamente os Distúrbios de Ondas de Leste e as Linhas de Instabilidade, constantes na latitude litorânea, conforme aponta a literatura.

No Quadro 01, são apresentadas características sociais e ocupação urbana entre as duas cidades.

Quadro 1: Características sociais das cidades de Aracaju e Natal.

ITEM	CIDADES	
	ARACAJU	NATAL
Unidade Administrativa	Sergipe	Rio Grande do Norte
Ano de fundação	1855	1599
Área da unidade territorial	181,9 km²	167,4 km²
População total	602.757	751.300
Densidade demográfica	3.308,89	4.488,03
IDH municipal	0,770 Médio	0,763 Médio
PIB per capita	27.364,40	26.972,28
Área Urbanizada	84,57 km²	99,32 km²

Fonte: IBGE (2022) Org.: Brazil, J. L. S.

Aracaju foi fundada em 1855 sobre uma duna que margeava o estuário do rio Sergipe e possuí uma morfologia urbana bem diversificada, considerando a densidade de construção, a geometria urbana, os espaços verdes e corpos d'água os quais "interagem" com a atmosfera urbana e, como tal, são parte do ambiente onde as pessoas vivem e trabalham (Anjos, 2017).

Natal, capital do estado do Rio grande do Norte, fundada em 1599, se constitui de 36 distritos, setorizados em quatro regiões administrativas. A região metropolitana de Natal com um total de 15 cidades se constitui uma importante aglomeração urbana no Nordeste.

No quadro anterior há um comparativo de dados sociais onde é possível atentar para semelhanças aproximadas, cuja áreas de unidade territorial e urbanizada mostram-se mais diferenciadas uma da outra. A cidade de Natal se constitui em tamanho maior. A densidade demográfica é também proporcional em seus dados.

2.2. Coleta de dados

Foram utilizadas as séries temporais de dados diários de precipitação (mm) dos anos de 2000 a 2018, oriundos do conjunto de dados do ERA Interim (Berrisford et al., 2009; Dee et al., 2011), uma reanálise atmosférica global produzido pelo European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF), referente as duas localidades. Este conjunto de dados foram organizados em somas mensais e anuais no período estudado. Estes dados também

possuem a vantagem de não possuírem falhas e assim, possibilitou uma melhor representatividade das características presentes

Alguns trabalhos verificando a variabilidade e tendência dos elementos climáticos no Brasil, referem-se, como relatado por Fu e Betts (2008), que, avaliando o valor obtido do ERA-40 na região amazônica encontraram subestimação ou superestimação em relação aos informados por estações meteorológicas de superfície, para as variáveis de chuva e temperatura do ar. Araújo (2022) e Aparecido et al. (2019) realizaram a validação dos dados da reanálise do ECMWF para avaliar sua aplicação na estimativa do balanço hídrico climatológico no Estado de Pernambuco e Paraná, respectivamente.

Em 2017, um trabalho de conclusão de curso, com o título “Análise sinótica de um caso de Distúrbio Ondulatório de Leste sobre a cidade de Natal-RN”, de autoria Darllin de Araújo Caetano, desenvolveu um estudo a partir de dados de reanálise do Era-Interim para compreender contribuição do DOL na precipitação ocorrida na cidade de Natal/RN. Contudo, não foram encontrados trabalhos para as cidades de Aracaju/SE, que avaliasse a utilização dos dados de reanálise do ECMWF para compreender a variabilidade e tendência da precipitação na localidade.

Segundo Morettin e Toloi (2004), uma série temporal consiste em um conjunto de dados coletados ao longo de determinado tempo, afim de monitorar o comportamento do evento em estudo durante este período. De forma prática, trata-se de uma sequência de observações ordenadas, geralmente coletadas em intervalos uniformes, que possibilitam a análise e o entendimento de tal evento em diferentes pontos no tempo.

Ao analisar uma série temporal de dados de precipitação, é possível classificá-la para observar suas características habituais, recorrentes ou extremas. Portanto, observou-se a importância da aplicação da técnica de percentis, para a classificação das estações, em seco, tendente a seco, habitual, tendente a chuvoso e chuvoso.

2.3. Procedimentos Metodológicos

Diversas técnicas estatísticas foram utilizadas para investigar o comportamento da precipitação em termos dos valores habituais e anômalos. Apesar de serem técnicas francamente lineares, em contraposição à não-linearidade dos processos físicos,

particularmente da precipitação, elas têm sido rotineiramente usadas em estudos de valores extremos para destacar os episódios dentro do padrão e os excepcionais. Seus empregos possibilitam investigar a magnitude dos extremos, informação de grande importância neste estudo.

A metodologia dos anos-padrão, proposto por Monteiro (1971) utilizada em diversos estudos de variabilidade climática no escopo da climatologia (Sant'anna Neto e Zavattini, 2000), serviram de referência como procedimento de análise, considerando a habitualidade preconizada.

Os anos-padrão (Tabela 1) foram analisados segundo os percentis definindo os valores de 0 a 15% para os anos secos, 15 a 35% para anos tendentes a secos, 35 a 65% para anos habituais, 65 a 85% tendentes a chuvosos, e acima de 85% para anos chuvosos. As classes foram definidas e representadas nos gráficos por cores: vermelha (ano seco) laranja (ano tendente a seco) bege (ano habitual) azul claro (ano tendente a chuvoso) azul escuro (ano chuvoso).

Tabela 1: Percentil Pluvial (mm) dos Anos Padrão Aracaju/SE e Natal/RN

PERCENTIL PLUVIAL			
VALORES	**ARACAJU**	**NATAL**	**CLASSES**
abaixo 15%	< 714,5	< 953,5	seco
15% a 35%	714,6 a 983,4	953,6 a 1118,0	tendente a seco
35% a 65%	983,5 a 1097,7	1118,1 a 1403,0	habitual
65% a 85%	1097,8 a 1291,2	1403,1 a 1795,7	tendente a chuvoso
acima de 85%	acima de 1291,2	acima de 1795,8	chuvoso

Fonte: Satélite ERA-Interim (Berrisford et al.; Dee). Org.: Brazil, J.L.S, 2023

Para análise da variabilidade, os dados foram agrupados em valores acumulados mensais e anuais e submetidos às medidas descritivas de variabilidade representada por gráficos tipo Boxplot. Conforme Silva et. all (2017, p. 27) "a técnica do Box Plot permite a exploração e análise dos dados de chuva, fornecendo informações sobre a sua distribuição e dispersão".

Após o tratamento das séries temporais, os valores anuas foram submetidos ao teste de tendência. Segundo Back (2001, p. 718), define tendência em uma série temporal "como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas". Nesse caso, a variabilidade interanual das chuvas das cidades de Aracaju e Natal foram submetidas ao teste de Mann-Kendall que "é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para determinar se determinada série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa" (Salviano et al., 2016, p. 65).

O teste de Mann-Kendall (MK) considera a hipótese de estabilidade da ocorrência de valores sucessivos e independentes com a distribuição de probabilidade permanecendo a mesma (Mann 1945; Kendall 1975). Com base nas estatísticas, a hipótese H0 é aceita quando a série temporal não tem tendência (para p-valor > α), e rejeitada em favor da hipótese alternativa (H1), quando há uma tendência para o valor p < α na série temporal. De acordo com Cabral e Lucena, (2020) a equação é dada por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sign(x_j - x_i) \quad (1)$$

Em que S é o total das contagens de (xj-xi); xj é o valor inicial após xi, n é o número de dados da série temporal. Observe que se S > 0, as observações posteriores na série temporal tendem a ser maiores do que aquelas que aparecem anteriormente na série temporal, enquanto o inverso é verdadeiro se S < 0. Para cada par de dados são atribuídos os seguintes valores:

$$\text{sinal} = \begin{cases} +1 \, se(x_j - x_i) > 0 \\ 0 \, se(x_j - x_i) = 0 \\ -1 \, se(x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

Quando existe um número alto de observações (n), a distribuição de probabilidade S tende para uma distribuição normal, com média zero e variância dada por:

$$var = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{t} f_t(f_t - 1)(2f_t + 5)\right] \quad (2)$$

Onde t varia ao longo do conjunto de classificações empatadas e f t é o número de vezes (ou seja, frequência) que a classificação t aparece.

Para este estudo, adotou-se o nível de significância de 5%. Esses procedimentos foram realizados no programa R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A hierarquização temporal do clima tem sido abordada por estudos clássicos e recentes, a título de firmar o conceito, diferenciando de mudanças climáticas, que em tese, requerem maior quantidade de elementos, em tempo significativo superior a trinta anos de informações. A variabilidade climática refere-se à forma como as variáveis climáticas se manifestam ao longo de um determinado período, especialmente no curto prazo. Ela envolve alterações temporárias nessas variáveis, sem que haja uma mudança no clima em si. Esse conceito também abrange a irregularidade interanual, levando em consideração a distribuição das chuvas ao longo das estações do ano e o grau de homogeneidade espacial e temporária.

Em relação as características, os mecanismos de grande escala propiciam duas maneiras possíveis da atmosfera transportar calor e umidade, formando a circulação geral da atmosfera por movimentos horizontais e verticais. A célula de Hadley, que atua no sentido meridional no ramo ascendente sobre os trópicos e ramos descendentes nas latitudes subtropicais, são denominadas células termicamente diretas, ou seja, transporta calor e água em um movimento circular das áreas equatoriais para as latitudes médias e vice-versa (Barry; Chorley, 2013, p. 185)

O ar ascendente sobre a América do Sul é associado ao fluxo leste-oeste (zonal) e esses sistemas são conhecidos como circulação de Walker, que atua no sentido zonal no ramo ascendente no Pacífico Oeste e ramo descendente no Pacífico Leste são perturbadas, causando fortes anomalias na circulação atmosférica sobre os trópicos.

O padrão celular na superfície reflete de forma clara a influência de fontes de calor. Além disso, as circulações de Hadley representam importantes componentes meridionais (norte-sul) da circulação atmosférica e as circulações de Walker representam as componentes zonais (leste-oeste) de grande escala do fluxo de ar tropical. Tais circulações

zonais são movidas por grandes gradientes de pressão no sentido leste-oeste causado por diferenças no movimento vertical (Barry; Chorley, 2013).

Há ciência que circulações zonais influenciam as chuvas acumuladas acima da média no NEB a partir de um fenômeno de escala global, denominado El Niño Oscilação Sul – ENOS. O fenômeno, segundo Barry e Chorley, caracteriza-se como uma gangorra atmosférica ou onda estacionária de massa e pressão atmosféricas, a qual envolve trocas de ar entre a célula subtropical de alta pressão sobre o Pacífico Meridional e outra região de baixa pressão posicionada sobre o Pacífico Ocidental e na Indonésia.

Tal oscilação é associada às fases de circulação de Walker, ou seja, a fase positiva (El Ninõ), que ocorre quando as anomalias estão acima de 0,5ºC, enquanto a fase negativa (La Ninã) é quando as anomalias estão abaixo de – 0,5ºC. São observadas condições de neutralidade, sem evidência de alterações.

Portanto, em anos de La Niña, quando as temperaturas sobre o Pacífico estão abaixo da média, observam-se as chuvas acumuladas acima da média no NEB, principalmente se o fenômeno for caracterizado como de forte intensidade, no qual, altera a Célula de Walker e acaba contribuindo para atividade convectiva (Barry; Chorley, 2013)

Na América do Sul, especificamente em relação a precipitação no Nordeste brasileiro, os centros de ação do Anticiclone subtropical do Atlântico Norte (ASAN) e o Anticiclone semifixo do Atlântico Sul (ASAS) desempenham importante papel, uma vez que relacionando-se com os ventos alísios de nordeste e sudeste desencadeiam chuvas na costa leste do Nordeste.

3.1 Comportamento temporo-espacial das chuvas: do regional ao local

Para compreender a variabilidade do clima urbano frente aos riscos e vulnerabilidades socioambientais, torna-se importante caracterizar o comportamento das chuvas ao qual estão submetidas as cidades de Aracaju/SE e Natal/RN. Os sistemas atmosféricos que atuam nessas duas cidades são compostos por fenômenos interligados e superpostos no tempo e no espaço. Na concepção de Monteiro (1971), compreender a dinâmica atmosférica, requer organizar os princípios das escalas superiores às inferiores.

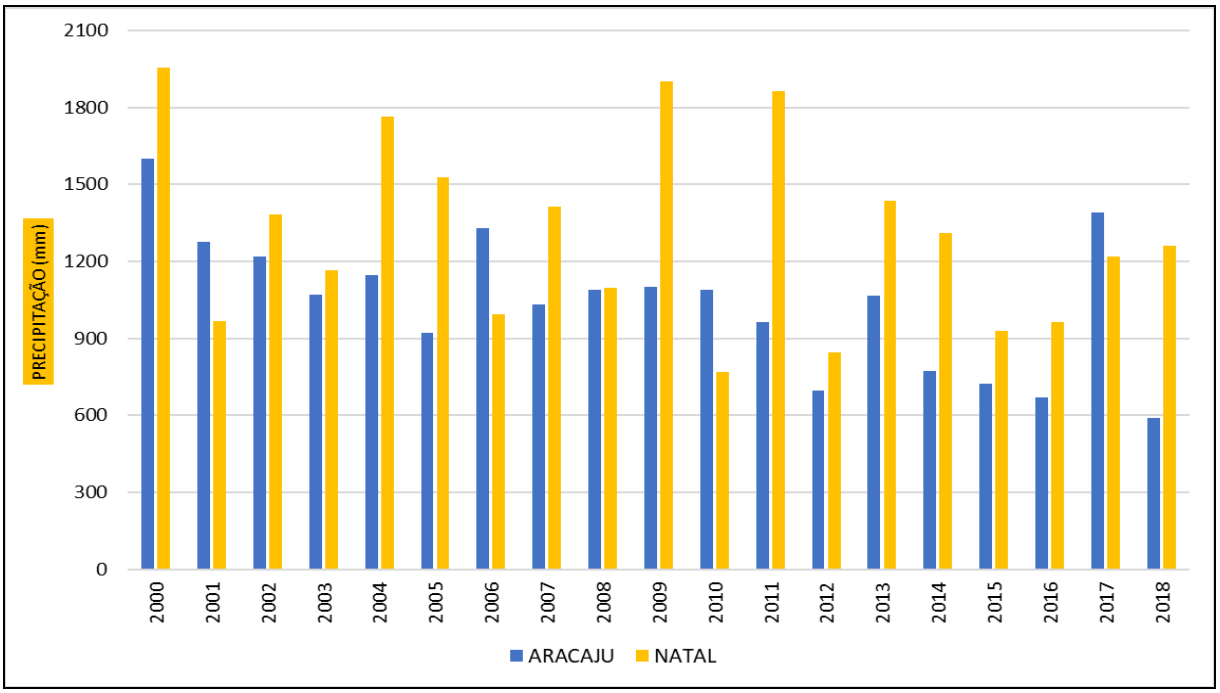
Assim, ressalta-se nesta seção a influência do comportamento climático da Região Nordeste sobre a dinâmica local.

Nesse sentido, está seção tem como objetivo central não apenas analisar a variabilidade da precipitação, mas sobretudo comparar os comportamentos atmosféricos que incidem sobre as duas cidades, a partir de suas particularidades geográficas. A comparação entre as duas localidades, Aracaju e Natal, situadas em diferentes latitudes permite observar como a proximidade com a linha do Equador, a influência oceânica e os padrões de circulação atmosférica regional condicionam a ocorrência e a distribuição das chuvas. Desse modo, enquanto certas configurações atmosféricas tendem a favorecer precipitações mais intensas e frequentes em Natal, outras demonstram maior influência em Aracaju, revelando a importância de se considerar as especificidades espaciais na análise climática.

Portanto, a variabilidade do clima possui diversos comportamentos no tempo e espaço, tais condição, acontece com oscilações anuais, mensais e/ou sazonais. Fontão e Zavattini (2019) consideram a variabilidade das precipitações anuais com base na identificação de anos-padrão habituais e extremos, secos e chuvosos e, para tanto, os autores utilizam técnicas estatísticas no intuito de subsidiar a classificação empírica e qualitativa. Outros autores se debruçaram na definição e diferenciação de conceitos padrões, a exemplo de Christofoletti (1992; 1993). É mister lembrar os modelos estatísticos para corroborar teorias.

Segundo o gráfico comparativo (Figura 2), nota-se uma distribuição temporal com variação na quantidade de chuvas ao longo dos anos estudados.

Figura 2: Precipitação pluvial anual (mm) dos municípios de Aracaju e Natal (2000-2018)



Fonte: Satélite ERA-Interim Org.: J. L. S. BRAZIL, 2023

As precipitações anuais observadas demonstram uma dinâmica evidenciada segundo o conjunto de sistemas produtores, descritos na seção anterior. A variação da precipitação anual entre as duas cidades é relativamente semelhante pela proximidade da região costeira e, dessa forma, tendem a ser similares em determinados anos. Entretanto, por outro lado, observam-se anos com variação da precipitação entre as cidades. Observa-se superioridade nos dados na cidade de Natal/RN, em quase todos os anos, menos 2001, 2006, 2010 e 2017 ao considerar os totais pluviais anuais.

Segundo Ferreira e Mello (2005), a intensidade e a regularidade das precipitações encontram-se vinculadas aos padrões termodinâmicos da atmosfera acima dos oceanos Pacífico e Atlântico, criando anomalias na circulação atmosférica tropical, com destaque as perturbações nas células de Walker e Hadley, provocando desvios positivos e negativos na pluviosidade no Nordeste brasileiro. Tais alterações produzem os fenômenos oceânico-atmosféricos de El Niño/La Niña e do Dipolo do Atlântico.

Assim, podemos compreender que o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é o mais relevante para a variabilidade climática interanual em escala global. A componente oceânica deste modo oscila entre dois extremos, com o El Niño (EN) em sua fase quente, e a La Niña (LN), na

fase fria. O EN pode também causar alterações nas posições e intensidades de duas zonas de convergência, a do Atlântico Sul (ZCAS) durante o verão e, a intertropical (ZCIT) durante o outono e, portanto, alterar a distribuição de chuvas no sudeste e nordeste do Brasil. Durante a LN, os padrões anômalos de circulação atmosférica e climáticos são inversos aos descritos para o EM (Kayano *et al.*, 2016)

Essa influência, podemos observar a figura 02 com menores acumulados de precipitação, nos anos de ocorrência do fenômeno El Niño, que foram: 2002–03, 2004–05, 2006–07, 2009–10, 2014–16, 2018–19, segundo o índice Niño oceânico (ONI – Oceanic Niño index), disponível em www.cpc.ncep.noaa.gov (Kayano *et al.*, 2016).

Essa variação também é observada com base nas técnicas estatísticas descritivas, quando se consideram a mediana, os quartis e o coeficiente de variação (Tabela 2). Nesse sentido, demonstram uma variação da precipitação na cidade de Natal, e isso acontece provavelmente pela posição e localização da cidade, no Norte do NEB, em relação aos sistemas atmosféricos produtores de chuva.

Tabela 2: Medidas pluviométricas anuais (mm) para Aracaju e Natal – 2000 a 2018

MEDIDAS DESCRITIVAS	ARACAJU	NATAL
Mínimo	589,0	767,0
Máximo	1600,0	1955,0
Amplitude	1011,0	1188,0
Soma	19744,0	24762,0
Média	1039,2	1303,3
1º Quartil	847,5	979,5
Mediana	1071,0	1259,0
3º Quartil	1183	1482,5
Desvio padrão (n-1)	259,6	357,7
Coeficiente de variação	25,0	27,4

Org. Brazil, J. L. S., 2023

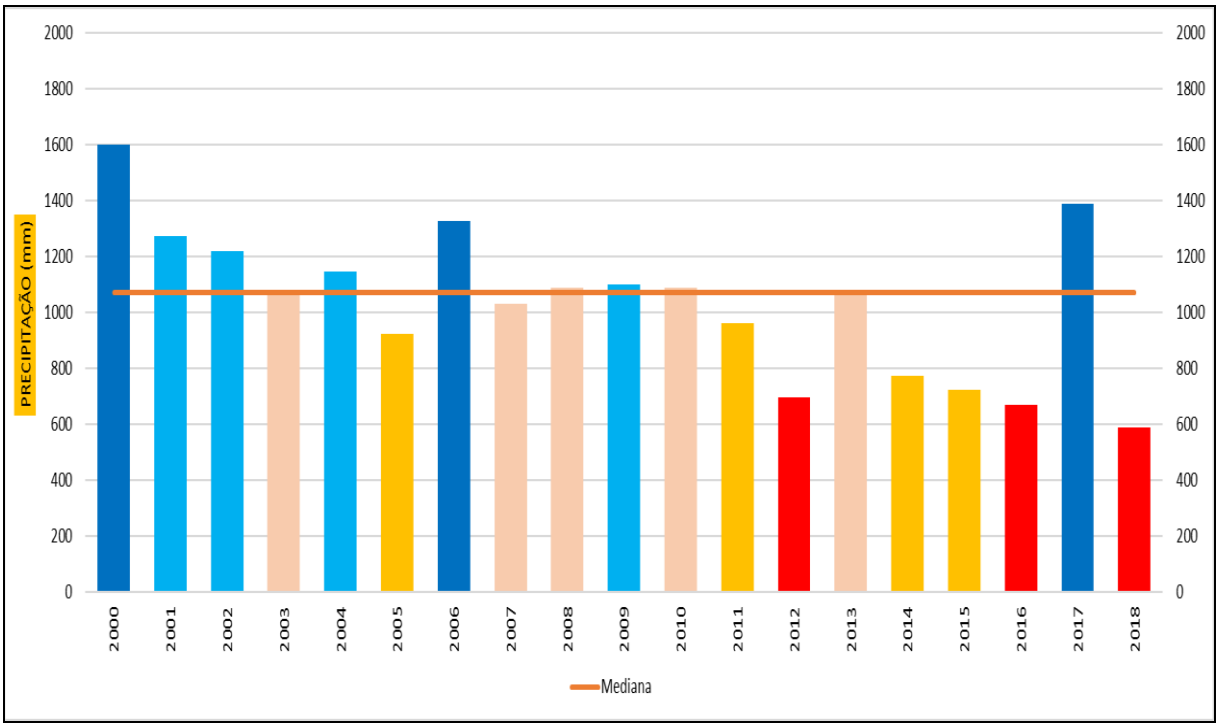
É possível inferir também que, em Aracaju/SE, as informações oficiais se distribuem de modo mais uniforme. Chove menos, porém, com menos extremos, ou seja, há menor concentração melhor distribuição, por se localizar igualmente na zona costeira do nordeste brasileiro, e receber durante todo ano, elevada umidade, pelo efeito da brisa marítima ou pelos sistemas frontais.

A circulação dos ventos está conectada a atuação das massas de ar que adquirem as características provenientes dos locais de origem. No caso específico das cidades estudadas, os ventos da costa leste do Nordeste brasileiro são influenciados pelo Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS). E, por causa da intensa influência dos raios solares na zona intertropical, o processo de evaporação das águas oceânicas é favorecida, o que garante a formação de massas de ar úmidas destinadas à região.

Para complementar a análise de variabilidade interanual com a aplicação da técnica estatística dos percentis, a qual consistiu na organização da amostra em cinco classes: seco, tendente a seco, habitual, tendente a chuvoso, chuvoso.

Na cidade de Aracaju (Figura 3) foi observado que as chuvas habituais têm concentração nos totais anuais de 1.031 mm a 1.090 mm, representando 26% dos dados. Os anos tendentes a chuvoso e chuvosos, compreendem respectivamente as precipitações no intervalo de 1.101 mm a 1.275 mm (21%) e de 1.329 mm a 1.600 mm (16%). Já os anos tendente a seco e seco, compreendem respectivamente as precipitações no intervalo de 722 mm a 963 mm (21%) e de 589 mm a 697 mm (16%).

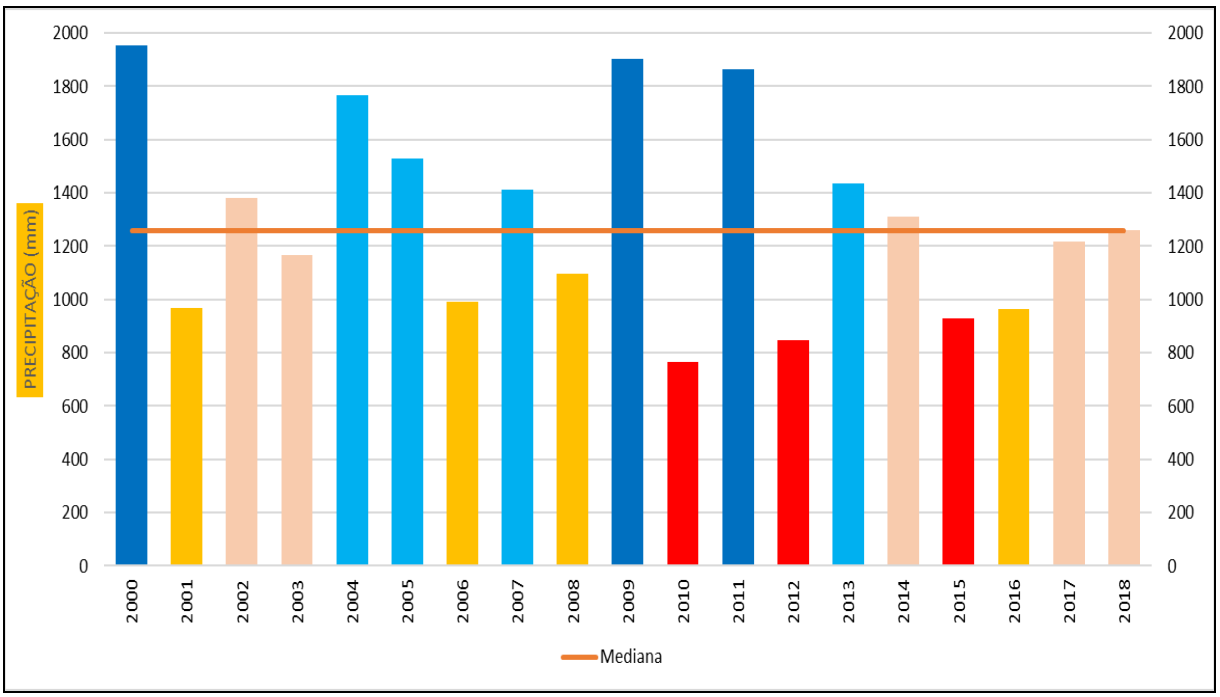
Figura 3: Totais anuais de chuvas (mm) Aracaju/SE com classificação percentil (2000-2018)



Fonte: Satélite ERA-Interim Org.: J. L. S. BRAZIL, 2023

Por outro lado, na cidade de Natal (Figura 4) foi observado que as chuvas habituais têm concentração nos totais anuais de 1.167 mm a 1.382 mm, representando 26% dos dados. Os anos tendentes a chuvoso e chuvosos, compreendem respectivamente as precipitações no intervalo de 1.412 mm a 1.766 mm (21%) e de 1.865 mm a 1.955 mm (16%). Por outro lado, os anos tendentes a seco, compreendem respectivamente as precipitações no intervalo de 965 mm a 1.097 mm (21%) e de 767 mm a 929 mm (16%).

Figura 4: Totais anuais de chuvas (mm) de Natal/RN com classificação percentil (2000-2018)



Fonte: Satélite ERA-Interim Org.: J. L. S. BRAZIL, 2023

A capital Aracaju, pela teoria de Monteiro (1971), estava sob atuação da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) na fase negativa, e, apesar disso, a maior parte dos anos da série temporal foi caracterizada pelo registro de chuva abaixo da mediana (1071,0 mm). Da Silva et al. (2020), utilizando o SPI - Índice de Precipitação Padronizada, verificaram que a influência e alguns eventos do ENOS foram potencializados por ocorrências de fases da ODP. Isto visto nas décadas de 2000 à 2010 como a mostra dedutivo.

Dos 16 anos que apresentaram chuva inferior à média, 09 eventos foram correspondentes a atuação de El Niño, 01 correspondentes aos eventos Neutros e 05 anos, apesar de também apresentarem chuva abaixo da média, não coincidiram com nenhum evento de El Niño, segundo o índice ONI - Oceanic Niño Index. Por outro lado, os registros de períodos de anos chuvosos (2000, 2006 e 2017), foram correspondentes a atuação da La Niña, ratificando estudos anteriores no contexto geral do NEB.

A capital Natal, correspondendo à fase negativa da ODP, na década de 2000 houve registro de maiores índices de chuva anual, que até o ano de 2018, se manteve com elevadas

pluviometrias na maior parte do período, e, com isso, a uma associação genética do sistema produtores entre as duas localidades.

Dos 14 anos com chuva inferior à média, 05 eventos foram correspondentes a atuação de El Niño e 06 correspondem aos eventos Neutros. Destaque para 2010 (El Niño Moderado), com o menor registro anual de chuva. Já em relação aos períodos com chuva acima da média podemos destacar os anos (2000, 2009 e 2011) correspondentes a atuação de La Niña. De acordo com Silva et al. (2020), através da aplicação do SPI, as interações simultâneas de diferentes escalas temporais explicam altos valores de Precipitação para Natal, como também as influências de ENOS, ENOS estendido, Dipolo do Atlântico, Manchas solares e ODP.

Outros fenômenos meteorológicos em meso-escala, como os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, e em micro-escala, como as brisas e a convergência da umidade decorrente da diferença de aquecimento das superfícies continentais e oceânicas, contribuem para elevar os percentuais de chuvas e concorrem para que a variabilidade seja mais significativa nas localidades, em análise.

No que se refere à distribuição mensal da precipitação no período (2000-2018), recorreu-se a técnicas estatísticas capazes de gerar valores quantitativos apresentados na Tabela 3, a seguir, importante por realçar os extremos (*outliers*). Além disso, o método tem viabilizado a descrição detalhada do comportamento das chuvas ao identificar sazonalidades, tendências, desvios e valores atípicos de precipitação em determinadas séries temporais.

Tabela 3: Valores estatísticos de dados de precipitação (mm) para Aracaju– 2000 a 2018

MEDIDAS DESCRITIVAS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
Limite Superior	75,8	99,3	133,1	245,3	399,5	296,0	243,6	160,5	152,1	121,0	82,0
Máxima	272,0	113,0	211,0	227,0	460,0	277,0	210,0	177,0	221,0	155,0	132,0
Quartil 3	40,5	65,5	72,8	142,5	236,0	182,8	160,0	111,0	77,5	61,8	36,3
Mediana	27,0	56,0	54,0	117,0	167,0	124,0	138,0	80,0	48,0	29,0	17,0
Quartil 1	17,0	43,0	32,5	74,0	127,0	107,3	104,3	78,0	27,8	22,3	5,8
Mínimo	10,0	20,0	18,0	13,0	60,0	71,0	40,0	13,0	10,0	3,0	3,0
Limite Inferior	5,3	31,8	12,4	39,8	72,5	69,5	76,4	61,5	2,9	2,5	-9,5

Org. Brazil, J. L. S.

Observa-se que o período mais chuvoso na cidade de Aracaju compreende os meses de março a agosto (Outono e Inverno), residente aos longos estudos anteriores de domínio público. Nos meses seguintes nota-se uma diminuição na precipitação, compreendendo as estações da primavera e verão. Porém na estação do calor, especificamente no mês de janeiro, observam-se índices de precipitação elevados, tendo conhecimento de que ocorre em função da incidência dos raios solares. Tal condição também se deve da atuação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), que ocorrem na faixa litorânea e levam a umidade até Aracaju. Assim, na cidade de Aracaju, maio foi o mês mais chuvoso, com precipitação superior a 236 mm e, excepcionalmente acima de 399,5 mm, enquanto o mês mais seco é repetidamente dezembro, com chuvas inferiores a 15 mm na conformidade com os dados observados, ainda que de curto prazo.

Seguindo as características de uma cidade costeira, em Natal/RN observa-se a mesma tendência com pequenas diferenças. As chuvas começam a ter um crescente a partir do mês de janeiro até o mês de julho, tendo seu pico no mês de junho com precipitação superior a 360 mm. Possivelmente devido aos sistemas atmosféricos do período. Porém, a

partir do mês de agosto, que demonstra ser o mês de transição, nota-se uma diminuição na precipitação até o mês de dezembro com chuvas inferiores a 5,0 mm (Tabela 4).

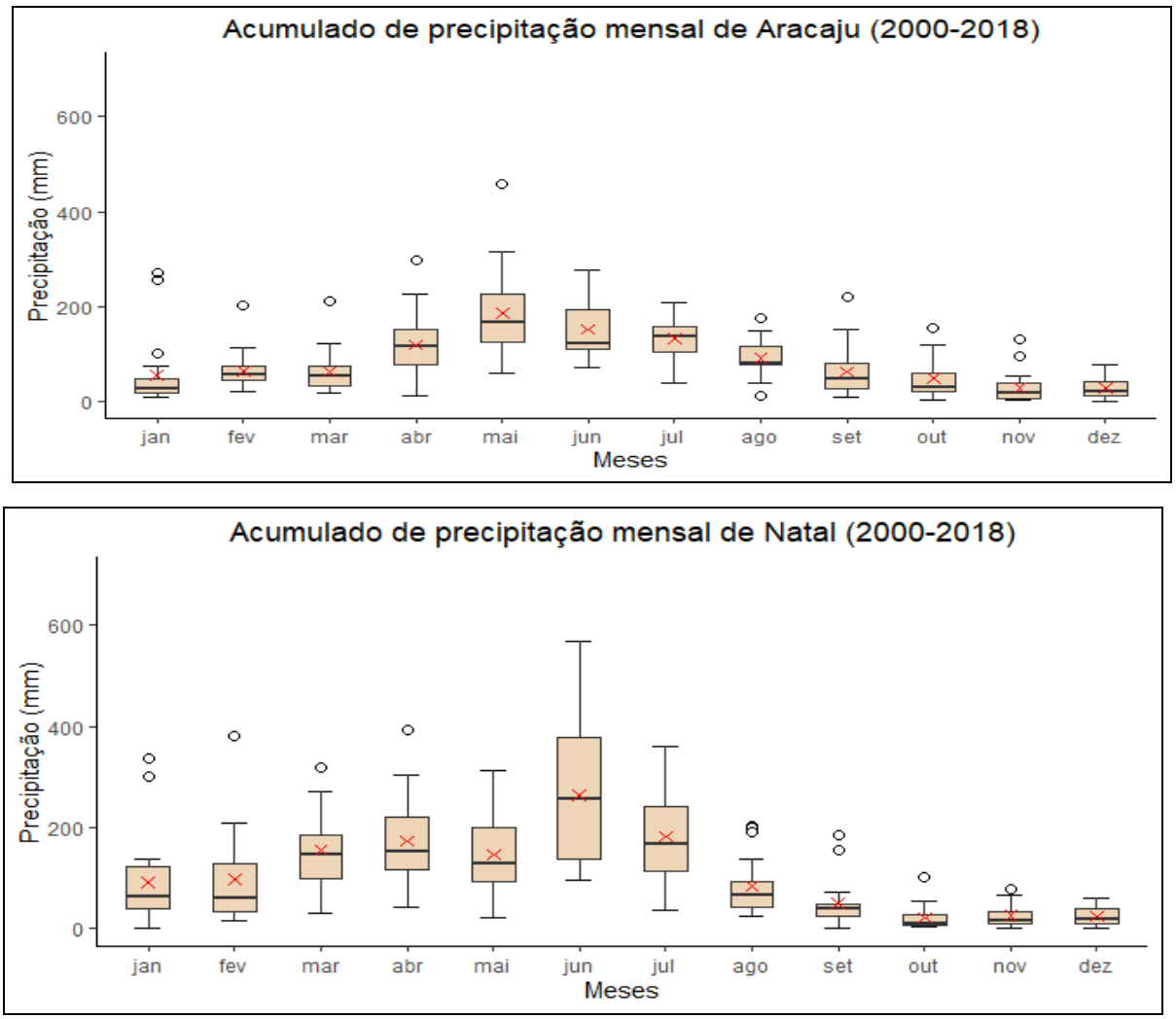
Tabela 4: Valores estatísticos de dados de precipitação (mm) para Natal– 2000 a 2018

MEDIDAS DESCRITIVAS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Limite Superior	243,5	250,3	305,3	391,0	329,0	669,8	437,5	177,5	88,5	57,8	57,8	86,3
Máxima	348,0	382,0	320,0	378,0	329,0	563,0	360,0	202,0	184,0	103,0	79,0	58,0
Quartil 3	122,0	120,5	184,5	229,0	197,0	360,0	239,5	95,0	49,5	25,5	25,5	39,0
Mediana	64,0	59,0	141,0	156,0	133,0	245,0	152,0	66,0	40,0	11,0	10,0	17,0
Quartil 1	41,0	34,0	104,0	121,0	109,0	153,5	107,5	40,0	23,5	4,0	4,0	7,5
Mínimo	3,0	16,0	29,0	43,0	24,0	96,0	35,0	22,0	1,0	0,0	0,0	0,0
Limite Inferior	0,5	-9,3	63,8	67,0	65,0	50,3	41,5	12,5	10,5	-6,8	-6,8	-8,3

Org. Brazil, J. L. S.

A observar modelo estatístico complementar, pela representação do gráfico BoxPlot de cada mês da cidade de Aracaju e Natal (Figura 5) no período de 2000 a 2018, nota-se que o maior valor de mediana no mês de maio é de 167 mm e em junho de 245 mm, enquanto menor valor (17 mm) e (10 mm) foi no mês de novembro. Tais resultados ratificam análise precedente pelo olhar gráfico.

Figura 5: Boxplot do acumulado de precipitação mensal (mm) de Aracaju/SE e Natal/RN (2000-2018)



Fonte: Satélite ERA-Interim Org.: J. L. S. BRAZIL, 2023

Para as duas cidades, os meses entre janeiro e julho apresentam maior dispersão dos dados de chuva (maior ocorrência de outliers), devido à influência de DOLs, circulações das brisas, e principalmente da ZCIT, que atua na transição de outono para inverno e ocasionam chuvas frequentes, de menor magnitude (Lima e Pinto, 2012).

Nos meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, a dispersão diminuiu significativamente (menor ocorrência de outliers), portanto, isso indicou que os dados possuem maior similaridade, sendo menos susceptíveis aos desvios nessa época do ano (Araújo et al., 2010; Aquino, 2020). O mês de agosto é o de transição, com outlier inferiores abaixo de 13 mm, enquanto nos meses de setembro a dezembro as estiagens são potencializadas. No conjunto dos dados, os extremos inferiores atingem o menor potencial,

ou seja, 0 mm, com baixa variabilidade entre os outlier inferiores e o 1º quartil, sugerindo potencial para o seco.

A representação do Quadro 2, demonstra a variabilidade dos acumulados de precipitação mensal em cada ano na cidade de Aracaju. Lembrando o período limitado de análise, por conta da inconsistência de dados pluviométricos.

Quadro 2: Pluviograma (mm) da variabilidade mensal de Aracaju/SE (2000-2018)

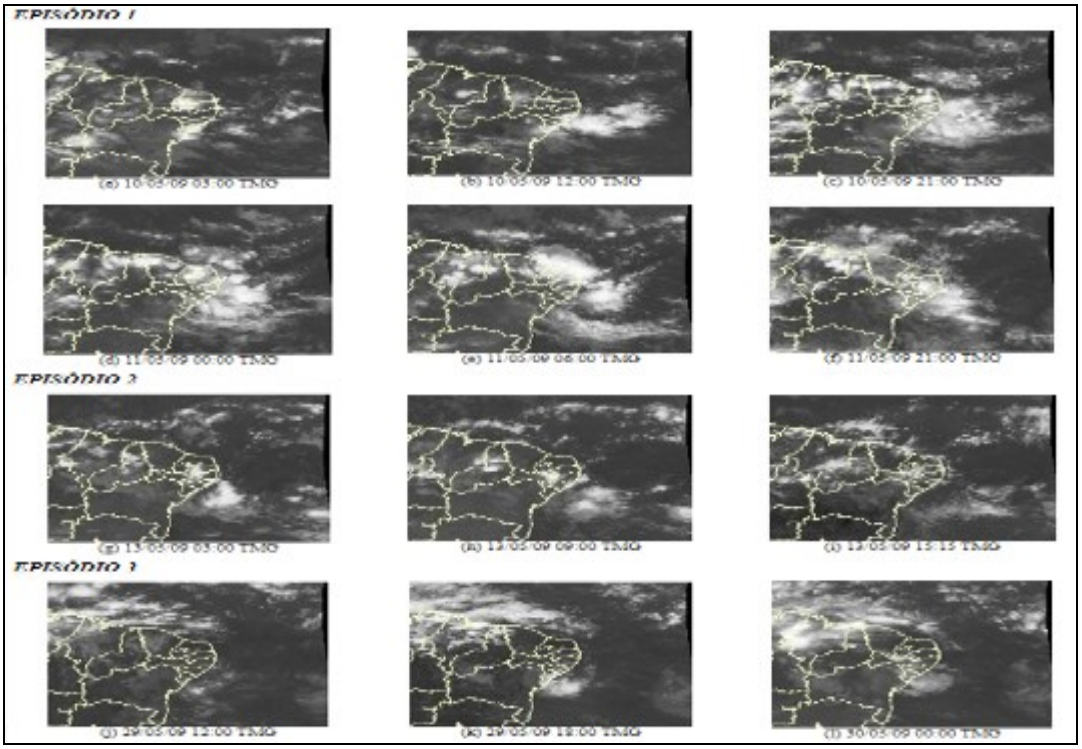
Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2000	54	202	88	297	115	267	138	150	152	14	52	71	1600
2001	29	20	73	132	60	277	210	177	86	120	31	60	1275
2002	257	110	72	66	244	195	90	90	48	8	17	22	1219
2003	27	46	62	41	212	124	169	103	42	100	132	13	1071
2004	272	83	45	87	139	155	151	120	82	3	10	0	1147
2005	42	56	54	124	167	131	144	113	21	17	4	49	922
2006	21	22	38	160	292	192	171	80	98	155	38	62	1329
2007	36	113	122	146	172	117	146	78	51	21	13	16	1031
2008	23	81	211	106	278	103	128	79	30	29	8	14	1090
2009	16	42	18	92	460	122	105	143	60	24	4	15	1101
2010	22	58	32	227	133	254	161	80	73	32	5	12	1089
2011	75	64	36	176	182	71	119	78	39	62	55	6	963
2012	33	64	34	13	147	87	100	78	79	57	3	2	697
2013	10	31	18	164	124	116	157	132	27	117	95	77	1068
2014	14	48	69	117	117	95	128	44	35	61	38	7	773
2015	20	55	32	71	199	114	104	46	27	29	4	21	722
2016	101	49	31	49	125	143	40	39	27	22	17	25	668
2017	10	30	82	131	315	231	169	105	221	54	18	24	1390
2018	11	66	78	83	79	105	79	13	10	23	19	23	589

Fonte: Satélite ERA-Interim Org.: J. L. S. BRAZIL, 2023

Nota-se, pela elevada concentração de chuvas no outono e inverno com significativas anomalias permanecendo a situação ao centro, delimitado pela cor azul. Ao considerar o comportamento interanual, pelo quadro tem-se que 2002, 2003 e 2004 com distúrbios na cronologia de chuvas.

No mês mais chuvoso, que é maio, verificam-se totais acima da média em praticamente toda a Região do Nordeste. A ZCIT e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) foram os principais mecanismos responsáveis pela ocorrência de chuvas no decorrer, especificamente no período de 04 a 06, quando os ventos intensificaram o transporte de umidade do oceano em direção à costa leste do Nordeste, ocasionando chuvas intensas e transtornos à população da costa leste do Nordeste. Entre os dias 10 e 11, notou-se, também, a configuração de aglomerados convectivos associados à propagação de DOL. No mesmo mês, os aglomerados convectivos associados à propagação de DOL ocorreu no período de 09 a 12, quando se registraram acumulados de chuva mais acentuados na faixa litorânea entre o Rio Grande do Norte e a Bahia (Figura 6).

Figura 6: Propagação de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), em MAIO/2009, no Oceano Atlântico Sul.



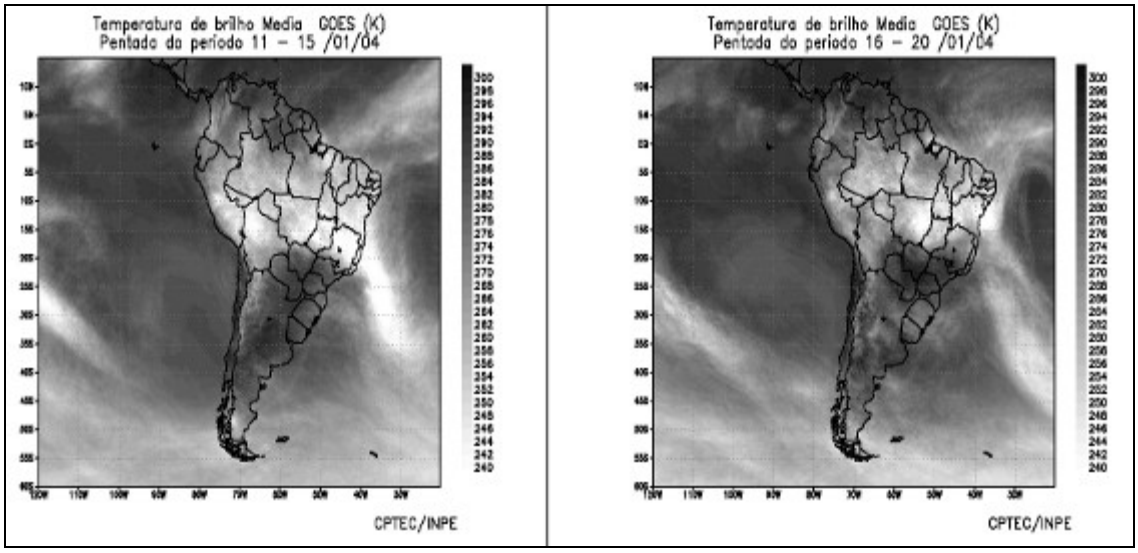
Fonte: Imagens do satélite GOES-10 - CLIMANÁLISE/CPTEC/INPE - Volume 24 - N.05 - maio/2009

Em algumas localidades os acumulados de maiores intensidade adjacentes excederam 100 mm. Ressalta-se que, nestes dias, além da formação de DOL's, as anomalias positivas de precipitação no leste do Nordeste estiveram associadas à maior intensidade dos ventos adjacente à costa, por sua vez intensificados pela formação de uma baixa pressão sobre o Oceano Atlântico.

Pelo Boletim Climanalise, no período de 21 a 22, a formação de DOL's adjacente à costa leste do Nordeste do Brasil ocorreu, em conjunto com a atuação de um cavado em baixo, médio e alto níveis, próximo à costa leste do Nordeste. Neste período, os ventos de leste favoreceram a intensificação da convergência de umidade sobre o leste da Bahia, Sergipe e Alagoas e as chuvas associadas causaram transtornos e prejuízos à população de algumas localidades.

O mês de janeiro apresenta um acumulado de chuva de mediana de 27 mm. As precipitações consideradas habituais estão na faixa de 17 mm a 40,5 mm (2000, 2005 e 2011). Conforme observado no Boletim de monitoramento e análise climática, o mês de janeiro de 2004 destaca dois momentos (12 a 22 e 28 a 31) de chuvas intensas que ocorreram similarmente em toda a Região do Nordeste, devidas ao deslocamento de frentes frias para o norte, à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e à presença de Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN) sobre o Oceano Atlântico (Figura 7).

Figura 7: Configuração da ZCIT e VCAN no mês de janeiro/2004



Fonte: CLIMANÁLISE/CPTEC/INPE - Volume 19 - N.01 - janeiro/2004

O primeiro episódio foi o que apresentou maior duração e teve um comportamento atípico, com a banda de nebulosidade cobrindo toda a Região Nordeste e boa parte das Regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste. Ressalta-se que, no início do episódio, a banda de nebulosidade foi mantida semi-estacionária, devido à influência de um cavado em altos níveis sobre o Oceano Atlântico, próximo ao litoral do Nordeste, tendo informações difundidas e pesquisadas que o evento proporciona totais de precipitação maiores que 250 mm em grande parte do Nordeste.

Em paralelo, contrapondo dados de Aracaju/SE, a representação do Quadro 3, de cada mês demonstra a variabilidade dos acumulados de precipitação mensal em cada ano na cidade de Natal/RN, caracterizada por um período chuvoso (entre fevereiro e julho) com alta variabilidade interanual (Uvo; Berndtsson, 1996; Uvo, 1989) e nenhuma chuva durante maior parte do período seco (outubro – dezembro).

Quadro 3: Pluviograma (mm) da variabilidade mensal (mm) de Natal/RN (2000-2018)

Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2000	69	111	92	230	216	563	256	202	184	3	6	21	1953
2001	36	22	84	243	24	211	116	94	48	5	26	58	967
2002	118	32	320	96	127	245	138	201	1	26	73	5	1382
2003	86	129	284	135	165	137	109	42	21	16	11	34	1169
2004	348	160	187	130	137	420	273	43	40	13	11	2	1764
2005	4	34	170	94	329	558	106	96	26	103	0	14	1534
2006	3	16	168	227	92	136	70	66	51	37	79	41	986
2007	131	112	112	228	131	372	143	76	41	11	42	13	1412
2008	63	34	111	378	126	164	59	91	30	30	10	1	1097
2009	126	170	182	314	275	348	223	192	58	0	10	4	1902
2010	64	59	49	144	133	96	101	48	31	3	1	39	768
2011	336	203	122	239	290	273	262	78	14	11	25	11	1864
2012	46	109	97	43	57	255	177	37	18	7	0	0	846
2013	8	54	29	140	216	280	360	142	151	3	44	10	1437
2014	71	28	241	56	127	435	177	38	73	25	21	17	1309
2015	30	54	267	112	54	166	152	23	11	11	0	49	929
2016	138	58	117	166	146	143	35	56	41	14	9	41	964
2017	46	79	141	179	178	169	256	22	46	54	9	39	1218
2018	58	382	180	156	64	117	200	26	40	0	2	34	1259

Fonte: Satélite ERA-Interim Org.: J. L. S. BRAZIL, 2023

Os sistemas meteorológicos atuam em escala sinótica: ZCIT, VCAN's, DOL's, ZCAS e SF; em mesoescala: LI e SCM's; e em escala local: tempestades isoladas e circulações de brisa (Cavalcanti, 1982; Cohen et. al., 1989; Molion e Bernardo, 2002; Tavares, 2008; Barros; Okama, 2010).

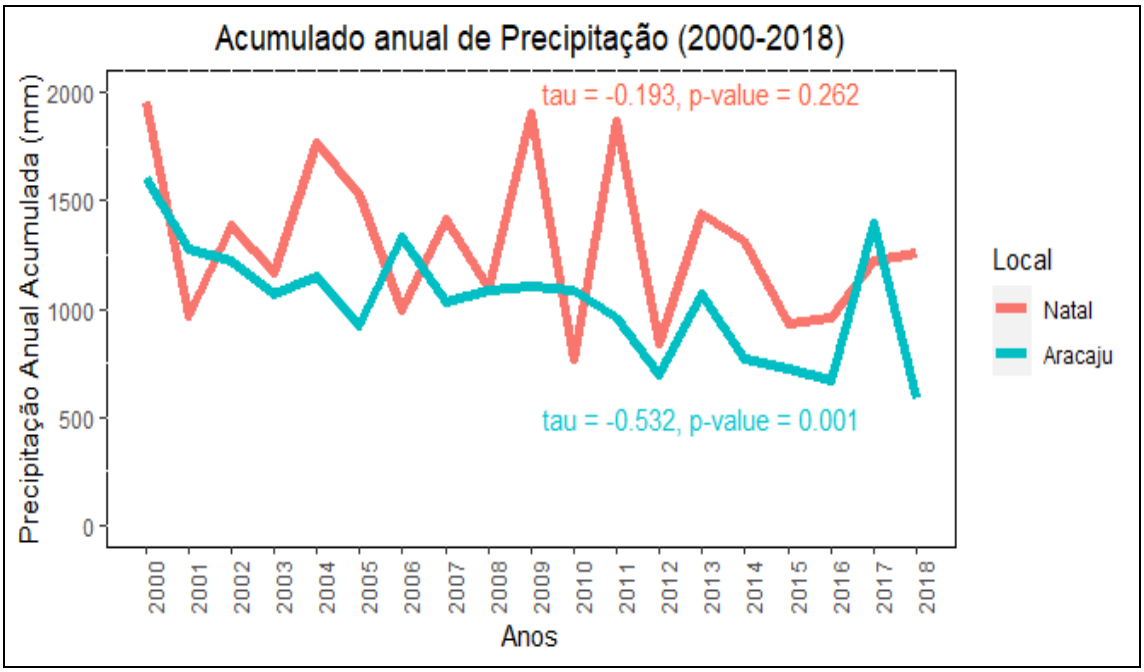
Observamos que o mês de junho é mais chuvoso, que, segundo o boletim de monitoramento e análise climática a precipitação acumulada no período de 2000 e 2005 sobre a Região Nordeste apresentou os valores mais altos, acima de 400 mm na faixa litorânea, desde o Rio Grande do Norte estendendo-se até Sergipe.

Pelo Boletim, o aumento da convergência de umidade, associado ao efeito de brisa, e a formação de aglomerados de nuvens associados à propagação de distúrbios de leste no leste da Região Nordeste favoreceram a ocorrência de chuvas acima da média desde o Rio Grande do Norte até Alagoas e no leste da Bahia. Foram observados sete episódios que proporcionaram significativas ocorrências de chuva desde o litoral do Rio Grande do Norte até Pernambuco.

3.2 – Análise de tendência pluvial

Para as duas cidades localizadas no litoral do Nordeste do Brasil, as séries temporais obtidas apresentaram tendência de diminuição da precipitação no acumulado anual. Os resultados mais detalhados são apresentados a seguir, conforme a Figura 8:

Figura 8: Tendência pluviométrica em Aracaju/SE e Natal/RN (2000-2018).



Fonte: Satélite ERA-Interim Org.: J. L. S. BRAZIL, 2023

Com o Teste de Mann-Kendall, a análise da precipitação acumulada demonstrou uma tendência de queda mais acentuada na cidade de Aracaju, com valores de *p-valor* sendo menores do que 0,05, permanecendo assim dentro do intervalo considerado estatisticamente significante. Importante notar, no entanto, que o valor *Tau* de -0,532 demonstra uma tendência negativa de moderada à forte em relação a série de dados analisada.

O forte processo de alteração no uso e ocupação das terras ao longo das últimas décadas na cidade de Aracaju, Estado de Sergipe, pode ter ocasionado mudanças no balanço hídrico local, sendo responsáveis pela redução dos índices pluviométricos. Entre os principais processos de uso e ocupação das terras que influenciam a variabilidade das precipitações, destacam-se a expansão urbana desordenada, a impermeabilização crescente do solo, o desmatamento de áreas naturais e a substituição de ecossistemas nativos, como manguezais e matas ciliares, por empreendimentos imobiliários e infraestrutura urbana.

A expansão da malha urbana junto com a remoção da cobertura vegetal, intensifica a formação de ilhas de calor e diminui a umidade disponível na atmosfera, respectivamente. Essas ações, alteram os fluxos atmosféricos locais e reduz a capacidade de infiltração e

evapotranspiração da água, fatores que impactam diretamente a formação e a distribuição das chuvas.

Para a cidade de Natal, nota-se também uma tendência de diminuição de precipitação no acumulado anual, porém, quando utilizamos o Teste de Mann-Kendall, o espaço urbano municipal apresenta um *p-valor* maior que 0,05, sendo assim considerado estatisticamente insignificante para caracterizar uma mudança de comportamento. Em relação ao valor *Tau* de -0,193, demonstra uma tendência negativa mais fraca comparada a cidade de Aracaju em relação aos dados analisados. Lembrando, no caso, a influência geográfica da latitude, pela incidência da radiação solar e pela localização em relação aos sistemas atmosféricos de produtores de chuvas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral observou-se a predominância da tendência decrescente no volume de precipitação das cidades de Aracaju/SE e Natal/RN. Tal evidência pode ser explicada em virtude do pequeno banco de dados analisado (2000-2018), e que, havendo disponibilidade maior de informações pode vir a constituir nova análise ou ratificar a explicação definida. Porém deve se considerar que os resultados propostos e demonstrados em modelo gráfico foram significativamente satisfatórios para uma análise comparativa, em singularidades e pluralidades do tempo e clima, como podemos ratificar a seguir.

As duas cidades apresentam dinâmica da variabilidade mensais, sazonais e interanual associada as ocorrências dos sistemas atmosféricos como ASAS, ZCIT, VCAN, DOLs, assim como ENOS, e influências da maritimidade do Oceano Atlântico. É interessante destacar que esses sistemas basicamente determinam parte da gênese das chuvas, e condicionam o padrão de precipitação nas duas cidades.

Analisando os dados observou-se que o regime de precipitação das duas cidades tropicais litorâneas é bem definido e até certo ponto similares, período mais chuvoso, de abril a agosto, e período menos chuvoso, de setembro a março. O coeficiente de variância evidenciou uma variabilidade da precipitação pluviométrica de baixa intensidade.

As cidades de Aracaju/SE e Natal/RN são diferenciadas em relação ao regime de precipitação, segundo a disposição de sistemas e fatores geográficos do clima, como:

localização e posição geográfica diferentes, além de relevos distintos, como consequência, é evidenciado na diversidade do comportamento pluviométrico.

Além do modo de variabilidade temporal, foi desenvolvido o teste estatístico de Mann Kendall, no qual, demonstrou nas duas cidades tendência negativa, estatisticamente significativa e insignificante, respectivamente em Aracaju/SE e Natal/RN, dos valores anuais de precipitação acumulada. No cenário, considerando a intensa e complexa dinâmica climática há tendências à redução, mesmo não sendo significativas estatisticamente, merecem análise, especificas, pois podem afetar o espaço urbano.

A tendência de diminuição dos índices pluviométricos observada nas últimas décadas parece estar diretamente associada aos intensos processos de alteração no uso e ocupação das terras, que transformaram o espaço urbano. A substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis e a expansão urbana reduziram a capacidade de infiltração e de evapotranspiração, impactando significativamente a dinâmica das precipitações. Tal fato, como diminuição da precipitação, pode ter efeito sobre atividades econômicas desenvolvidas.

Essa realidade evidencia que as intervenções antrópicas, muitas vezes conduzidas sem a devida consideração dos limites ambientais, desempenham papel crucial na configuração atual do clima urbano, reforçando a necessidade de políticas públicas que conciliem o desenvolvimento urbano com a preservação dos sistemas naturais.

Portanto, importante ressaltar o desenvolvimento de mais estudos que podem, a partir de outros testes, estabelecer nova correlação, em consonância e/ou discordância, entre a causa-efeito dos padrões de precipitação em centros urbanos.

REFERÊNCIAS

ANJOS, M. W. B dos. **Orientações climáticas para o planejamento urbano numa cidade costeira do nordeste do Brasil: Aracaju-SE.** Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de geografia e ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 2017.

APARECIDO, L. E. de O. et al. Acurácia da Reanálise ERA-Interim do ECMWF e sua Aplicação na Estimativa da Deficiência Hídrica no Estado do Paraná, Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia,** São Carlos, São Paulo, v. 34, n. 4, 2019. Disponível em https://doi.org/10.1590/0102-7786344066. Acesso: 07 mai. 2024.

AQUINO, D. S. Análise do comportamento anômalo da precipitação pluvial em Aracaju–SE, entre 1961 e 2019. **Revista Principia**, [S. l.], n. 57, p. 150–158, 2021. Disponível em: https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/4514. Acesso em: 28 mar. 2024.

ARAÚJO, C. S. P. de. **Balanço hídrico climatológico via reanálise ERA5-LAND no Estado de Pernambuco.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/9071. Acesso: 07 maio 2024

ARAÚJO, H. M.; SOUZA, A. C.; COSTA, J. J.; SANTOS, G. J. O clima de Aracaju na interface com a geomorfologia de encostas. **Scientia Plena**, São Cristóvão, Sergipe v. 6, n. 8, p. 1–9, 2010. Disponível em: https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/75. Acesso em: 28 mar. 2024.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, DF, v. 36, n. 5, p.717-726, 2001.

BARROS, S. S. D.; OYAMA, M. D. Sistemas meteorológicos associados à ocorrência de precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara**. Revista Brasileira de Meteorologia,** São Carlos, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 333–344, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/a/mxkzdnPbdnq8r9hFk4qxfND/. Acesso em: 28 mar. 2024.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. G. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BERRISFORD, P.; KALLBERG, P.; KOBAYASHI, S.; DEE, D.P.; UPPALA S.M.; SIMMONS, A.J.; POLI, P. **Atmospheric conservation properties in ERA-Interim**. ERA Report Series, ECMWF: Reading, UK. In press, 2009.

BORSATO, V. da A; MASSOQUIM, N. G. **O delineamento das massas de ar no Brasil.** 1. Ed. Curitiba: Editora CRV, 2020.

CABRAL JÚNIOR, J. B; LUCENA, R. L. Análise das precipitações pelos testes não paramétricos de Mann-Kendall e Kruskal-Wallis. **Mercator**, Fortaleza, Ceará: v. 19, p. 1-14, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.4215/rm2020.e19001. Acesso: 12 jan 2025

CAETANO, D. de A. **Análise sinótica de um caso de distúrbio ondulatório de leste sobre a cidade de Natal – RN.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Meteorologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40273/3/AnaliseSinotica_Caetano_2017.pdf. Acesso: 07 maio 2024

CAVALCANTI, I. F. A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982.

CHRISTOFOLETTI, A. Implicações geográficas relacionadas com as mudanças climáticas globais. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, v. 23, n. 45/46, p. 18–31, 1993. Disponível em: https://biblat.unam.mx/es/revista/boletim-de-geografia-teoretica/articulo/implicacoes-geograficas-relacionadas-com-as-mudancas-climaticas-globais. Acesso em: 14 abr. 2024.

CHRISTOFOLETTI, A. O conhecimento geográfico no Brasil: considerações de um geógrafo. **Geografia**, Rio Claro, v. 17, n. 2, p. 107–115, out. 1992. Disponível em: https://periodicos.fclar.unesp.br/geografia/article/view/3920. Acesso em: 14 abr. 2024.

CLIMANÁLISE – Boletim de Monitoramento e Análise Climática. **Revista Climanalise**, São José dos Campos, São Paulo, v. 24, n. 5, maio de 2009. Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/. Acesso em: 28 mar. 2024.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. F.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Revista Climanalise**, São José dos Campos, São Paulo, v. 4, n. 11, p. 34–40, novembro, 1989. Disponível em: https://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/. Acesso em: 28 mar. 2024.

DEE, D. P. *et. al.* The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Reino Unido, v.137, p.553–597, abril, 2011. Disponível em: https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.828. Acesso em: 28 mar. 2024

ECMWF. **European Centre for Medium-Range Weather Forecasts**. Disponível em: www.ecmwf.int. Acesso em: 20 set. 2019.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, Paraná, v. 1, n. 1, p. 15–28, 2005. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25215. Acesso em: 22 mar. 2024.

FONTÃO, P. A. B.; ZAVATTINI, J. A. Variabilidade das chuvas anuais na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e no Sistema Cantareira: classificação e frequência dos anos-padrão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, Pernambuco, v. 12, n. 2, p. 457–469, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234903. Acesso em: 14 abr. 2024.

FU, R.; BETTS, A. K. How well does the ERA40 surface water budget compare to observations in the Amazon River basin. ***Journal of Geophysical Research: Atmospheres***, Washington, DC, EUA v. 113, n. D11, 2008. Disponível em: https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007JD009220. Acesso em: 14 abr. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 abril 2023.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP). Brasília, 2022**.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br>. Acesso em: 16 abril 2024.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. UNEP, EUA, 2021.

KAYANO, M. T. et al. El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. **Revista Climanalise**, São José dos Campos, v. 30, n. 4, p. 7-12, 2016. Disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/Kayanoetal.pdf. Acesso em: 28 mar. 2024

KENDALL, M. **Rank correlation measures**. Charles Griffin, London, v. 202, n. 15, 1975.

LIMA, E. S.; PINTO, J. E. S. S. Principais sistemas meteorológicos em Sergipe. **Revista Geonorte**, Manaus, Amazonas, v. 3, n. 8, p. 729–739, 2012. Disponível em: https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2408. Acesso em: 28 mar. 2024.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, v. 13, p. 245–259, 1945. Disponível em: https://doi.org/10.2307/1907187**.** Acesso em: 28 mar. 2024.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; BEZERRA, E.A.; LACERDA, F.F. **Variabilidade e Mudanças climáticas no semiárido brasileiro.** INSA - Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande, p. 383-422, 2011.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia,** São Carlos, São Paulo, v.17, n.1, 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/ . Acesso em: 14 abr. 2024.

MONTEIRO, C. A. de F. **Análise rítmica em climatologia**. São Paulo: USP/IGEOG, 1971.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. Análise de séries temporais. São Paulo: Blucher, 2004. 539 p. ISBN 9788521204184.

PICCININI, M. **Distribuições de probabilidade de precipitação de intensidade máxima para Piracicaba, SP**. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) — Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1993.

PINTO, J. E. S. de S. e NETTO, A. de O. A. **Clima, geografia e agrometeorologia:** uma abordagem interdisciplinar. São Cristovão: Editora UFS; Aracaju: Fundação Oviêdo Teixeira, 2008.

PIRES, D. A. da C.; PINTO, J. E. S. de S**. Clima Urbano:** uma análise das alterações provocadas pela verticalização e modelação urbana na cidade de Aracaju/SE. 2012

SALVIANO, M. F.; GROPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64–

73, 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbmet/a/84QsHfz7hq39RVpZmdmXsTN. Acesso em: 14 abr. 2024.

SANT'ANNA NETO, J. L. As chuvas no Estado de São Paulo: a variabilidade pluvial nos últimos 100 anos. In: SANT'ANNA NETO, J. L; ZAVATINI, J. A. (ORGs). **Variabilidade e mudanças climáticas:** Implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá, EDUEM, 2000, p 17 – 28.

SILVA, D. F. *et. al.* Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, Pernambuco, v. 13, n. 2, p. 449–464, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbgfe/a/77RZdZy9dwSy6V4rNZL6pKK/. Acesso em: 22 mar. 2024.

SILVA, M. R.; MOURA, F. P.; JARDIM, C. H. O diagrama de caixa (Box Plot) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, Pernambuco, v. 10, n. 1, p. 23-40, 2017. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233949. Acesso em: 14 abr. 2024.

TAVARES, P. S. **Um estudo observacional da incursão de sistemas frontais no Nordeste Brasileiro e sua influência na atmosfera do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA).** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 152 p., 2008. Disponível em: http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/05.19.20.01/doc/publicacao.pdf. Acesso em: 14 abr. 2024

UVO, C. B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro. 1989. 88 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1989. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/INPE_1305aca12f4588e659993c1741f960b9. Acesso em: 14 mar. 2025.

UVO, C. R. B.; BERNDTSSON, R. Regionalization and spatial properties of Ceará state rainfall in Northeast Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. D2, p. 4221–4233, 1996. Disponível em: https://doi.org/10.1029/95JD03235. Acesso em: 14 mar. 2024

WANDERLEY, L. S. A. **Proposta de classificação climática da Região Nordeste do Brasil baseada na abordagem sinótica dos tipos de tempo.** Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/40935. Acesso em: 14 mar. 2024