





RELAÇÃO ESTATÍSTICA ENTRE CASOS DE DENGUE EM MACEIÓ E VARIABILIDADE CLIMÁTICA DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO

*Statistical relationship between Dengue cases in Maceió and
climate variability in the Pacific and Atlantic Oceans*

*Relación estadística entre casos de dengue en Maceió y
variabilidad climática de los Océanos Pacífico y Atlántico*

Djane Fonseca da Silva 

Programa de Pós Graduação em Meteorologia (PPGMET) - Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
djanef.dasilva@icat.ufal.br

Pedro Fernandes de Souza Neto 

Doutorando em Meteorologia (UACA) - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
piurosfernandes@hotmail.com

Resumo: A dengue é uma doença sistêmica e de etiologia viral, e o vetor de transmissão dessa doença é o mosquito *Aedes aegypti*, cuja proliferação intensa, a partir da década de 1980, resultou em epidemias explosivas em todas as regiões brasileiras. Desse modo, o objetivo do trabalho é realizar uma avaliação da relação entre a variabilidade climática dos Oceanos Pacífico e Atlântico e a ocorrência de Dengue em Maceió. Para isso foram usados dados de precipitação, dados mensais do número de casos de dengue em Maceió, e dados do Índice IOS e do Dipolo do Atlântico, com período de dados em comum de 2014- 2023. Em relação à variabilidade do Oceano Pacífico, identificou-se que períodos de aumento de casos de Dengue também apresentaram simultaneamente registros de ocorrência de ENOS. A análise de coerência entre a Precipitação e Casos de Dengue em Maceió, verificou que o máximo das duas séries ocorrem simultaneamente. Em relação à variabilidade do Oceano Atlântico, percebeu-se que alguns períodos de aumento de casos de Dengue ocorreram registros da fase negativa do Dipolo. Já na análise de coerência entre casos de Dengue e índice do Dipolo, indicou que na escala sazonal, o máximo de casos de Dengue aconteceu 20 dias após o máximo do Dipolo. Desta forma, sugere-se que com acompanhamento e monitoramento desses índices climáticos, e utilizando a Ondaleta cruzada, pode-se estimar quando ocorrerá estatisticamente o máximo de casos de Dengue em Maceió.

Palavras-chave: IOS. Dipolo do Atlântico. Ondaleta cruzada. *lags*. DataSUS.

Abstract: Dengue is a systemic disease with viral etiology, and the transmission vector for this disease is the *Aedes aegypti* mosquito, whose intense proliferation, starting in the 1980s, resulted in

explosive epidemics in all Brazilian regions. Therefore, the objective of the work is to carry out an assessment of the relationship between the climate variability of the Pacific and Atlantic Oceans and the occurrence of Dengue in Maceió. For this, precipitation data, monthly data on the number of dengue cases in Maceió, and data from the IOS Index and the Atlantic Dipole were used, with a common data period of 2014-2023. In relation to the variability of the Pacific Ocean, it was identified It is clear that periods of increase in Dengue cases also simultaneously presented records of ENSO occurrence. The coherence analysis between Precipitation and Dengue Cases in Maceió verified that the maximum of the two series occur simultaneously. In relation to the variability of the Atlantic Ocean, it was noticed that in some periods of increase in Dengue cases there were records of the negative phase of the Dipole. In the analysis of coherence between Dengue cases and the Dipole index, it indicated that on the seasonal scale, the maximum number of Dengue cases occurred 20 days after the maximum of the Dipole. In this way, it is suggested that by following and monitoring these climatic indices, and using the Cross Wavelet, can be estimated when the maximum number of Dengue cases will statistically occur in Maceió.

Keywords: SOI. Atlantic Dipole. Cross wavelet. lags. DataSUS.

Resumen: La dengue es una enfermedad sistémica de etiología viral y el vector de transmisión de esta enfermedad es el mosquito *Aedes aegypti*, cuya intensa proliferación, a partir de la década de 1980, provocó epidemias explosivas en todas regiones brasileñas. Por tanto, el objetivo del trabajo es realizar una evaluación de la relación entre variabilidad climática de los océanos Pacífico y Atlántico y la ocurrencia del dengue en Maceió. Para ello, se utilizaron datos de precipitación, datos mensuales del número de casos de dengue en Maceió y datos del Índice IOS y del Dipolo Atlántico, con un período de datos común de 2014-2023 en relación a la variabilidad del Océano Pacífico. Se identificó Es claro que los períodos de aumento de casos de Dengue también presentaron simultáneamente registros de ocurrencia de ENSO. El análisis de coherencia entre Precipitación y Casos de Dengue en Maceió verificó que el máximo de las dos series ocurre simultáneamente. En relación a la variabilidad del Océano Atlántico, se observó que en algunos periodos de aumento de casos de Dengue se registraron registros de la fase negativa del Dipolo. En el análisis de coherencia entre los casos de Dengue y el índice Dipolo indicó que en la escala estacional, el máximo número de casos de Dengue ocurrió 20 días después del máximo del Dipolo. De esta manera, se sugiere que mediante seguimiento y monitoreando estos índices climáticos, y utilizando el Cross Wavelet, se puede estimar cuándo ocurrirá estadísticamente el número máximo de casos de Dengue en Maceió.

Palabras clave: IOS. Dipolo Atlántico. Ondícula cruzada. Retrasos. DataSUS.

Submetido em: 16/07/2024

Aceito para publicação em: 15/02/2025

Publicado em: 03/07/2025

1. INTRODUÇÃO

O clima é um dos principais elementos que interferem no ambiente em que vivemos, e suas mudanças repercutem sobre a sociedade de modo a alterar as próprias condições da vida humana (MENDONÇA, 2000). Um dos importantes avanços alcançados no desenvolvimento da humanidade, oriundo de discussões relativas à questão ambiental no mundo contemporâneo, diz respeito à revalorização da influência da natureza sobre a sociedade.

As distribuições cronológicas de determinadas doenças em termos de registros máximos e mínimos ocorrem sempre no mesmo período, seja do ano, do mês, da semana ou do dia. Nessas distribuições, a sua variação está caracterizada por certa sazonalidade, que por sua vez está relacionada à frequência a qual o fenômeno se repete, sempre na mesma estação. A influência sazonal do clima sobre doenças tem sido investigada em vários estudos devido a potenciais riscos à saúde da população (AYOADE, 1986; TROPPIAIR, 1989; LELI et al. 2017).

Várias doenças apresentam característica sazonal, inclusive a Dengue, devido à reprodução do mosquito transmissor, o *Aedes aegypti* (DataSUS, 2024).

Desse modo, cabe explicar que Doenças Sazonais são aquelas doenças que são mais frequentes ou sofrem agravamento em certas épocas do ano, dependentes das variações ambientais das estações climáticas do ano. O ângulo de inclinação da Terra e o movimento de translação dela em torno do sol determinam essas estações, classificadas como verão, outono, inverno e primavera. As várias etapas desses ciclos causam grandes mudanças na natureza e também na vida e saúde humanas (ZIEGLER et al., 2012; ABCMed, 2021).

De acordo com Braga e Valle (2007), a dengue é uma doença sistêmica e de etiologia viral. O vetor de transmissão dessa doença é o mosquito *Aedes aegypti*, cuja proliferação intensa a partir da década de 1980 resultou em epidemias explosivas em todas as regiões brasileiras.

Nos últimos anos, os jornais da capital alagoana têm noticiado casos e mortes ocasionadas por Dengue na cidade, como por exemplo, o falecimento precoce de um bebê de apenas 22 dias por dengue em março de 2024, deixou a população muito preocupada (G1 Alagoas, 2024).

Além desses fatores acima citados, artigos já comprovaram a influência da variabilidade do Oceano Atlântico sobre a precipitação e estação chuvosa do leste do Nordeste e de Maceió (GERSHUNOV e BARNETT, 1998; ANDREOLI e KAYANO, 2007; DA SILVA, 2017), assim, consequentemente, a variabilidade climática do Oceano Atlântico posteriormente pode estar relacionada com os casos dessa doença.

A sazonalidade é perceptível nos casos e na mortalidade devido a doença, e se for identificado um modo de previsão de alta de casos da mesma, isso trará mais uma ferramenta para auxiliar os gestores locais e população.

Desse modo, aplicando estatística avançada de Ondaleta cruzada, será identificado o tempo de resposta dessa doença a máximos ou mínimos valores dos Índice de Oscilação Sul (IOS) e do Dipolo do Atlântico (DA), relacionado a casos de ENOS e do Dipolo do Atlântico. Desse modo, será possível comprovar e prever o efeito da sazonalidade e efeito climático sobre o aumento e diminuição dos casos.

Essas informações trarão resultados inéditos para a capital e até mesmo para o estado, que não tem estudos da aplicação dessa estatística nesses casos. Ao mesmo tempo, há a importância das mudanças climáticas sobre o bem-estar e novos hábitos da população, que também ganha mais informações inéditas com esse estudo, como a possível previsão do tempo de resposta dessa relação entre as variáveis.

Assim, o objetivo dessa pesquisa é realizar uma avaliação da relação entre a variabilidade climática dos Oceanos Pacífico e Atlântico, através dos índices climáticos IOS e DA, e a ocorrência da doença sazonal Dengue em Maceió.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

O Brasil possui 26 Estados mais o Distrito federal, entre eles, Alagoas (Figura 1) que é o segundo menor estado do país. Localizada na região NE, a capital Alagoana, Maceió, possui área total de 509.552 km², e está compreendida na latitude 09° 39' 57" S e longitude 35° 44' 07" W, encontra-se na região leste e possui clima Tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa no outono e inverno (PERFIL MUNICIPAL, 2018). Ao Norte limita-se com os municípios de Paripueira, Barra de Santo Antônio, São Luís do Quitunde, Flexeiras e Messias;

ao sul com Marechal Deodoro e Oceano Atlântico; a Oeste faz fronteira com o município de Rio Largo, Satuba, Santa Luzia do Norte e Coqueiro Seco; e a Leste com o Oceano Atlântico (Figura 1).

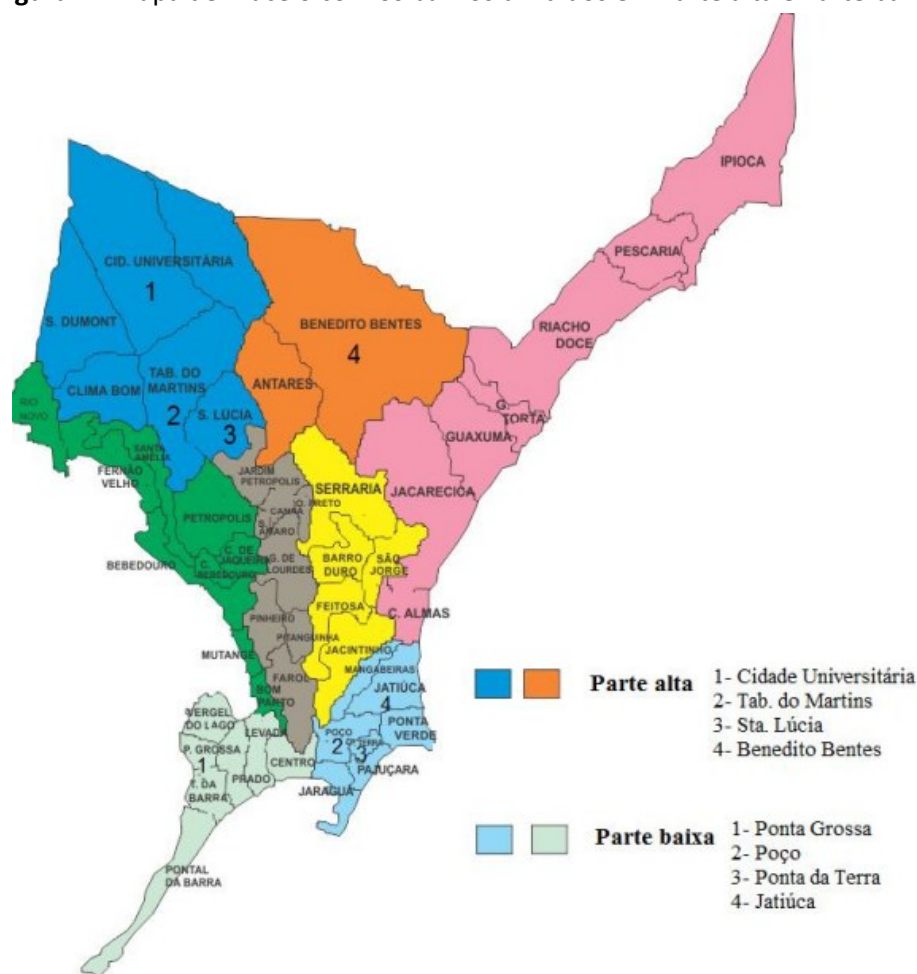
De acordo com dados do IBGE (2020) a população estimada de Maceió é de 1.025.360 pessoas, que está dividida em 48 bairros, entre Parte Alta e Parte Baixa como mostra a delimitação deles na Figura 2, sendo os maiores em população, de acordo com o censo do IBGE de 2010: Benedito Bentes (88.084 habitantes), Jacintinho (86.514 habitantes), Cidade Universitária (71.441 habitantes), Tabuleiro do Martins (64.755) e Clima Bom (55.952 habitantes) (POPULAÇÃO, 2020).

Figura 1 - Mapa do Brasil com foco no Estado de Alagoas.



Fonte: Silva e Calheiros (2019).

Figura 2 - Mapa de Maceió com os bairros divididos em Parte alta e Parte baixa.



Fonte: Barcellos e Abud (2015).

2.2. Dados

Para atingir o objetivo do trabalho foram usados dados de precipitação de Maceió, adquiridos através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dados do número de casos de dengue em Maceió, provenientes da base de dados DataSUS. Também foram usados dados dos Índices de Oscilação Sul (IOS) e do Dipolo do Atlântico, obtidos no site da National Oceanic and Atmospheric (NOAA).

O período de dados utilizados foi de janeiro de 2014 a julho de 2023, sem falhas nas séries temporais, e esse período de dados foi escolhido devido disponibilidade dos dados do DataSUS para a localidade de Maceió.

Após o tratamento dos dados, construção e análise preliminar das séries, para conhecer melhor seu comportamento, a análise da coerência da ondaleta é aplicada para permitir a identificação das bandas de frequências e intervalos de tempo nos quais as séries

estão relacionadas, e posteriormente gerando a previsão de ocorrência do máximo dos casos mediante à precipitação e aos índices IOS e DA.

2.3. Ondaleta cruzada

A ondaleta cruzada é bastante eficaz para destacar regiões de energia simultâneas entre dois sinais no domínio da ondaleta determinando assim a fase relativa entre esses sinais (VALE et al., 2020).

A análise da coerência da ondaleta é aplicada para permitir a identificação das bandas de frequências e intervalos de tempo nos quais ambas as séries estão relacionadas (TANG et al., 2014). Pode-se definir a coerência da ondaleta como a razão entre o quadrado do espectro cruzado normalizado e o espectro de potência de ondaleta individual (NOBREGA, 2019). Resultando na correlação cruzada entre as duas séries históricas estando em função da frequência, sendo a variação desses valores compreendida entre 0 a 1 (GRINSTED et al., 2004).

A análise da coerência da ondaleta de duas séries temporais X e Y é descrita conforme a equação 1 (TORRENCE; WEBSTER (1999); GRINSTED et al., 2004).

$$(1) \quad R_n^2(s) = \frac{|S(s^{-1}W_n^X(s))|^2}{S(s^{-1}|W_n^X(s)|^2)S(s^{-1}|W_n^Y(s)|^2)}$$

Em que: R_n é a coerência; S é um operador de suavização.

De acordo com Grinsted et al. (2004), é interessante interpretar a Equação 1 como sendo o coeficiente de correlação de Pearson, localizado no espaço tempo-frequência (BLAIN e KAYANO, 2011).

A descrição completa desse método é dada em Grinsted et al. (2004) e acrescenta-se que a análise cruzada de ondaletas foi aplicada utilizando o algoritmo elaborado por Aslak Grinsted - Copyright (C) 2002/2004 no Software Matlab. Sugere-se a leitura de artigos já publicados: Da Silva et al (2023), Nobre e Da Silva (2023), Rocha et al. (2023), Da Silva et. al (2022), Souza Neto et. al (2022) e Da Silva et. al (2021); nos quais foram utilizadas as análises de Ondaletas e de Ondaletas cruzadas pelos autores do presente artigo, e também utilizando a Software Matlab.

As relações de fases ou defasagens entre as séries temporais são representadas pelo ângulo de inclinação dos vetores. Setas orientadas na horizontal apontadas para a direita

(0°) indicam que as séries estão em fase; tem-se as séries em fases opostas quando as setas estão orientadas para a esquerda (180°). Para ângulos negativos entre 0° e 180° (-45°, -90° ou -135°) tem-se que o máximo da 1ª série ocorre antes do máximo da 2ª série, ou seja, a série 1 encontra-se antecipada, ocorrendo antes da série 2; quando as setas se encontram verticalmente para cima, com ângulos positivos (45°, 90° ou 135°) revelam que a 1ª série está defasada, o seu máximo ocorre depois do máximo da 2ª série. É necessário a organização e conhecimento da ordem em que os as séries são processadas, ou seja, qual série é independente, série 1, qual a dependente, série 2, para que, dessa forma, seja possível calcular o período das defasagens, ou o quanto uma variável vai anteceder ou preceder a outra (BLAIN; KAYANO, 2011; SILVA, 2015).

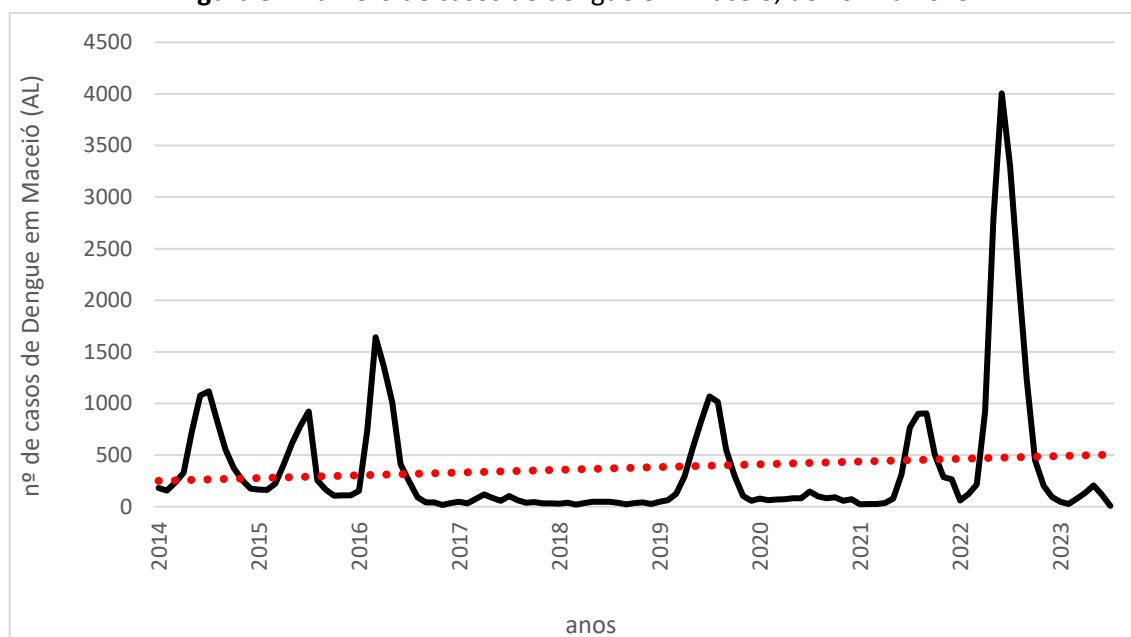
3. RESULTADOS

A Figura 3 mostra a distribuição espacial do número de casos de dengue em Maceió de janeiro de 2014 a julho de 2023. Pode-se visualizar que os maiores números de casos foram registrados em meados de 2014, de 2015, de 2016, de 2019, de 2021 e de 2022, quando ocorreu o máximo de casos na série, notadamente seguido pelo ano de 2016.

Corroborando com os dados adquiridos do DataSUS e analisados, de acordo com o Portal de notícias do G1, em 2022, foram registrados 1.450.270 casos prováveis da doença no Brasil e o aumento é de 162,5% se comparado com o ano de 2021 (G1, 2024). Desse modo, o aumento em casos de Dengue observado em todo Brasil, também foi observado em Maceió (Figura 3).

O Portal G1 Alagoas também noticiou o aumento de casos em Maceió em 2016, com o título “Notificações de casos de dengue crescem em Maceió em 2016”, publicando que 2016 apresentou aumento no número de casos de Dengue na cidade, se comparado com 2015 (G1 Alagoas, 2024).

Figura 3 - Número de casos de dengue em Maceió, de 2014 a 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

3.1. Relação com a variabilidade do Oceano Pacífico

Ao se observar a série de IOS (Figura 4), o qual indica períodos das fases de ENOS, sendo índice positivo em períodos de La Niña e negativo, em períodos de El Niño (NOAA, 2024), percebe-se que os períodos de aumento de casos de Dengue em Maceió (Figura 3) de meados de 2014 a 2016, de 2019 a 2020, e de 2021 a 2022, também apresentaram registros de ocorrência de ENOS.

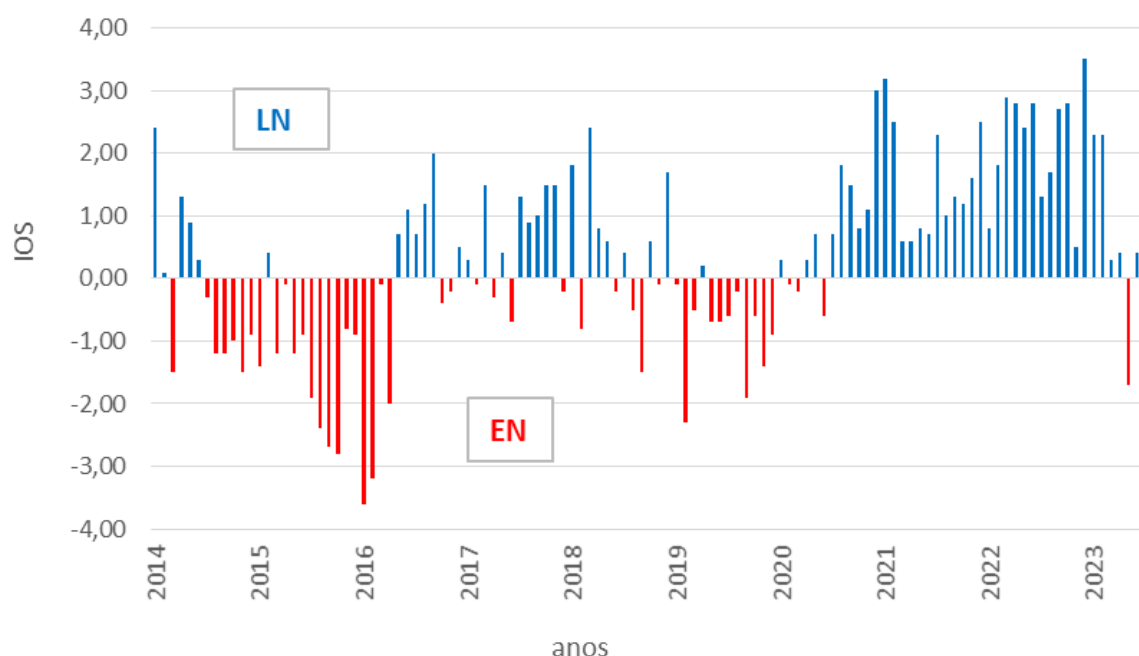
De meados de 2014 a 2016, quando ocorreu El Niño moderado a forte, registrando índice de -1,5 a -3,6 em 2016, e o mais forte IOS negativo da série da NOAA, comprovando assim sua intensidade (Figura 4), o número de casos de dengue em Maceió (Figura 3) apresentou três momentos com aumentos de notificações. De 2019 a 2020, a série de casos de dengue apresentou outro leve aumento (Figura 3) e simultaneamente ocorria El Niño moderado a fraco (Figura 4).

Por fim, o maior aumento no número de casos de dengue (Figura 3) ocorreu do final de 2021 até 2022, e concomitantemente, acontecia um La Niña moderado e forte (Figura 4), sugerindo assim que haja uma maior relação entre casos de La Niña e casos de dengue, devido a maior precipitação registrada no Nordeste do Brasil em decorrência dessa fase do ENOS (GERSHUNOV e BARNETT, 1998). Nos anos de 2014, 2015 e 2019, o aumento no

número de casos não foi tão alto, e ocorreu devido regime interanual e sazonal da precipitação, o que reforça ainda mais a influência do La Niña, como observado em 2022, com maior precipitação em Maceió, e evidente maior número de casos (Figura 3).

De acordo com Moraes et al (2019), as evidências de que o fenômeno El Niño/La Niña provoca redução/aumento no padrão pluviométrico local da Amazônia é consistente com o número menor/maior de casos notificados de Dengue na maior parte das capitais amazônicas. Os autores relacionaram o índice MEI (Multivariate ENOS Index) do Oceano Pacífico e o número de casos notificados de Dengue em sete capitais da Amazônia brasileira e observaram que, em anos de maior volume pluviométrico, com o La Niña, há episódios frequentes de cheias e alagamentos, principalmente em áreas urbanas, o que contribui diretamente para a proliferação de focos do mosquito vetor e, consequentemente, da Dengue. Esses resultados também foram observados para Maceió, conforme no nítido máximo número de casos de Dengue, citando como exemplo o período entre 2021/2022 (Figura 3), durante um evento de La Niña (Figura 4).

Figura 4 - IOS de 2014 a 2023, com valores positivos (La Niña – LN) em azul, e valores negativos (El Niño – EN) em vermelho; dados obtidos via NOAA.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

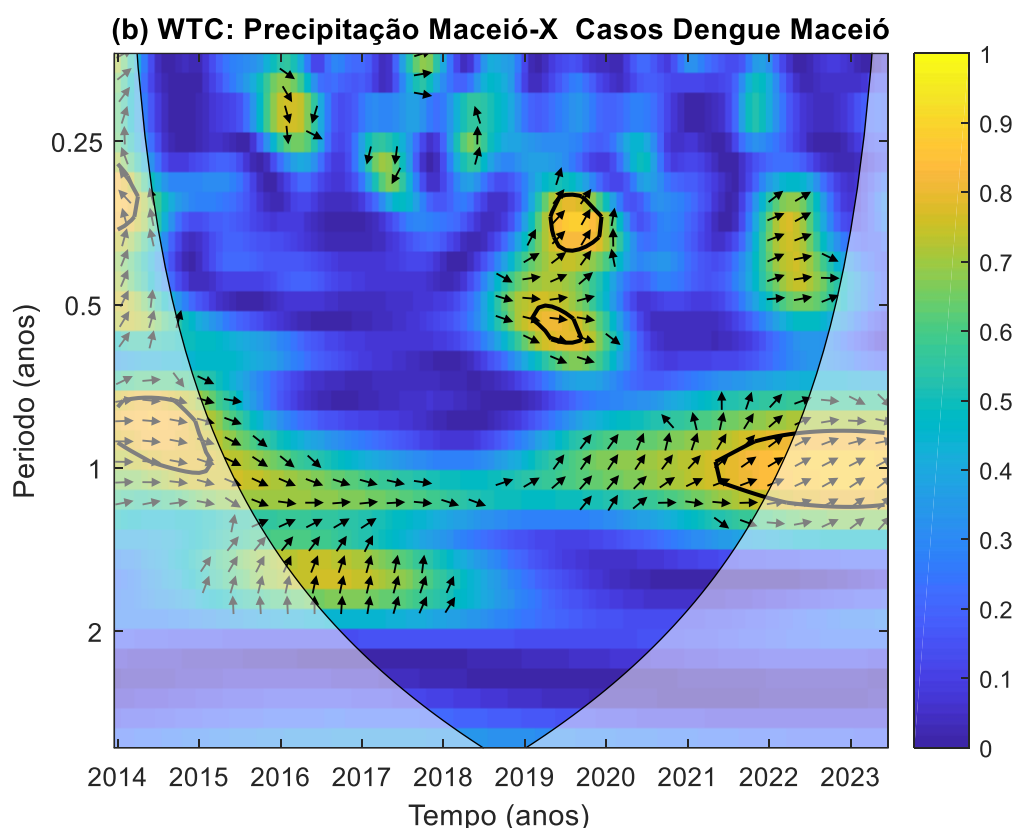
A Figura 5 traz a análise de ondaleta cruzada e coerência entre as séries de Precipitação em Maceió e Casos de Dengue em Maceió, para o período de 2014- 2023. Na

escala temporal entre 0,6 anos e 1 ano (eixo Y), observa-se alta coerência (regiões em amarelo), com predominância de setas formando ângulo de 0°, como em 2014 a 2018, e de 2020 até o final da série em 2023. O ângulo de 0° formado entre as séries (setas totalmente para direita) indica que o máximo das duas séries ocorrem simultaneamente, assim a influência de uma série sobre a outra é direta, no entanto na escala semestral (0,6 anos) e interanual (1,0 ano), relacionando a estação seca/chuvosa e a variabilidade interanual à ocorrência dos casos. Esse fato já se comprova todos os anos após a estação chuvosa do nordeste do Brasil com aumento de casos e após totalizar casos notificados em um ano mais chuvoso, conforme também sugerido por Codeço et al (2009), Viana (2013), Moraes et al (2019).

Já de 2019 a 2020, e em 2022 (Figura 5), foi observada forte coerência entre as séries na escala de 0,3 a 0,6 anos (eixo Y), indicando a relação entre as séries da escala sazonal a semestral. Essa coerência forma novamente ângulo de 0°, com setas totalmente para direita, indicando que o máximo das duas séries ocorrem simultaneamente, assim a influência de uma série sobre a outra é direta, corroborando com a influência sazonal também encontrada por Moraes et al (2019). Entre 201 e 2018, a escala que apresenta a melhor coerência é a de 1 ano, não ligada à escala sazonal e sim, a escala interanual, sendo assim, com tempo de resposta entre a variabilidade do Oceano e precipitação, maior.

Esses períodos citados com alta coerência entre as séries (Figura 5) coincide com momentos/períodos com alta ocorrência de casos de Dengue em Maceió (Figura 3).

Figura 5 - Ondaleta cruzada de coerência (WTC) entre a Precipitação em Maceió e Casos de Dengue em Maceió para o período de 2014- 2023. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A coerência entre casos de Dengue e o índice IOS é visualizada na Figura 6. Na escala sazonal de 0,25 anos, na escala de 0,4 anos e na escala semestral entre 0,6 e 0,8 anos, todas ocorrendo no ano de 2016, apresentaram forte coerência entre as séries.

O ângulo observado na escala de 0,25 anos, em 2016, foi 0°, o que indica que as séries estão em fase, ou seja, se uma variável aumenta, valores da segunda série também aumentam simultaneamente, uma influência direta e linear. Essa mesma relação, e com as variáveis também em fase, na mesma escala de 0,25 anos, repetiram-se também nos anos de 2020, e de 2021 a 2022. Assim, mesmo em anos de ENOS, a influência sazonal sobre o número de casos de Dengue é mantida, direta e forte (Figura 6).

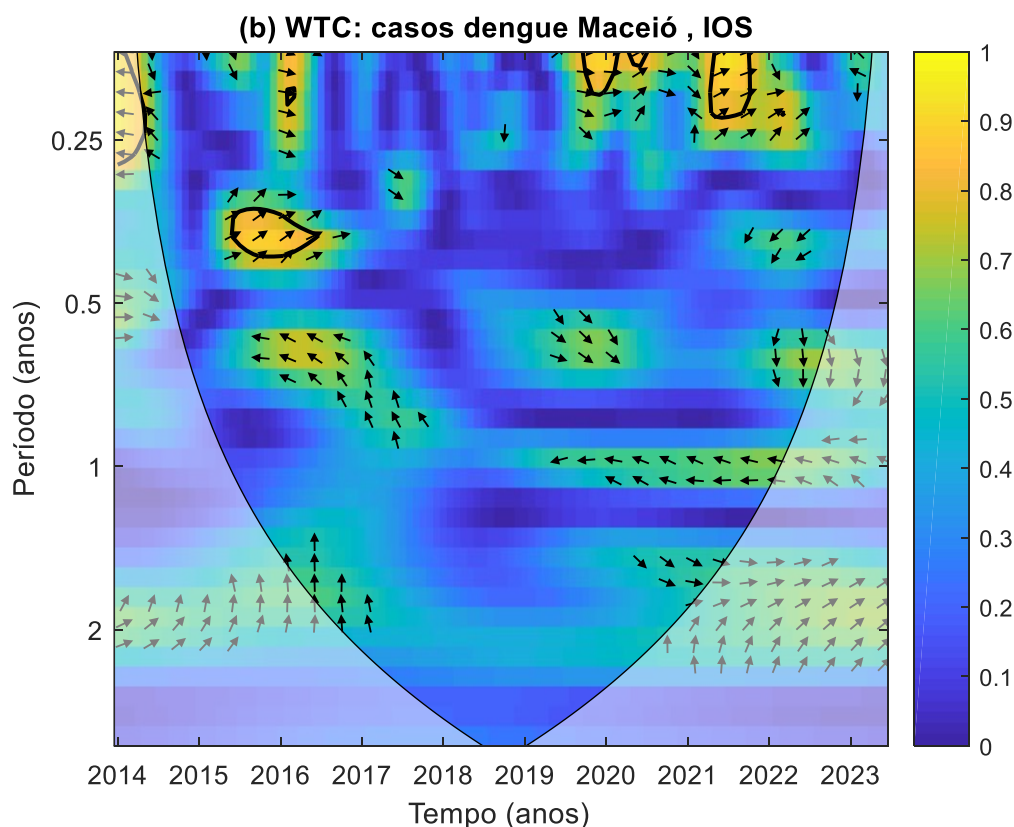
Já a forte coerência observada na escala de 0,4 anos no ano de 2016 (Figura 6), apresentou setas com ângulo positivo de 45°, indicando um *lag* de 0,05 anos após, que é o mesmo que 0,6 meses ou que 18 dias. Dessa forma, essa relação demonstra que o máximo de casos de Dengue em Maceió ocorre 18 dias após o máximo de IOS.

Por fim, a coerência vista na escala semestral entre 0,6 a 0,8 anos, observada em 2016, formou um ângulo positivo de 135° (Figura 6), o qual determina que o máximo de casos de Dengue em Maceió apresenta um *lag* de 0,3 anos após, ou 3,6 meses ou ainda, 108 dias após o máximo do IOS.

Resultados semelhantes aos *lags* encontrados nesta pesquisa foram observados para Colômbia (BOUMA et al., 1997) e Equador (STEWART-IBARRA e LOWE, 2013), e quando utilizou-se o Índice Multivariado de ENOS (IME), corroborando com Wolter e Timlin (2011).

Desta forma, além de comprovar a influência sazonal, semestral e interanual da precipitação sobre a ocorrência de casos de Dengue, sugere-se que acompanhando e monitorando o índice IOS, e utilizando a Ondaleta cruzada, já que se encontrou padrão bem definido dessa relação entre os casos e o índice IOS, pode-se estimar quando ocorrerá estatisticamente o máximo de casos de Dengue em Maceió e gerar previsões estatísticas.

Figura 6 - Ondaleta cruzada de coerência (WTC) entre Casos de Dengue em Maceió e índice IOS para o período de 2014- 2023. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

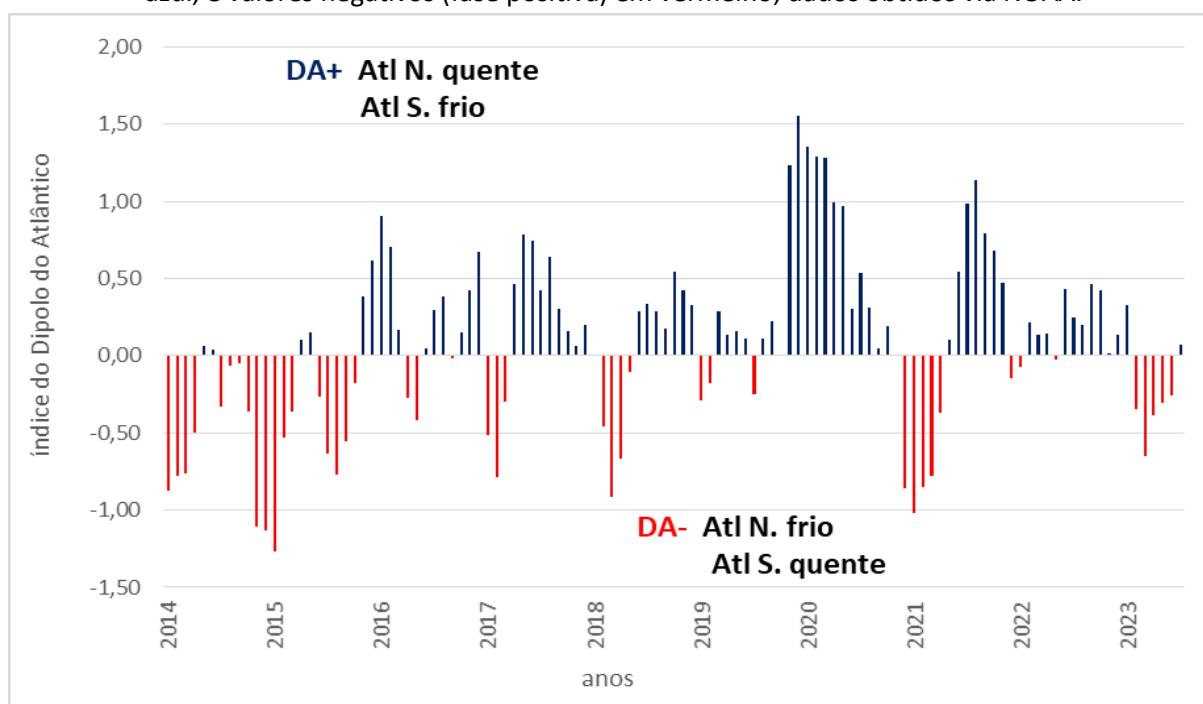
3.2. Relação com a variabilidade do Oceano Atlântico

Ao se observar a série do índice de Dipolo (Figura 7), o qual indica períodos das fases do Dipolo, sendo índice positivo (em azul) quando o Atlântico Norte está quente e Atlântico Sul está frio, ocasionando menos chuvas no Nordeste do Brasil (NEB) (MOURA & SHUKLA, 1981; SERVAIN, 1991). Já o índice negativo (em vermelho) quando o Atlântico Norte está frio e Atlântico Sul está quente, ocasionando mais chuvas no NEB (DIVINO MOURA, 1981; FUNCEME, 2024).

Percebe-se, através da Figura 3 e seus dados brutos, que alguns períodos de aumento de casos de Dengue em Maceió entre 2015 e 2016, 2019, 2021 e 2023, ocorreram após fases negativas do DA, com Atlântico Sul quente, possibilitando chuvas no NEB, como verificado entre 2015 e 2016, 2018, 2021 e 2023 (Figura 7).

De meados de 2015 a 2016, quando ocorreu fase negativa de Dipolo Atlântico (Figura 7), o número de casos de dengue em Maceió (Figura 3) apresentou aumentos de notificações. Em 2021, DA também negativo e significativo de -1,0 (Figura 7), houve aumento de casos de Dengue em 2021 a início de 2022 (Figura 3). Esses foram os maiores picos em números de casos na série estudada.

Figura 7 - Índice do Dipolo do Atlântico de 2014 a 2023, com valores positivos (fase positiva) em azul, e valores negativos (fase negativa) em vermelho; dados obtidos via NOAA.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

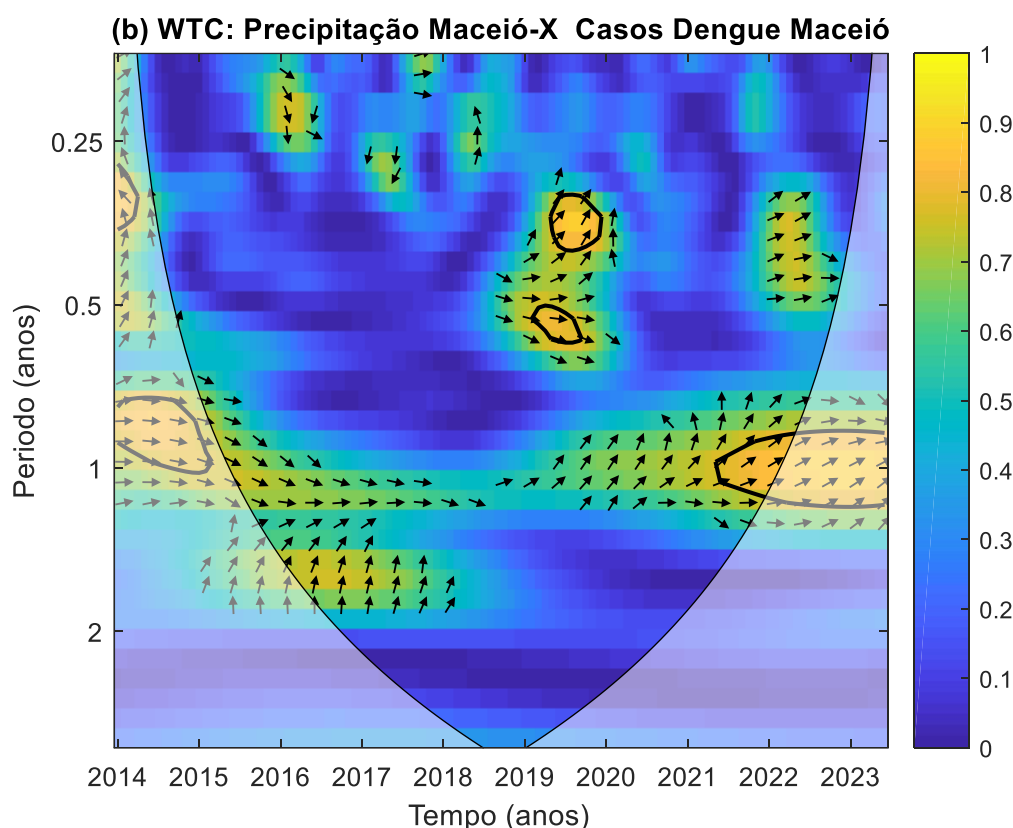
Essa relação entre precipitação e Casos de Dengue também foi observada por Bonfim e Januário (2018), com período de estudo 2008 a 2015, para as cidades de Salvador, Maceió e João Pessoa, corroborando com a relação estudada aqui no período de 2014 a 2023, e nesses estudos, também cita-se que após período de chuvas já esperadas, como estação chuvosa local, houve aumento de casos de dengue nessas cidades, concordando com resultados encontrados aqui. Outras pesquisas também mostram essa relação como em Dantas et al. (2007), Flexa et al. (2008), Ferreira et al (2018).

A Figura 8 traz a análise de ondaleta cruzada e coerência entre as séries de Precipitação em Maceió e Casos de Dengue em Maceió, para o período de 2014- 2023. Na escala temporal entre 0,6 anos e 1 ano (eixo Y), observa-se alta coerência (regiões em amarelo), com predominância de setas formando ângulo de 0º, como em 2014 a 2018, e de 2020 a 2023. O ângulo de 0º formado entre as séries (setas totalmente para direita) indica que o máximo das duas séries ocorrem simultaneamente, assim a influência de uma série sobre a outra é direta, no entanto na escala semestral (0,6 anos) e interanual (1,0 anos), relacionando a estação seca/chuvosa e a variabilidade interanual à ocorrência dos casos. Esse fato já se comprova todos os anos após a estação chuvosa do nordeste do Brasil com aumento de casos e após totalizar casos notificados em um ano mais chuvoso, conforme também sugerido por Codeço et al (2009), Viana e Ignotti (2013), Moraes et al (2019).

Já de 2019 a 2020, e em 2022 (Figura 8), foi observada forte coerência entre as séries na escala de 0,3 a 0,6 anos (eixo Y), indicando a relação entre as séries da escala sazonal a semestral. Essa coerência forma novamente ângulo de 0º, com setas totalmente para direita, indicando que o máximo das duas séries ocorrem simultaneamente, assim a influência de uma série sobre a outra é direta, corroborando com a influência sazonal também encontrada por Moraes et al (2019).

Esses períodos citados com alta coerência entre as séries (Figura 8) coincide com momentos/períodos com alta ocorrência de casos de Dengue em Maceió (Figura 3).

Figura 8 - Ondaleta cruzada de coerência (WTC) entre a Precipitação em Maceió e Casos de Dengue em Maceió para o período de 2014- 2023. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

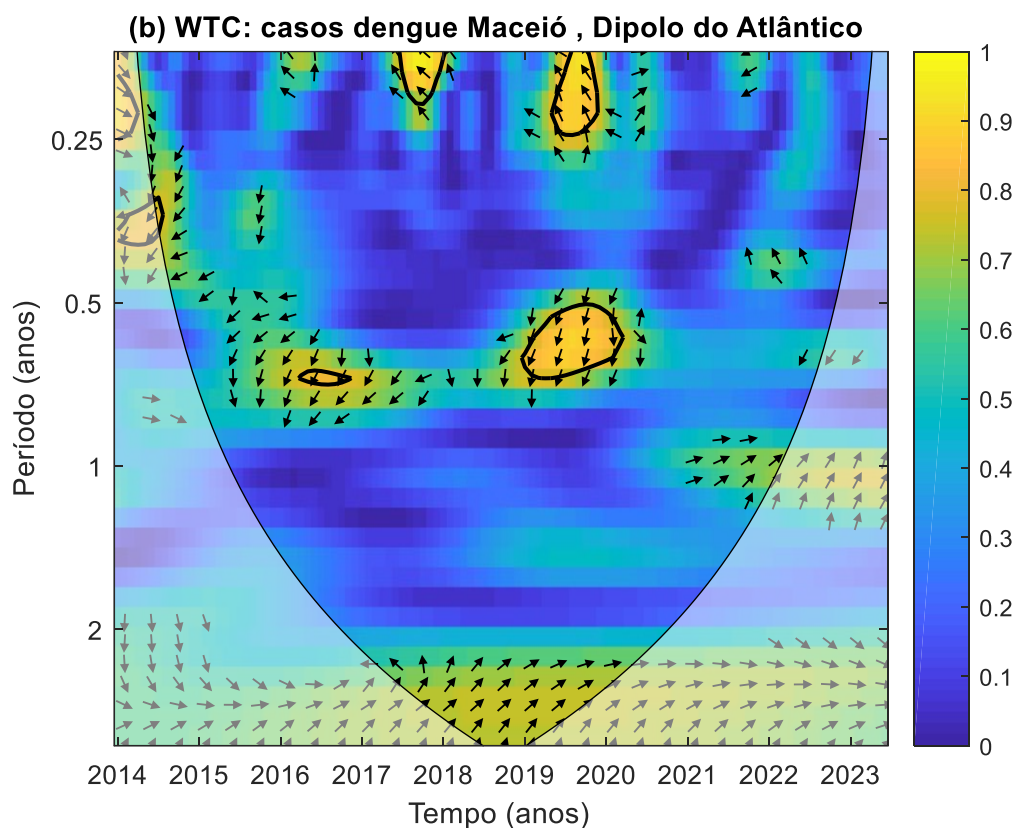
Algumas poucas coerências fortes entre casos de Dengue e índice do DA (em amarelo) podem ser visualizadas na Figura 9. Em 2016, na escala sazonal de 0,25 anos e 0,9 anos (eixo Y), o máximo de casos de Dengue ocorreu 20 dias e 120 dias, respectivamente, após o máximo de Dipolo já ocorrido em 2015.

Em 2018, também na escala sazonal, com ângulo positivo de 135 graus, a relação é de máximo de casos de Dengue 0,15 anos, ou 0,67 meses, que é o mesmo que 20 dias após o máximo de DA (Figura 9). O mesmo também ocorreu na escala sazonal de 0,25 anos (eixo Y) em 2020.

Por fim, também em 2020, na escala de 0,6 anos a 0,9 anos, com ângulo de 100 graus, mostra forte coerência do máximo do DA ocorrendo de 64 a 120 dias antes do máximo de casos de Dengue em Maceió (Figura 9). Esse tempo de atraso ou *lag* entre essas variáveis também foram sugeridas por Almeida (2016) para João Pessoa e por Fröhlich (2022) para o Rio Grande do Sul.

Essas informações são muito úteis para que órgãos gestores possam planejar suas ações de maneira antecipada com medidas preventivas e mitigadoras a partir do acompanhamento climático do Oceano Atlântico.

Figura 9 - Ondaleta cruzada de coerência (WTC) entre Casos de Dengue em Maceió e índice do DA para o período de 2014- 2023. Contornos contínuos englobam variâncias significativas ao nível de confiança de 95%; a curva em U é o cone de influência.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

4. CONCLUSÕES

A série do número de casos de Dengue em Maceió apresentou maiores registros em meados de 2014, de 2015, de 2016, de 2019, de 2021 e de 2022, quando ocorreu o máximo de casos na série, seguido por 2016.

Percebeu-se que períodos de aumento de casos de Dengue em Maceió também apresentaram simultaneamente registros de ocorrência de ENOS, tendo como exemplo o maior aumento no número de casos de dengue, de 2021 a 2022, quando ocorria um La Niña moderado e forte.

Ao analisar a Ondaleta cruzada de coerência entre a Precipitação em Maceió e Casos de Dengue em Maceió para o período de 2014- 2023, verificou-se que o máximo das duas séries ocorrem simultaneamente na escala semestral e interanual relacionando a estação seca/chuvosa e a variabilidade interanual à ocorrência dos casos.

Após análise da Ondaleta cruzada de coerência entre Casos de Dengue em Maceió e índice IOS para o período de 2014- 2023, descobriu-se que ao longo da faixa da escala sazonal de 0,25 anos, as séries estão em fase, com máximos ocorrendo simultaneamente. Na escala de 0,4 anos, em 2016, o máximo de casos de Dengue em Maceió ocorre 18 dias após o máximo de IOS, e na escala semestral de 0,6 a 0,8 anos, o máximo de casos de Dengue em Maceió apresenta um lag de 108 dias após o máximo do IOS.

Desta forma, além de comprovar a influência sazonal, semestral e interanual da precipitação sobre a ocorrência de casos de Dengue, sugere-se que acompanhando e monitorando o índice IOS, e utilizando a Ondaleta cruzada, pode-se estimar quando ocorrerá estatisticamente o máximo de casos de Dengue em Maceió.

Percebeu-se que alguns períodos de aumento de casos de Dengue em Maceió ocorreram registros da fase negativa do Dipolo do Atlântico, tendo como exemplo o maior aumento no número de casos de dengue em 2022, e em 2016, os quais seguiram os Dipolos negativos de 2015 a 2016 e de 2021.

Ao analisar a Ondaleta cruzada de coerência entre a Precipitação em Maceió e Casos de Dengue em Maceió para o período de 2014- 2023, verificou-se que o máximo das duas séries ocorrem simultaneamente na escala semestral e interanual relacionando a estação seca/chuvosa e a variabilidade interanual à ocorrência dos casos.

Após análise da Ondaleta cruzada de coerência entre Casos de Dengue em Maceió e índice DA para o período de 2014- 2023, descobriu-se que na escala sazonal de 0,25 anos, o máximo de casos de Dengue aconteceu 20 dias após o máximo de DA. Já na escala de 0,6 anos a 0,9 anos, há forte coerência do máximo de casos de Dengue em Maceió ocorrendo de 64 a 120 dias após o máximo de DA.

Essas informações são muito úteis para que órgãos gestores possam planejar suas ações de maneira antecipada com medidas preventivas e mitigadoras a partir do acompanhamento climático do Oceano Atlântico.

Desta forma, além de comprovar a influência sazonal, semestral e interanual da precipitação sobre a ocorrência de casos de Dengue, sugere-se que acompanhando e monitorando o índice DA, e utilizando a Ondaleta cruzada, pode-se estimar quando ocorrerá estatisticamente o máximo de casos de Dengue em Maceió.

REFERÊNCIAS

ABCMED, 2021. **Doenças sazonais**. Disponível em: <<https://www.abc.med.br/p/sinais.-sintomas-e-doencas/1407460/doencas-sazonais.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

ALMEIDA, C. A. P. **Análise geoespacial dos casos de dengue e sua relação com fatores socioambientais nos municípios de João pessoa, Cabedelo e Bayeux**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. A importância relativa do Atlântico tropical sul e Pacífico leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista brasileira de Meteorologia** 22 (1), Abr 2007 <https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000100007>

AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Ed. Difel. São Paulo. 1986.

BARCELLOS, K.; ABUD, A. K. S. Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes. **Scientia Plena**, v. 11, n. 3, 2015.

BLAIN, G. C.; KAYANO, M. T. 118 Anos de dados mensais do Índice Padronizado de precipitação série meteorológica de Campinas, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.1, p.137-148, 2011.

BONFIM, O. E. T.; JANUÁRIO, I. R. Correlação entre a precipitação e temperatura média do ar sobre o número de registros de casos de dengue para as cidades de Maceió, João Pessoa e Salvador. **Revista Brasileira de Geografia**, v.35, n.5, 2018.

BOUMA M.J.; POVEDA G.; ROJAS W.; CHAVASSE, D.; QUIÑONES, M.; COX, J. Predicting high-risk years for malaria in Colombia using parameters of El Niño Southern Oscillation. **Trop Med Int Health** 1997; 2:1122-7.

BRAGA, I.A.; VALLE, D. **Aedes aegypti: histórico do controle no Brasil**. Epidemiol Serv Saúde 2007; 16:113-8.

CEARÁ. **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME**. Secretaria de Ciência e Tecnologia. Acesso em 17/05/2024. Disponível em: <http://www.funceme.br/>

CODEÇO, C.T; HONÓRIO, N.A; RÍOS-VELÁSQUEZ, C.M.; SANTOS, M.C.A; MATTOS, I.V; LUZ, S.B. Seasonal dynamics of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in the northernmost state of Brazil: a likely port-of-entry for dengue virus 4. **Mem Inst Oswaldo Cruz**, 2009; 104:614-20.

DA SILVA, D. F. Aplicação de Análises de Ondas para Detecção de Ciclos e Extremos Pluviométricos no Leste do Nordeste do Brasil. **Revista brasileira de Meteorologia**, 32 (2) Apr-Jun 2017. <https://doi.org/10.1590/0102-77863220002>

DA SILVA, D. F.; SOUZA NETO, P. F.; ROCHA, L. H. S.; ALMEIDA, H. R. R. C.; SILVA, F. D. S.; GOMES, H. B.; LIMA, M. J. S.; CAVALCANTE, I. B. S. ESTUDO DAS OCORRÊNCIAS, SIMILARIDADES E CAUSAS DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM PORTUGAL. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 415-440, 2023.

DA SILVA, D. F.; KAYANO, M. T.; SOUZA NETO, P. F.; SILVA, F. D. S. Coerência entre variabilidade climática do oceano pacífico e eventos extremos climáticos em Santiago (Chile). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 31, p. 631-648, 2022

DANTAS, R. T.; LIMEIRA, R. C.; ALENCAR, H. E. Influência de variáveis meteorológicas sobre a incidência de dengue em João Pessoa – PB. **Revista Fafibe On-line**, Bebedouro, v.3, p. 1-6, 2007.

DataSUS BRASIL. **Ministério da Saúde**. DATASUS (Departamento de Informática do SUS). 2008. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>>. Acesso em: 14 março de 2024.

FERREIRA, A.F.; CHIARAVALLOTI, F.; MONDINI, A. Dengue em Araraquara, SP: Epidemiologia clima e infestação por Aedes Aegypti. **Revista de Saúde Pública**, v.52, p.1-10, 2018.

FLEXA, G. G.; CUNHA, F. A.; CUNHA, A.C. Relação da precipitação e casos de dengue notificados na baixada do Ambrósio, na área portuária de Santana / AP, no ano de 2006. **Revista de humanidades do curso de ciências sociais**, n 1, 2008.

FRÖHLICH, D. **A relação dos casos de dengue com as variações da temperatura e da precipitação em Porto Alegre, RS, Brasil**. 73 f. Curso de Licenciatura em Geografia. Tramandaí, RS, 2022.

G1 Alagoas. Casos de dengue crescem em Maceió. Disponível em: [HTTPS://G1.GLOBO.COM/AL/ALAGOAS/NOTICIA/2017/01/NOTIFICACOES-DE-CASOS-DE-DENGUE-CRECEM-EM-MACEIO-EM-2016.HTML](https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2017/01/notificacoes-de-casos-de-dengue-crescem-em-maceio-em-2016.html). Acesso em: 17/05/2024.

G1. Casos de dengue no Brasil. Disponível em: [HTTPS://G1.GLOBO.COM/SAUDE/NOTICIA/2023/01/13/BRASIL-REGISTRA-MAIS-DE-MIL-MORTES-POR-DENGUE-EM-2022-E-BATE-RECORDE-HISTORICO.GHTML](https://g1.globo.com/saude/noticia/2023/01/13/brasil-registra-mais-de-mil-mortes-por-dengue-em-2022-e-bate-recorde-historico.ghtml) . Acesso em: 17/05/2024

GERSHUNOV, A.; BARNETT, T.P. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 12, p. 2715-2725, 1998.

GRINSTED, A.; MOORE, J.C.; JEVREJEVA, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Nonlinear Processes in Geophysics**, 11, 561–566, 2004.

IBGE. 2020. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al/maceio.html>>. Acesso em: 05 de abril de 2024.

LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; BUSTUS, K. C.; ALMEIDA DOS SANTOS, D. Variação Sazonal e os Efeitos na Saúde Humana em Maringá, PR. **Perspectiva Geográfica**, [S. l.], v. 12, n. 16, p. 14–21, 2017. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica/article/view/17327>. Acesso em: 20 mar 2024.

MENDONÇA, F. **Clima e Criminalidade**. Ed. UFPR, Curitiba-Paraná. 2000.

MORAES, B. C.; SOUZA, E. B.; SODRÉ, G. R. C.; FERREIRA, D. B. S.; RIBEIRO, J. B. M. Sazonalidade nas notificações de dengue das capitais da Amazônia e os impactos do El Niño/La Niña. **Cadernos De Saúde Pública**, 35(9), e00123417. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00123417>, 2019.

MOURA, A.D; SHUKLA, J. Sobre a dinâmica das secas em Nordeste do Brasil: Observações, teoria e numérica experimentos com um modelo de circulação geral. **Diário de Ciências Atmosféricas**, Boston, v.38, p.2653-2675, 1981.

NOAA, 2024. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>. Acesso em 21/02/2024.

NOBRE F.; IRIS L.; DA SILVA, D. F. Similaridades de eventos extremos nas sub-bacias do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 607-633, 2023.

PERFIL MUNICIPAL. 2018. Disponível em: <<https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/c70c5d37-9cef-4bf7-b55f-456aded041eb/resource/d6deb2f8-2505-4f24-8d79-f74adcf8ed50/download/perfilmaceio2018.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2024.

POPULAÇÃO. 2020. **Maiores bairros de Maceió**. Disponível em <http://populacao.net.br/os-maiores-bairros-maceio_al.html>. Acesso em: 10 de abril de 2024.

ROCHA, L. H. S.; DA SILVA, D. F.; KAYANO, M. T.; BONFIM, O. E. T. **HOMOGENEIDADE, EVENTOS EXTREMOS E SUAS CAUSAS CLIMÁTICAS: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO**. **REVISTA BRASILEIRA DE METEOROLOGIA**, v. 37, p. 1-22, 2022.

SERVAIN, J. Simple Climatic Indices for the Tropical Atlantic Ocean and Some Applications. **Journal of Geophysical Research**, Vol. 96, N°C8, pp 15137-15146, 1991.

SILVA, P. R. F.; CALHEIROS, S. Q. C. O estado de Alagoas no contexto regional nordestino. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 41, 2019.

SILVA, R. A. **Padrões de variabilidade multiescalar na temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical e Norte e seus efeitos nas chuvas da América do Sul**. Tese de Doutorado (Clima e Ambiente) –INPA, Manaus, 2015.

SOUZA NETO, P.F.; DA SILVA, D. F.; ALMEIDA, H. R. R. C. Análise da Variabilidade Climática dos Oceanos Atlântico e Pacífico. **REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA**, v. 14, p. 1861-1879, 2021.

STEWART-IBARRA A. M; LOWE R. Climate and non-climate drivers of dengue epidemics in southern coastal Ecuador. **Am J Trop Med Hyg**, 2013; 88:971-81.

TANG, C.; CHEN, D.; CROSBY, B.T.; PIECHOTA, T. C.; WHEATON, J. M. Is the PDO or AMO the climate driver of soil moisture in the Salmon River Basin, Idaho? **Global and Planetary Change**, v. 120, p. 16-23, 2014.

TORRENCE, C.; WEBSTER, P. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system, **Journal of Climate**, v.12, p.2679 – 2690, 1999.

TROPPEMAIR, H. 1989. **Biogeografia e Meio Ambiente**. 3. ed. Rio Claro: Editora UNESP.

VALE, R. S.; SANTANA, R. A.; DIAS-JÚNIOR, C. Quaresma. Análise de Dados Climáticos Usando Transformada em Ondas Cruzada e Coerência. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.02, p. 641-647, 2020.

VIANA, D.V; IGNOTTI, E. A ocorrência da dengue e variações meteorológicas no Brasil: revisão sistemática. **Rev Bras Epidemiol**. 2013; 16:240- 56.

WOLTER, K.; TIMLIN, M.S. El Niño/southern oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). **Int J Climatol** 2011; 31:1074-87.

ZIEGLER, M.; SIMON, M.H.; HALL, I.R.; BARKER, S.; STRINGER, C.; ZAHN, R. Development of Middle Stone Age innovation linked to rapid climate change. **Nature Communications** 4, Article n° 1905, doi:10.1038/ncomms2897. 2012.