



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

JULIETE BARAÚNA DOS SANTOS

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E A
INCIDÊNCIA DE CASOS DE DENGUE EM MACEIÓ, ALAGOAS, BRASIL

MACEIÓ, ALAGOAS, BRASIL
OUTUBRO DE 2016

JULIETE BARAÚNA DOS SANTOS

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E A
INCIDÊNCIA DE CASOS DE DENGUE EM MACEIÓ, ALAGOAS, BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de
Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de
Alagoas – UFAL, como parte dos requisitos necessários
para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Processos de Superfície Terrestre

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim

Coorientador: Prof. Dr. Frede de Oliveira Carvalho

MACEIÓ, ALAGOAS, BRASIL

OUTUBRO DE 2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Bibliotecário: Marcelino de Carvalho

S237e Santos, Juliete Baraúna dos.
Estudo da correlação entre variáveis meteorológicas e a incidência de casos de dengue em Maceió, Alagoas, Brasil / Juliete Baraúna dos Santos. – 2016.
97 f. : il.

Orientador: Ricardo Ferreira Carlos de Amorim.
Coorientador: Frede de Oliveira Carvalho
Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas.
Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2016.

Bibliografia: f. 82-86.
Apêndices: f. 87-97.

1. Dengue – Maceió (AL). 2. Meteorologia. 3. Variações meteorológicas. 4. Séries temporais. I. Título.

CDU: 551.583



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-140.

***“ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E A
INCIDÊNCIA DE CASOS DE DENGUE EM MACEIÓ, ALAGOAS, BRASIL.”***

Juliete Baraúna dos Santos

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim
(Orientador)

Prof. Dr. Frede de Oliveira Carvalho
(Coorientador)

Pro. Dr. Heliofábio Barros Gomes
(Membro Interno)

Prof. Dr. José Garcia Vivas Miranda
(Membro externo/UFBA)

outubro/2016

Rendo graças ao *Senhor* por suas maravilhas em meu viver, pois a cada amanhecer Ele me permite regozijar-me e alegrar-me em sua infinita misericórdia.

Dedico este trabalho ao *Senhor Deus* pela graça do viver, e ao *Santo Espírito* por sua presença constante, me fortalecendo para cumprir mais uma etapa acadêmica e profissional da minha vida e chegar a este momento.

Dedico esta realização aos meus avós *Antônio Paulino* (in memoriam) e *Maria José* (in memoriam) por todo amor e toda a constante presença e dedicação para comigo; com seus valores de moralidade e ética e, simplicidade de viver.

Dedico à minha mãe *Vera Lúcia* por seu amor e compreensão, perseverando comigo com seu jeito sereno, me incentivando nos momentos de desânimo. Graças a ela estou conquistando mais um bom momento em minha vida. Como também, sou grata ao meu tio *José Marinho* por todo o amor, todas as boas energias e por sempre acreditar em mim.

Também dedico aos meus professores e orientadores, Dr. *Ricardo Ferreira Carlos de Amorim* e Dr. *Frede de Oliveira Carvalho*, os quais me proporcionaram um aprendizado louvável com seus modos alegres e carismáticos de ser, me acolhendo, me compreendendo e direcionando como acadêmica e profissional. Agradeço pelas orientações prestadas e tempo disponibilizado, pela confiança depositada e amizade concedida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares por acreditarem sempre em mim, pelo apoio e me fazer acreditar que tudo seria possível.

À *Marcio Barboza* e *Aline Ramos* por todo o auxílio e incentivo dado em meu viver, acreditando sempre no meu crescimento pessoal e profissional.

À *Cristiane Monteiro*, *Carmelita Ferreira* e *Hugo Cainã*, por toda a ajuda, compreensão, companheirismo, dedicação, carinho e amizade, sempre muito importantes em meu viver.

Agradeço aos meus amigos de caminhada *Izabella Araújo*, *Carla Thays*, *Stefanie Araruna*, *Max Vianna*, *Rafael Correia*, *Artur César*, *K. Heiner* pelos inúmeros momentos de alegrias e pela amizade constante. Especialmente, agradeço à *Jorge Ferreira* e minha amiga *Monique cordeiro* pelas muitas conversas e desabafos no fim do dia, pelos conselhos, pelas orações e boas energias.

Aos meus colegas do Instituto de Ciências Atmosféricas, *Ismael Guidson*, *Jeová Junior*, *Thays Paes*, *Sâmara Santos* e *Elisson Silva*, pelas inúmeras risadas e momentos alegres de almoço no restaurante universitário. Agradeço especialmente aos meus companheiros de curso de mestrado e amigos *Leandro Macedo*, *Dimas Santiago* e *Alaerte Germano*, pela amizade concedida, confiança depositada, paciência e auxílio dado.

Aos meus colegas do Laboratório LABSIA, *Samuel*, *Jonildo* e *Weslley* pelas conversas, risadas e por todo o aprendizado concedido e ajuda dada com muita paciência e serenidade.

Agradeço aos professores Dr. *Heliofábio Gomes* e Dr. *José Garcia Vivas*, que gentilmente aceitaram fazer parte da banca examinadora. Como também sou grata aos secretários *Rafael Araújo* e *José Cley*, e aos professores do ICAT pela contribuição na minha formação acadêmica, pela ajuda na realização das atividades, pelo incentivo dado.

Por fim, agradeço aos meus amigos e amigas que por diversas vezes deixei de ver e viver momentos juntos por conta de tarefas e afazeres deste curso, o meu imenso carinho e agradecimentos são para todos vocês também.

“Não haverá gratidão suficiente para com aqueles que me estenderam a mão sabendo que nada eu tinha a retribuir. ” (G.A. Ferreira)

“Até aqui me ajudou o Senhor.”

(1 Samuel 7. 12)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Registro de evidências comprovadas como casos de dengue no mundo.....	19
Figura 2 - Casos de dengue em todo território brasileiro no período de 1990 aos primeiros meses de 2016.....	20
Figura 3 - Esquematização do período de <i>incubação extrínseca</i> do <i>Aedes aegypti</i>	21
Figura 4 - Esquematização da transmissão do vírus da dengue pelo <i>Aedes aegypti</i>	22
Figura 5 - Localização do município de Maceió (ponto vermelho)	27
Figura 6 - Esquematização das etapas de tratamentos das séries temporais.....	32
Figura 7 - Processo de decomposição de uma série através de uma análise de Fourier.....	34
Figura 8 - Detecção de componentes de baixa e alta frequência.....	35
Figura 9 - Relação do ângulo de fase entre duas séries temporais (série 1 x série 2)	40
Figura 10 - Probabilidade normal e histograma da distribuição dos dados de cada série temporal.....	43
Figura 11 - Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue em Maceió, no período de 1998 a 2015.....	45
Figura 12 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da precipitação (mm) em Maceió, no período de 1998 a 2015. (B) Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a precipitação mensal.....	48
Figura 13 - Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a precipitação mensal.....	49
Figura 14 - Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a precipitação mensal.....	51
Figura 15 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da nebulosidade em Maceió, no período de 1998 a 2015. (B) Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a nebulosidade mensal.....	54
Figura 16 - Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a nebulosidade mensal.....	55

Figura 17 - Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a nebulosidade mensal.....	56
Figura 18 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da umidade relativa do ar. (B) Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a umidade relativa mensal.....	58
Figura 19 - Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a umidade relativa mensal.....	59
Figura 20 - Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a umidade relativa mensal.....	60
Figura 21 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da temperatura máxima do ar. (B) Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a temperatura máxima mensal do ar.....	61
Figura 22 - (A) Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura máxima mensal do ar. (B) Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura máxima mensal do ar.....	63
Figura 23 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da temperatura média do ar. (B) Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a temperatura média mensal do ar.....	64
Figura 24 - (A) Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura média mensal do ar. (B) Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura média mensal do ar.....	65
Figura 25 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da temperatura mínima do ar. (B) Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a temperatura mínima mensal do ar.....	67
Figura 26 - (A) Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura mínima mensal do ar. (B) Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura mínima mensal do ar.....	68

Figura 27 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da insolação. (B) Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a insolação.....	70
Figura 28 - Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a insolação.....	71
Figura 29 - Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a insolação.....	72
Figura 30 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da velocidade máxima do vento. (B) Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a velocidade máxima do vento.....	73
Figura 31 - (A) Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a velocidade máxima do vento. (B) Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a velocidade máxima do vento.....	74
Figura 32 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da velocidade média do vento. (B) Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a velocidade média do vento.....	76
Figura 33 - (A) Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a velocidade média do vento. (B) Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a velocidade média do vento.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Publicações recentes de estudos similares utilizando análise wavelet.....	25
Tabela 2 - Abordagem do atraso temporal, através do espectro de potência correlacionada, entre a série de incidência de casos de dengue e as séries das variáveis meteorológicas.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CID	Classificação Estatística Internacional de Doenças
COI	Cone de Influência
CWT	Transformada Wavelet Contínua
DATASUS	Departamento de Informática do SUS
FHD	Dengue Febre Hemorrágica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
OMS	Organização Mundial da Saúde
SIH/SUS	Sistema de Informações Hospitalares do SUS
SUS	Sistema Único de Saúde
TJF	Transformada Janelada de Fourier
TW	Transformada Wavelet
WTC	Transformada Coerência Wavelet
XWT	Transformada Wavelet Cruzada

RESUMO

O presente trabalho teve o objetivo de identificar a correlação entre as séries temporais de incidência de casos de dengue e de variáveis meteorológicas na cidade de Maceió, Alagoas, através da investigação das variações da periodicidade em toda a série temporal dos casos de incidência da dengue e das séries temporais das variáveis temporais e, da detecção dos períodos de atraso de tempo correspondentes das variáveis meteorológicas que se correlacionam com a incidência de casos da dengue. Para a análise e compreensão destes aspectos foram utilizados dados mensais reais das variáveis meteorológicas precipitação, nebulosidade, umidade relativa do ar, temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima do ar, insolação, velocidade máxima e média do vento, selecionados entre o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2015 da Estação Automática Climatológica de Maceió, provenientes do BDMEP do INMET. Para o mesmo período de estudo, também foram obtidos dados sobre o número de casos notificados de dengue no município, disponibilizados gratuitamente através de banco de dados TABNET/DATASUS. Para identificar a periodicidade dominante nos sinais das séries temporais do estudo, foi utilizada a análise wavelet contínua. Para investigar a relação entre as séries temporais, foi utilizado o critério da wavelet cruzada, da coerência wavelet e do ângulo de fase. Foi constatado que todas as variáveis apresentaram picos dominantes individuais com escala de aproximadamente 10 a 14 meses. Entretanto, as variáveis nebulosidade e insolação apresentaram também energia concentrada em escala menor que 6 meses. Todos os espectros de potência cruzada mostraram também periodicidade dominante com escala aproximadamente anual, ou seja, tanto a série de incidência de dengue quanto as séries das variáveis meteorológicas tiveram mesma alta energia. Vale observar que as variáveis precipitação, nebulosidade e a temperatura média do ar apresentaram também periodicidade em escala de 5 a 7 meses. Quando analisada a escala de aproximadamente 12 meses nos espectros de potência correlacionada, a variável nebulosidade, velocidade máxima do vento, velocidade média do vento e insolação não mostraram influência positiva na mudança de incidência de dengue, ou seja, não aumentaram o número de casos da doença. No geral, quando analisada a escala aproximadamente anual, o aumento da incidência de casos de dengue em Maceió apresentou um atraso temporal de 3 semanas quando correlacionada à precipitação, atraso temporal de 6 a 11 semanas com relação à umidade relativa do ar, 15 semanas quando correlacionada à temperatura máxima do ar, 12 a 15 semanas com relação à temperatura média do ar, e um atraso temporal de 9 a 14 semanas quando correlacionada à temperatura mínima do ar. Desse modo, o aumento da ocorrência de casos de dengue está estritamente associado com a duração da periodicidade dominante da precipitação e da temperatura máxima do ar, sendo colocadas como indicadores de casos de dengue nessa escala. Entretanto, é importante ressaltar que para escalas menores que 6 meses, as variáveis meteorológicas nebulosidade e insolação são apontadas como indicadores que apresentaram bons resultados, com a incidência de casos de dengue apresentando um atraso temporal de aproximadamente 5 semanas em relação à estas duas variáveis meteorológicas.

Palavras-chave: Dengue. Variáveis meteorológicas. Séries temporais. Transformada wavelet.

ABSTRACT

The present work had the objective of identifying the correlation between the temporal series of incidence of dengue cases and meteorological variables in the city of Maceió, Alagoas, through the investigation of periodicity variations in the whole time series of cases of dengue incidence and Of the temporal series of the time variables and of the detection of the corresponding time delay periods of the meteorological variables that correlate with the incidence of dengue cases. For the analysis and understanding of these aspects, real monthly data were used for the meteorological variables precipitation, cloudiness, relative air humidity, maximum temperature, average temperature, minimum air temperature, insolation, maximum speed and average wind, selected between January From December 1998 to December 2015 at Maceió Climatological Automatic Station, from INMET's BDMEP. For the same study period, data were also obtained on the number of notified cases of dengue in the municipality, available free of charge through the TABNET / DATASUS database. To identify the dominant periodicity in the signals of the time series of the study, continuous wavelet analysis was used. In order to investigate the relation between the time series, the criterion of crossed wavelet, wavelet coherence and phase angle was used. It was found that all variables presented individual dominant peaks with a scale of approximately 10 to 14 months. However, the cloudiness and insolation variables also showed concentrated energy in a scale less than 6 months. All cross-power spectra also showed dominant periodicity with approximately annual scale, that is, both the series of dengue incidence and the series of meteorological variables had the same high energy. It is worth noting that the variables precipitation, cloudiness and average air temperature also presented periodicity on a scale of 5 to 7 months. When the approximately 12-month scale was analyzed in correlated power spectra, the cloudiness variable, maximum wind speed, mean wind velocity and sunshine did not show a positive influence on the change in dengue incidence, that is, they did not increase the number of disease. Overall, when analyzed at approximately annual scale, the increase in the incidence of dengue cases in Maceió presented a temporal delay of 3 weeks when correlated to precipitation, temporal delay of 6 to 11 weeks relative to relative humidity, 15 weeks when Correlated to the maximum air temperature, 12 to 15 weeks in relation to the average air temperature, and a time delay of 9 to 14 weeks when correlated to the minimum air temperature. Thus, the increase in the occurrence of dengue cases is strictly associated with the duration of the dominant periodicity of precipitation and the maximum temperature of the air, being placed as indicators of dengue cases in this scale. However, it is important to note that for scales less than 6 months, the meteorological variables cloudiness and sunshine are indicated as indicators that presented good results, with the incidence of dengue cases presenting a temporal delay of approximately 5 weeks in relation to these two meteorological variables.

Keywords: Dengue. Meteorological variables. Time series. Wavelet transform.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	17
2.1 Geral.....	17
2.2 Específicos	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Morbidades Hospitalares.....	18
3.2 Dengue	18
3.2.1 Padrão de Transmissão.....	20
3.2.2 Influência das Variáveis Meteorológicas	23
3.3 Análise de Séries Temporais	25
4.1 Caracterização da Área de Estudo.....	27
4.2 Obtenção dos Dados.....	28
4.3 Variáveis Meteorológicas.....	29
4.4 Tratamento das Séries Temporais	30
4.4.1 Preenchimento de Falhas.....	33
4.4.2 Transformada Wavelet	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Pré-Tratamento de Dados.....	42
5.2 Incidência de Casos de Dengue.....	44
5.3 Dengue e Precipitação.....	46
5.4 Dengue e Nebulosidade.....	52
5.5 Dengue e Umidade Relativa do Ar.....	57
5.6 Dengue e Temperatura do Ar	60
5.7 Dengue e Insolação	69
5.8 Dengue e Velocidade do Vento.....	72
6. CONCLUSÕES.....	80
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICES.....	87

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes urbanos locais têm sido inadvertidamente influenciados por atividades humanas, que contribuem para a produção de um espaço urbano caótico. Assim, o homem contribui para a degradação ambiental, a alteração das condições climáticas locais e o possível aumento das doenças que encontram nos locais urbanos, condições favoráveis para a sua propagação (SILVA *et al.*, 2008). Essas alterações climáticas locais podem ter impacto na saúde humana, aumentando a incidência de doenças infecciosas, especialmente as doenças transmitidas por vetores como a dengue, que são mais frequentemente observadas em países tropicais e consideradas um dos principais problemas de saúde pública no mundo.

Panhuis *et al.* (2015) afirmam que as pessoas que vivem em regiões tropicais e subtropicais estão em risco de dengue e febre hemorrágica da dengue, e também de grandes epidemias que ocorrem de forma inesperada e sobrecarregam os sistemas de saúde. De acordo com DO *et al.* (2014), a dengue foi recentemente reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como sendo a doença tropical com mais rápida disseminação em todos os continentes. BANU (2015) ressalta que a dinâmica espacial e temporal de transmissão da dengue é mal compreendida, uma vez que a mesma é movida por interações complexas entre hospedeiros, vetores e vírus, que são influenciados por fatores ambientais e climáticos. Assim, todas as áreas com altas temperaturas do ar, chuvas abundantes e umidade do ar significativa apresentam condições climáticas favoráveis à proliferação de vetores de doenças como a dengue.

Fatores socioambientais também determinam a adaptação do vetor ao ambiente, como o crescimento populacional, a expansão urbana descontrolada, o déficit no abastecimento de água e a recolha de resíduos, o que facilita a proliferação dos mosquitos. Por envolver diversos fatores, Silva *et al.* (2008) sustenta o entendimento de que a dengue continuará a representar um grande problema de saúde pública por muitos anos.

Dessa maneira, uma compreensão melhor da relação entre a incidência de casos de dengue e as variáveis meteorológicas, ou seja, de como essas variáveis podem influenciara proliferação dos vetores e a transmissão da doença, pode auxiliar os órgãos de gestão pública no desenvolvimento de estratégias eficazes para detectar e responder a eventos de dengue emergentes.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

IDENTIFICAR a existência de correlação entre as séries temporais de incidência de casos de dengue e das variáveis meteorológicas na cidade de Maceió, Alagoas.

2.2 Específicos

INVESTIGAR as variações dos picos dominantes em toda a série temporal da incidência de casos de dengue;

DETERMINAR os picos de variabilidade dominantes das séries temporais das variáveis temporais e como variam no tempo;

DETECTAR os períodos de atraso de tempo correspondentes das variáveis meteorológicas que se correlacionam com a incidência de casos da dengue;

RELACIONAR os resultados desta pesquisa com os resultados de estudos semelhantes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Morbidades Hospitalares

Rouquayrol e Filho (1999) afirmam que uma doença se define como um desajustamento ou uma falha nos mecanismos de adaptação do organismo ou uma ausência de reação aos estímulos, cuja ação está exposta. Esse desajustamento conduz a uma perturbação na estrutura ou na função de um órgão, de um sistema ou de todo o organismo.

Em uma área onde uma doença é presente, flutuações em sua incidência, que é a frequência com que uma doença ocorre em um período de tempo definido e com relação à população, podem ser consideradas epidemia somente se o número de casos excederem certa faixa pré-determinada (SNACKEN *et al.*, 1992). Essa taxa de portadores de determinada doença em relação à população total estudada em um determinado local e em um determinado momento é chamada de morbidade, na área de epidemiologia.

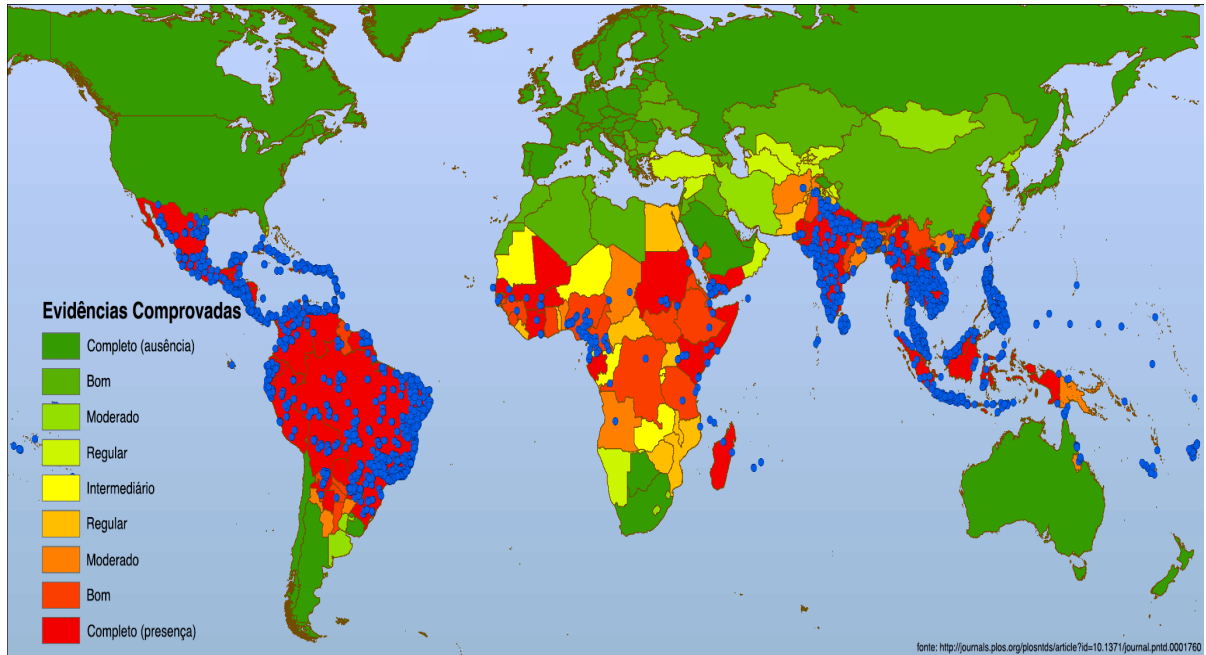
Fry (1977) ressalta que a quantidade das doenças ou o cálculo das taxas e coeficientes de morbidade são tarefas essenciais para controle das doenças. Assim, para padronizar e catalogar as taxas e coeficientes das morbidades, óbitos ou problemas relacionados à saúde foi conceituada uma classificação estatística internacional de doenças (CID), que teve como referência a Nomenclatura Internacional de Doenças, estabelecida pela Organização Mundial de Saúde (OMS). No Brasil, a organização desses arquivos é responsabilidade do DATASUS, que implementa a disseminação eletrônica dos registros hospitalares e ambulatoriais de todo o território nacional. No DATASUS, a dengue se encontra inserida na lista de morbidade do CID-10.

3.2 Dengue

A dengue é um problema de saúde pública mundial, sendo considerada, atualmente, como a arbovirose (doença causada por vírus, transmitidos por insetos e aracnídeos) mais importante que afeta os seres humanos, apresentando significativo aumento da distribuição global e da incidência nas últimas duas décadas. Huang *et al.* (2013) declaram que de maneira particular, a frequência e a intensidade dos surtos de dengue têm vindo a aumentar na maioria das regiões tropicais e subtropicais, onde as condições do meio ambiente favorecem o

desenvolvimento e a proliferação do *Aedes aegypti*, o principal vetor. Assim, a doença se apresenta endêmica em mais de 100 países tropicais e subtropicais da África, das Américas, e nas regiões da Ásia-Pacífico, como mostrado na Figura 1.

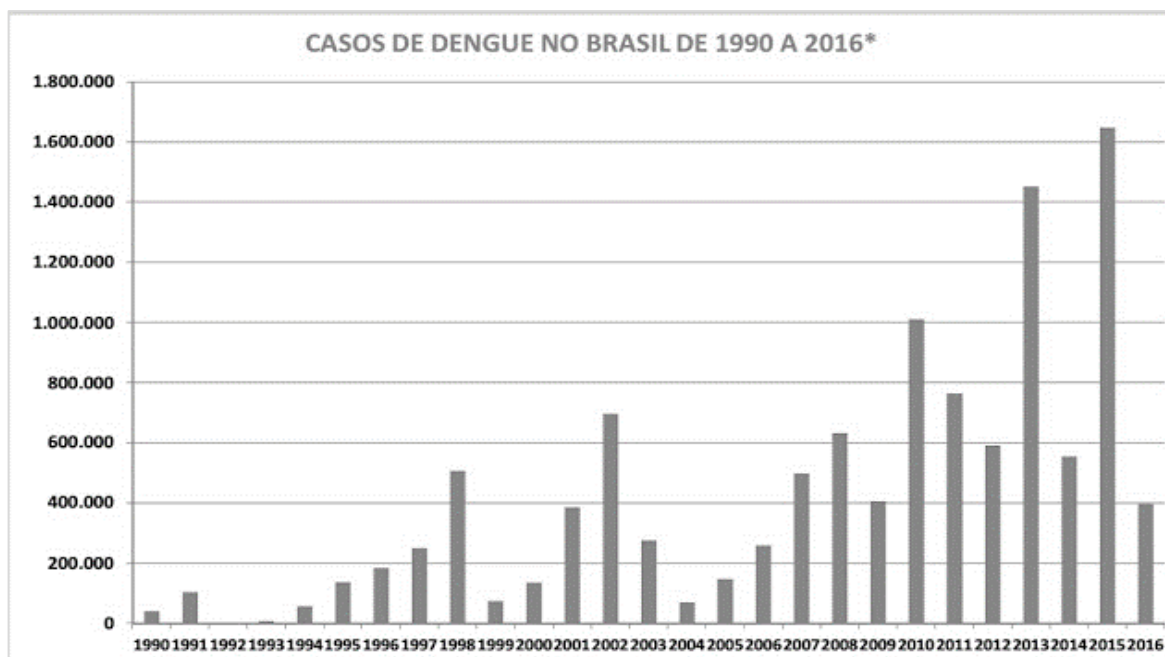
Figura 1 - Registro de evidências comprovadas como casos de dengue no mundo.



Fonte: OMS. Disponível em: <http://www.combatedengue.com>.

Somente no Brasil, atualmente, são mais de 1.600.000 casos de dengue notificados, como registrado na Figura 2. De acordo com Kavinga *et al.* (2013), a incidência da doença aumentou 30 vezes mais nos últimos 50 anos em todo o mundo e até 50-100 milhões de infecções são estimadas para ocorrerem anualmente em mais de 100 países endêmicos, colocando quase metade da população do mundo em risco e fazendo com que seja classificada como a doença transmitida por vetores mais prevalente nas Américas e a segunda mais prevalente no mundo, depois da malária (PANHUIS *et al.*, 2015).

Figura 2 - Casos de dengue em todo território brasileiro no período de 1990 aos primeiros meses de 2016.



Fonte: Portal da Saúde. Disponível em <http://portalsaude.saude.gov.br>.

Por ser uma infecção viral causada por flavivírus, é classificada como uma zoonose, ou seja, o vírus é mantido na natureza em espécies animais onde os humanos são hospedeiros acidentais. Os vírus (DENV - 1, DENV - 2, DENV - 3 e DEN - 4) que causam a doença são transmitidos através dos vetores de mosquito *Aedes aegypti* (vetor primário) e *Aedes albopictus* (vetor secundário). A excelente adaptação dos vírus ao vetor *Aedes aegypti* proporcionou sua permanência em áreas urbanas através do ciclo de transmissão vetor-humano-vetor, transformando o homem em hospedeiro definitivo e também em reservatório do vírus (MACKENZIE *et al.*, 2004).

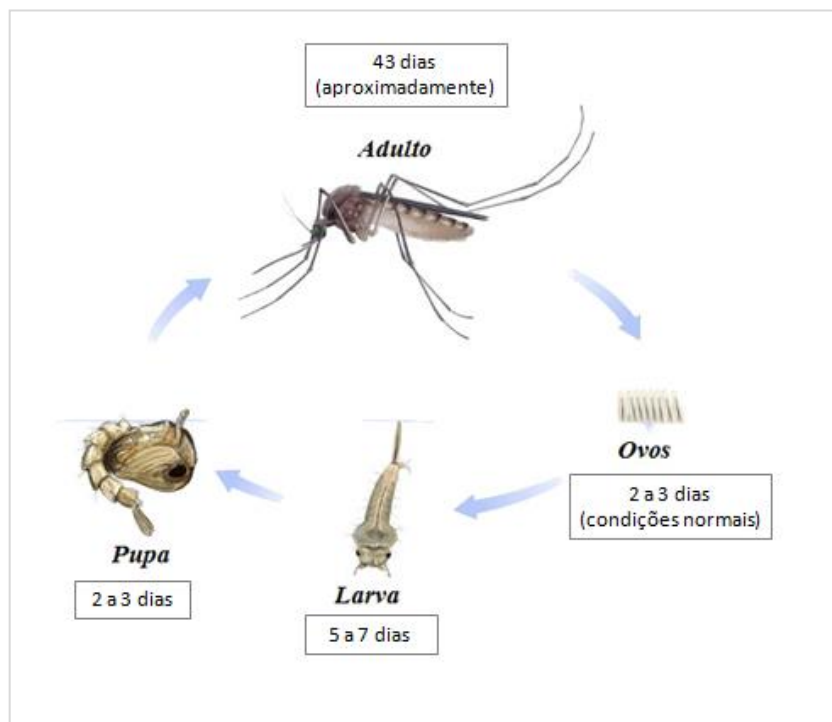
3.2.1 Padrão de Transmissão

Com a permanência dos vetores em áreas urbanas, recipientes naturais ou artificiais com água limpa (pneus, latas, tanques, barris, recipientes de água, plantas aquáticas em vasos) servem como depositórios dos ovos, que são colocados em um curto raio (100 a 300 m) de sítio de oviposição. Por denotar um habitat doméstico e peri-doméstico, Silva *et al.* (2008) ressaltam

que as formas imaturas do mosquito são favorecidas, e a espécie continua a apresentar uma condição ecológica que a torna predominantemente urbana.

Após a deposição dos ovos, em seu ciclo de vida são necessárias aproximadamente duas semanas para o *Aedes aegypti* se desenvolver para sua forma adulta, como apresentado na Figura 3. Logo após emergirem das pupas os mosquitos *Aedes* não apresentam o vírus causador da doença, somente depois que um mosquito *Aede* fêmea suga o sangue de um paciente com o vírus da dengue é que ocorre a contaminação, levando um período de 8 a 12 semanas para o vírus se multiplicar e atingir as glândulas salivares dos mosquitos e permitir infectar um humano. Este período de tempo é chamado o período de *incubação extrínseco*.

Figura 3 - Esquematização do período de *incubação extrínseco* do *Aedes aegypti*.

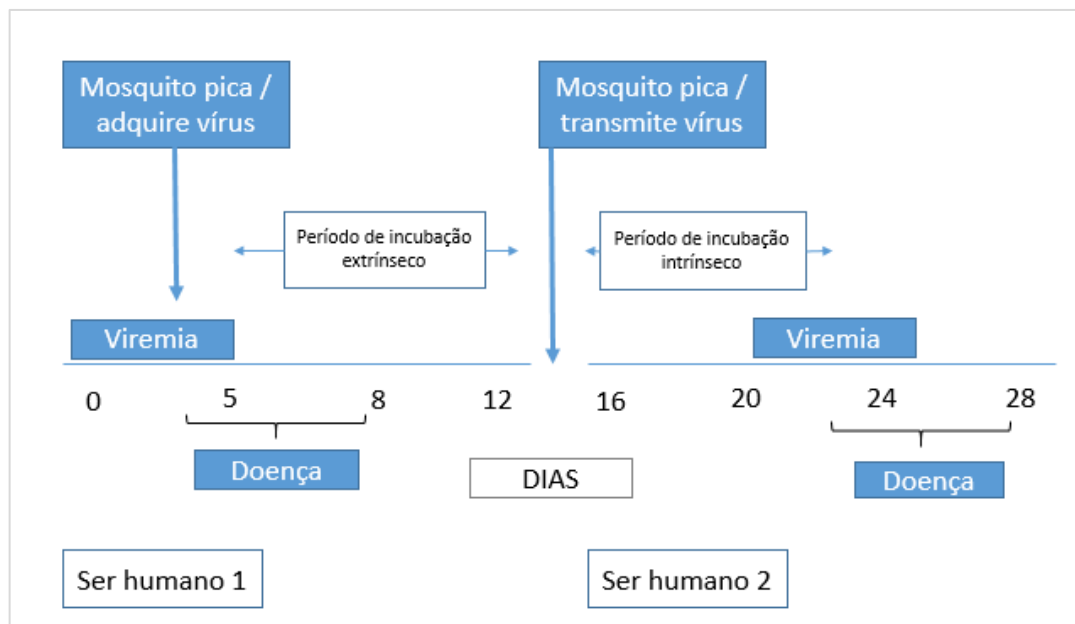


Fonte: Adaptado de Brasil Escola. Disponível em <http://brasilecola.uol.com.br/animais/ciclo-vida-aedes-aegypti.htm>.

Silva *et al.* (2008) destacam ainda que o padrão de transmissão só ocorre através da picada de mosquitos fêmeas, que após a alimentação com sangue contaminado transmite o vírus para um próximo hospedeiro suscetível. Depois que uma pessoa saudável recebe o vírus a partir de um mosquito contaminado leva-se mais 3 a 14 dias para que os sintomas apareçam no organismo da pessoa que foi contaminada. Esse período descrito é chamado de período de

incubação intrínseco, como mostra a Figura 4. Assim, quando o mosquito alimenta-se de um homem saudável o ciclo está fechado, ou seja, o homem - *Aedes aegypti* - homem.

Figura 4 - Esquematização da transmissão do vírus da dengue pelo *Aedes aegypti*.



Fonte: Adaptado de Slide Player. Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/296519/>

Em uma área conhecida por ocorrer a transmissão de dengue ou ter a presença de *Aedes aegypti*, os casos de dengue são definidos como: **(1)** Caso suspeito de dengue clássica, onde o paciente pode apresentar sintomas como doença febril aguda, com duração máxima de 7 dias, acompanhada de pelo menos dois dos seguintes sintomas: cefaleia, dor retroorbital, mialgia, artralgia, prostração; **(2)** Caso suspeito de dengue febre hemorrágica (FHD); **(3)** Todo caso suspeito de dengue clássico que apresente também manifestações hemorrágicas, acrescidas de sinais e sintomas de choque cardiovascular, o que leva à suspeita de síndrome de choque (CHOWELL *et al.*, 2011).

Mesmo que a recuperação da dengue confira imunidade para toda a vida contra o serotipo infectado, interações imunológicas entre os diferentes serotipos não são completamente compreendidas. Na ausência de uma vacina totalmente eficaz para prevenir a dengue, o vetor é o único ponto da cadeia de transmissão que se apresenta susceptível às ações de controle, visando combater seus criadouros. Do *et al.* (2014) afirmam que o foco de combate, portanto, é a minimização da densidade vetorial e a vigilância, quando se pretende evitar epidemias e mortes. Essas estratégias de ações de controle requerem um grande contingente de

recursos, que podem ser empregados com maior eficiência se os padrões da doença ao nível local forem bem mais compreendidos.

Por ser influenciada pela interação entre diversos fatores como a rápida urbanização e o aumento da densidade populacional urbana, a falta de capacidade dos sistemas de saúde, a ineficácia dos sistemas de controle de vetores predominantes e comportamento social da população, Huang *et al.* (2013) ainda sustentam a ideia de que não existem estratégias eficazes para diminuir a densidade vetorial e limitar a propagação de mosquitos *Aedes*.

Entretanto, mesmo sendo uma tarefa complexa e desafiadora e sabendo que a prevenção e o controle da dengue dependem da interrupção da transmissão através de uma gestão do vetor, da modificação ambiental e modificação do comportamento humano para minimizar a exposição, um estudo adequado sobre a relação entre variáveis meteorológicas e os casos de dengue pode auxiliar nas medidas de controle dos criadouros e da densidade vetorial, ações que devem ser permanentes durante todo o ano como preparação para o período de maior circulação de doença.

3.2.2 Influência das Variáveis Meteorológicas

Uma vez que a transmissão do vírus da dengue pode ser influenciada por vários fatores ambientais e climáticos, pela interação entre patógeno e hospedeiro e pela população imunológica, Ehelepola *et al.* (2015) afirmam que é o microclima da localidade que interessa para o ciclo de vida do mosquito e, conseqüentemente, para parte do ciclo de vida do vírus que ocorre no interior do corpo do mosquito, concluindo que a doença se mostra vulnerável às condições climáticas. Dentre os estudos recentes, na literatura, que avaliaram a incidência de casos de dengue em busca de associação com as variáveis meteorológicas, as mais estudadas foram a temperatura do ar, precipitação, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

A temperatura do ar tem impacto no tamanho da população, no período de maturação (*período extrínseco*), na atividade hematofágica da fêmea *Aedes Aegypti* e na taxa de sobrevivência do vetor. Com o aumento da temperatura, os mosquitos *Aedes Aegypti* exibem períodos mais curtos de desenvolvimento em todas as fases do ciclo de vida, o que diminui o ciclo evolutivo, que dura em média de 9 a 12 dias, para até 8 dias nos meses quentes ou prolonga para até cerca de 22 dias nos meses frios (CONSOLI e OLIVEIRA, 1994).

Com um período mais curto de desenvolvimento, aumenta o crescimento da população e a taxa de alimentação do mosquito, o que amplia significativamente a magnitude das epidemias. Johansson *et al.* (2007) afirmam que com o aumento da temperatura (dentro de um intervalo que não aumenta a mortalidade), os mosquitos têm uma probabilidade maior de se tornar infectado e infectar outro hospedeiro dentro de sua vida útil.

De maneira específica, Hii *et al.* (2012) afirmam que a 32 °C o número de picadas que o mosquito dá é duas vezes maior do que a 24 °C. Em temperaturas acima de 40 °C a expectativa de vida do mosquito diminui ao mesmo tempo em que sua capacidade de transmitir o vírus também diminui (PATZ *et al.*, 1998), contudo, se o *Aedes aegypti* estiver abrigado, consegue sobreviver a temperaturas acima dos 40 °C com um mínimo de impacto. Assim, as taxas máximas adequadas de sobrevivência estão na faixa de 20 a 40 °C (AXTELL *et al.*, 1990).

A precipitação também influencia a transmissão da dengue através do seu impacto sobre a população do vetor. A abundância do predominante vetor é regulada, em parte, pela precipitação, que fornece os locais de reprodução e estimula o ovo para incubação. No entanto, a chuva pesada tende a lavar as larvas dos recipientes ao ar livre e reduzir a vida útil do vetor. Um certo número de dias de chuva é geralmente favorável para o desenvolvimento do mosquito. Mas, Hii *et al.* (2012) ressaltam que os períodos de seca, em algumas configurações, desencadeiam um aumento de recipientes de armazenamento de água que podem servir como habitats de reprodução.

A umidade relativa do ar, assim como a temperatura do ar, afeta a sobrevivência do vetor, tanto na fase de ovo como na forma adulta. A combinação de umidade e calor influencia os hábitos alimentares e de atração entre os mosquitos. Segundo Ehelepola *et al.* (2015), quando a umidade no ambiente é relativamente baixa pode ajudar a fêmea do mosquito na procura de humanos para se alimentar, promovendo a transmissão da doença. A umidade relativa do ar também afeta o vôo, afetando diretamente as taxas de evaporação de criadouros do vetor, juntamente com o vento.

Em suma, os ventos fortes reduzem a densidade de mosquitos, pois torna difícil encontrar um anfitrião. No entanto, é importante observar que o vento também ajuda a ampliar o alcance do mosquito. Em dias nublados (baixa luz do sol), os vetores se alimentam não só às horas habituais do amanhecer e anoitecer, mas ao longo de todo o dia, especialmente se eles estiverem dentro de casa.

É importante observar que o efeito das condições meteorológicas e as variáveis independentes relacionadas aos aspectos ambientais são inter-relacionados quando se trata de o resultado da transmissão de dengue, em que os padrões de mobilidade humana também têm sido um fator para contribuir significativamente nos padrões de transmissão de dengue em diferentes escalas espaciais e temporais (CHOWELL *et al.*, 2011).

As interações de todas essas variáveis ambientais, sociais e climáticas tornam extremamente difícil o entendimento da transmissão da dengue, por isso, muitos dos estudos recentes utilizam-se de métodos de análise de séries temporais, que se trata de um conjunto de observações de uma variável ordenado no tempo e registrado em períodos regulares, com o intuito de verificar a existência de padrões não aleatórios de uma variável de interesse, permitindo fazer previsões sobre o futuro através da observação do comportamento passado, como afirmam Morettin e Tolo (2006).

3.3 Análise de Séries Temporais

Os estudos destacados na Tabela 1 foram publicados nos últimos dois anos, com a região asiática como área de estudo da maioria dessas pesquisas. Foram trabalhos que utilizaram a análise wavelet como técnica quantitativa para identificar a associação entre os casos notificados de dengue e as principais variáveis estudadas, temperatura (máxima, média e mínima) do ar, a precipitação, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento.

Cazelles *et al.* (2005), por exemplo, analisaram o efeito do fenômeno *El Nino* em casos de dengue na Tailândia e encontraram uma forte associação entre casos de dengue mensais e a dinâmica do *El Nino* para período de 3 anos. Santos *et al.* (2003) apresentaram algumas aplicações da teoria wavelet para analisar os padrões de chuva no Japão e no Nordeste do Brasil. Também, vários pesquisadores do Sri Lanka tem aplicado séries temporais e modelos de regressão para prever surtos de dengue no Sri Lanka (GOTO *et al.*, 2013; KAVINGA *et al.*, 2013).

Tabela 1 - Publicações recentes de estudos similares utilizando análise wavelet.

Título da pesquisa	Local	Ano de publicação	Período estudado	Variáveis estudadas	Relação identificada
Modelling and analysis of dengue disease transmission in	Colombo (Sri Lanka)	2015	2006 a 2012	Temperatura máxima, Precipitação	Número de casos de dengue é determinado pela precipitação

urban Colombo: a wavelets and cross wavelets approach.					
A study of the correlation between dengue and weather in Kandy City, Sri Lanka (2003 - 2012) and lessons learned	Kandy City (Sri Lanka)	2015	2003 a 2012	Precipitação, nº de dias chuvosos, temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento, horas de brilho solar	Correlação positiva entre a dengue e precipitação, nº de dias chuvosos, temperatura mínima e média com lag de 5 a 7 semanas. E temperatura máxima, horas de brilho solar e vento com lag mais longo.
Temporal relationship between rainfall, temperature and occurrence of dengue cases in São Luís, Maranhão, Brazil	São Luís, (Maranhão, Brazil)	2016	2003 a 2010	Precipitação, temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima	Precipitação com 3 meses de latência foi significativamente relacionado com o nº de casos de dengue
Climatic-driven seasonality of emerging dengue fever in Hanoi, Vietnam	Hanoi (Vietnã)	2014	2002 a 2009	Precipitação, temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima, umidade relativa, pressão de vapor,	Temperatura, precipitação, pressão de vapor conduz a incidência de dengue por um atraso de 8-10 semanas. umidade relativa do ar conduz a incidência de dengue por um atraso constante de 18 semanas para o ciclo anual e um atraso diminuir de 14 para 5 semanas para o ciclo de sub- anual.

Fonte: Autor (2016).

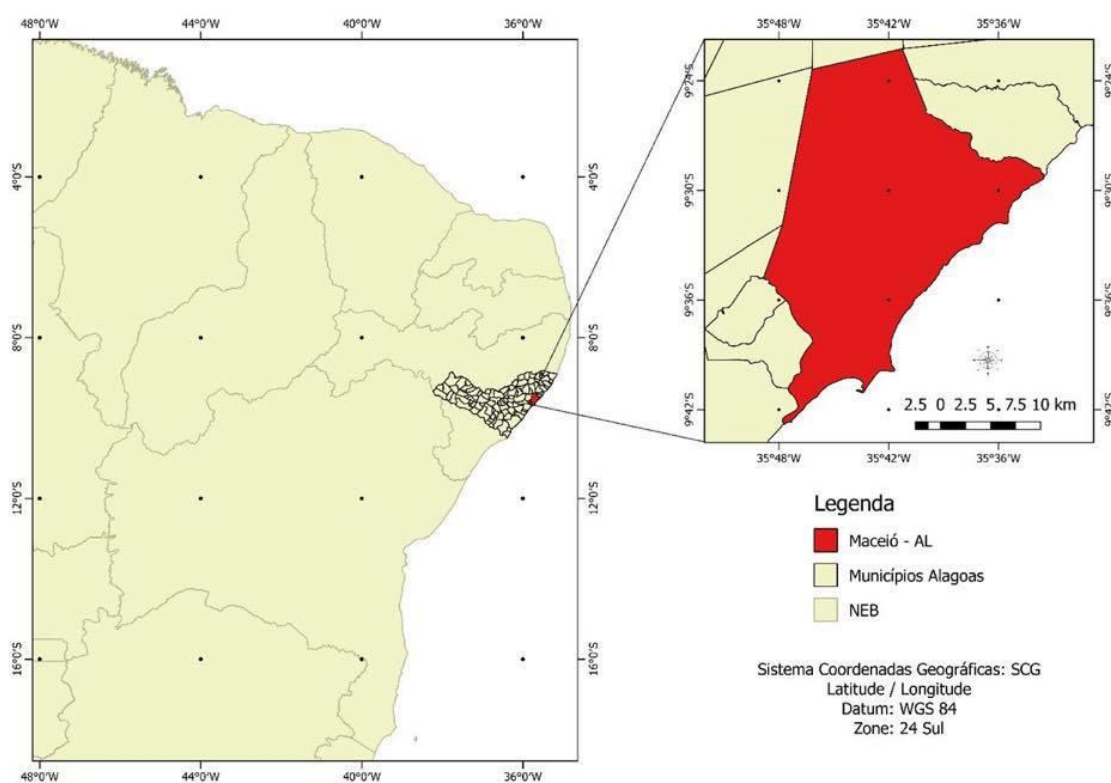
É importante observar que outras técnicas (vector machines, algoritmo genético, Student's t test e regressão multivariada de Poisson) também foram utilizadas em estudos para identificar a associação entre os casos notificados de dengue e variáveis meteorológicas. Entretanto, Keissar *et al.* (2009) afirma que a transformada wavelet é estritamente eficiente na análise de sinais não estacionários. Assim, uma vez que diversos autores apresentaram resultados significativos através da análise wavelet, a transformada wavelet foi a ferramenta utilizada para analisar os dados das séries temporais deste estudo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

Maceió é um município brasileiro, capital do Estado de Alagoas, localizado na mesorregião do Leste Alagoano, região Nordeste do país, apresentado na Figura 5 com destaque para a localidade escolhida para o estudo desta pesquisa. Localizado entre a latitude $9^{\circ}39'57''$ Sul e longitude $35^{\circ}44'07''$ Oeste, às margens do Oceano Atlântico e do complexo lagunar Mundaú – Manguaba, ocupa uma área territorial de 510,655 km². É o município mais populoso de Alagoas, com população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1 013 773 habitantes em 2015.

Figura 5 - Localização do município de Maceió.



Fonte: Autor (2016).

O Estado de Alagoas está situado na faixa intertropical, sendo assim, caracterizado por forte insolação durante todo o ano, fazendo com que o regime térmico seja bastante estável, com pequena amplitude térmica anual, conferindo-lhe certo aspecto de uniformidade climática. Maceió apresenta clima quente e úmido, que segundo a Classificação Climática de Köppen

corresponde ao tipo As', caracterizado por se apresentar sem grandes diferenciações térmicas e precipitação concentrada no outono e inverno, especialmente entre abril e julho, sendo maio o mês de maior precipitação. As temperaturas médias mensais oscilam em torno de 25 °C, com máxima mensal atingindo 29 °C e a mínima 22 °C.

A umidade relativa do ar mensal tem média de 78%. Está sob influência alternada dos ventos alísios de Sudeste e os ventos de retorno do Nordeste nos meses mais quentes (janeiro, fevereiro e março). O valor médio mensal da velocidade de vento é de 2,8m/s, podendo chegar a valores absolutos mais intensos de 10m/s na direção Nordeste.

Com um relevo apresentando predomínio de terras baixas e altitudes inferiores a 100 metros, o município apresenta vegetação herbácea (gramíneas) e arbustiva (poucas árvores e espaçadas), vegetações associadas a um sistema regular de chuvas. A vegetação natural encontra-se bastante degradada em algumas áreas isoladas dos tabuleiros costeiros e principalmente nas encostas. Tendo a ocorrência de remanescentes de floresta ombrófila secundária (Mata Atlântica).

Baseado nas características climáticas e geoambientais apresentadas anteriormente, afirma-se que as condições do município proporcionam impacto positivo no crescimento da população do vetor e aumenta a taxa de sobrevivência do vetor. A maioria das variáveis, que se apresenta em faixa adequada de sobrevivência do vetor, ajuda a aumentar a probabilidade do mosquito se tornar infectado e conseqüentemente, ao aumento da taxa de alimentação do mesmo. As condições sociais e geográficas do município, que na maior parte do território apresenta infraestrutura inadequada, também ajudam no fornecimento de locais de reprodução do vetor.

4.2 Obtenção dos Dados

No presente estudo, os dados sobre o número de casos notificados de dengue no município de Maceió foram obtidos somente a partir de janeiro de 1998, logo o período de estudo foi condicionado para janeiro de 1998 a dezembro de 2015. Esses dados fornecidos para cada caso notificado de dengue não incluem um número de referência de registro único, data de início e o *status* de confirmação do relatório. Sendo dados disponíveis gratuitamente através do banco de dados TABNET/DATASUS, disponível em <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?pacto/2013/cnv/coapmunbr.def>.

Também foram utilizados dados mensais reais das variáveis meteorológicas precipitação, nebulosidade, umidade relativa do ar, temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima do ar, insolação, velocidade máxima e média do vento; apresentadas nas tabelas inseridas nos apêndices. Foram dados selecionados também entre o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2015 da Estação Automática Climatológica de Maceió (-9.66 S, -35.7 W e 64.50 m), provenientes do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal>.

É importante observar que mesmo havendo disponibilidade de registro eletrônico, muitos casos de dengue passam sem ser notificados, havendo assim limitação quanto a qualidade e confiabilidade dos dados. E o período selecionado para os dados mensais das variáveis meteorológicas esteve condicionado ao período selecionado para os casos notificados de dengue.

4.3 Variáveis Meteorológicas

Kwak *et al.* (2015) argumentam que muitos estudos consideram as variáveis meteorológicas que são relacionadas a doenças epidêmicas, como uma variável estatística e não como uma série temporal. Mas, em seu estudo sobre a incidência da febre Tifoide na Coréia do Sul, Yang *et al.* (2014) sugerem que as variáveis meteorológicas sejam consideradas como séries temporais, uma vez que foi encontrado um efeito de defasamento temporal e também identificada considerável correlação entre as variáveis e a doença. Uma série temporal é um sinal aleatório, um processo estocástico e, um processo estocástico é interpretado como uma família de variáveis aleatórias. Assim, todas as variáveis descritas (relacionadas abaixo) neste estudo são tratadas como séries temporais.

(a) *Precipitação*: É uma variável que retrata a água em forma de gotículas ou cristais de gelo proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre. Assim, um índice pluviométrico é uma medida da precipitação dada em milímetros, sendo o resultado do somatório da quantidade da precipitação da água em um determinado local durante um dado período de tempo (VILLELA e MATTOS, 1975).

(b) *Nebulosidade*: É a variável que traduz a fração da abóbada celeste que é ocupada por nuvens. Normalmente é usada uma escala que varia de 0 a 10, quando indicada em décimos de céu encoberto, com o valor zero indicando que nenhuma nuvem foi detectada na observação.

(c) *Umidade Relativa do ar*: É a medida da porcentagem de vapor d'água existente no ar, que pode variar de um lugar para outro e até num mesmo lugar, dependendo do dia, do mês ou da estação do ano. Constituindo importante variável meteorológica, ao lado da temperatura, pode ser considerada em números absolutos ou relativamente ao seu ponto de saturação, ou seja, a capacidade máxima da atmosfera em reter a umidade. Quanto mais elevada for a temperatura, maior será a umidade do ar e vice-versa (VAREJÃO, 2005).

(d) *Temperatura do ar*: É o grau de aquecimento do ar em um dado momento. Atua em processos de contínuo estímulo aos processos fisiológicos vitais dos seres vivos. De maneira que é um índice que expressa a quantidade de calor sensível de um corpo, ou seja, a quantidade de energia térmica ou o grau de agitação das moléculas do mesmo (VAREJÃO, 2005).

(e) *Insolação*: É a quantidade de energia solar que atinge uma unidade de área da Terra, ou seja, o número de horas de sol descoberto acima do horizonte, variando conforme a região. Exprime-se em horas por dia, mês ou ano. Assim, podemos concluir que quanto maior for a duração da insolação, maior será a quantidade de energia recebida à superfície terrestre. A duração da insolação é determinante da variação da radiação solar à superfície da Terra.

(f) *Velocidade do Vento*: É o ar atmosférico em movimento resultante de diferenças de pressão e temperatura, que apresenta uma determinada direção e intensidade. O deslocamento do ar é sempre de áreas mais quentes, ou de regiões de altas pressões para as de baixa pressão. Sabemos que a superfície terrestre não recebe a mesma quantidade de calor (VAREJÃO, 2005).

4.4 Tratamento das Séries Temporais

Nas últimas décadas, as variáveis meteorológicas como temperatura e precipitação têm sido amplamente estudadas para determinar seu potencial como ferramentas de alerta precoce para afastar doenças infecciosas sensíveis às condições climáticas, como a dengue. No entanto, vale salientar que os resultados de estudos de correlação entre variáveis meteorológicas e a dengue variam de acordo com o método analítico usado.

Como a análise wavelet realiza a decomposição dos sinais de tempo-frequência e estima as características espectrais como uma função do tempo com base de energia finita localizada,

ou seja, tem uma duração limitada; pode ser usada para determinar se a presença de um ciclo periódico particular em um determinado momento numa incidência da doença corresponde à presença do mesmo ciclo periódico ao mesmo tempo em uma exposição de covariáveis. Assim, como esteio da pesquisa, foi utilizada a análise de séries temporais wavelet, transformada wavelet (TW), para identificar a existência de correlação entre a incidência de casos de dengue e variáveis meteorológicas.

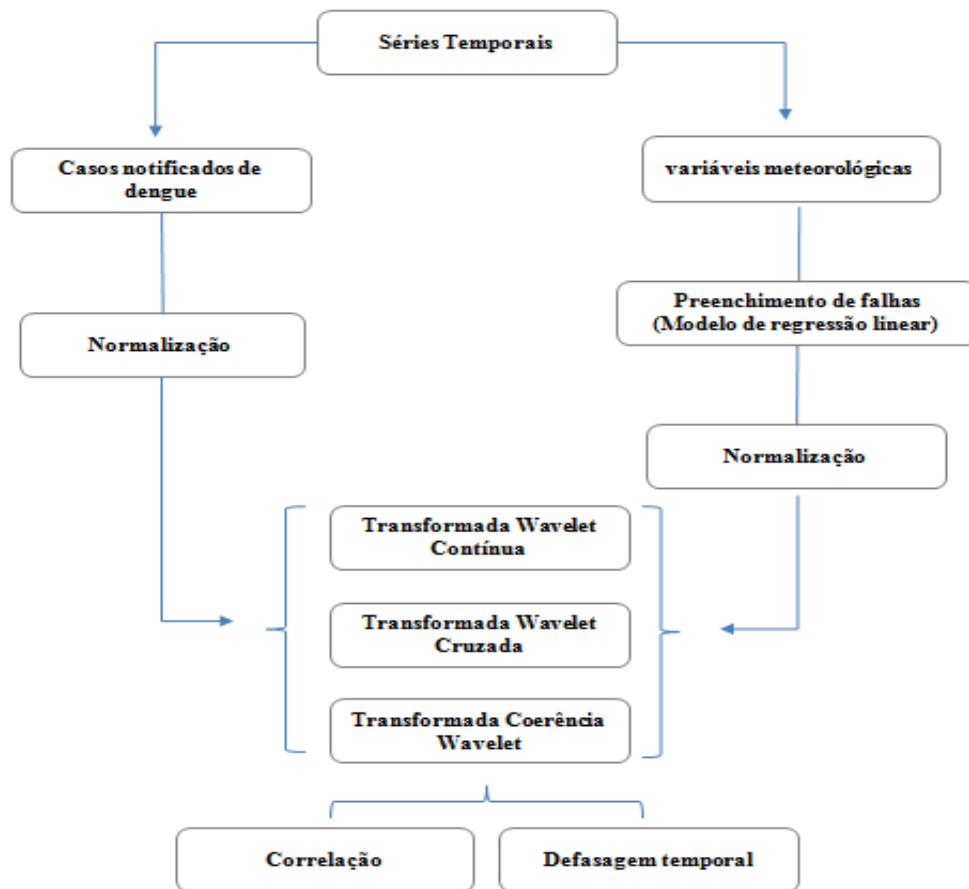
A transformada wavelet fornece uma representação precisa de um sinal em função de tempo e frequência de modo simultâneo. Busca também formular funções matemáticas capazes de ampliar o intervalo de dados, de modo a separar os diferentes componentes de frequência existentes em uma série temporal o que possibilita a análise de cada componente em sua escala correspondente. Para identificar os períodos dominantes, ou seja, os pontos que apresentaram um maior conteúdo de energia nos sinais das séries temporais do estudo foram utilizados a análise wavelet contínua, que é uma forma de onda com duração limitada e um valor médio igual a zero.

Ge (2007) afirma que a aplicação da análise wavelet tornou-se fácil para muitos pesquisadores, devido ao trabalho de Torrence e Compo (1998). Neste trabalho amplamente reconhecido, que foi citado mais de 1000 vezes a partir de junho de 2007, muitas questões práticas para a análise wavelet são discutidas, acompanhadas de códigos-fonte em Fortran e Matlab publicado em seu website (<http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>). Além disso, Torrence e Compo (1998) é um dos primeiros trabalhos que dá um guia para a realização de testes de significância para o espectro wavelet e o espectro cruzado, importantes para o presente trabalho.

A rotina computacional (*script*) usada para a geração da análise pode ser encontrada em: <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>. Posteriormente, como mostra a Figura 6, para investigar a relação entre as séries temporais, foi utilizado o critério da wavelet cruzada, coerência wavelet e ângulo de fase. Os algoritmos dessas etapas podem ser encontrados em: <http://noc.ac.uk/using-science/crosswavelet-wavelet-coherence>.

Essas rotinas computacionais utilizadas foram desenvolvidas para o ambiente *MATLAB*, escrito em janeiro de 1998, por Torrence e modificado em outubro de 1999. Podendo ser usado, copiado ou redistribuído, desde que não seja vendido e seja reproduzido o aviso de direito autoral (copyright) em cada cópia elaborada.

Figura 6 - Esquematização das etapas de tratamentos das séries temporais.



Fonte: Autor (2016).

Os resultados obtidos na presente pesquisa foram processados no software *MATLAB* (*Matrix Laboratory*) versão *R2015b*, da empresa *Mathworks*. Por ser um ambiente de programação lógica, técnica, computação numérica, simulação e visualização gráfica, no software foi utilizada a *Wavelet Toolbox*, que apresenta um conjunto de funções construídas e fornecidas para a análise e síntese de sinais e imagens, onde as ferramentas são oferecidas por meio de linha de comando ou interface gráfica interativa.

A transformada wavelet tem vantagem sobre a análise espectral clássica, pois permite analisar a variabilidade temporal em diferentes escalas. Assim, Santos e Freire (2012) afirmam que a transformada wavelet é uma ferramenta adequada para analisar eventos distribuídos de modo irregular e séries temporais que contêm energia não estacionária em frequências diferentes, se tornando uma ferramenta comum para a análise de variações de energia localizada dentro de uma série temporal.

Grinsted *et al.* (2004), por meio de conclusão heurística utilizando a transformada wavelet contínua (CWT) para analisar séries temporais geofísicas, afirmam que uma série longe de uma distribuição normal gera resultados pouco confiáveis e menos significativos nos resultados das análises wavelets. De modo que sugerem normalizar as séries temporais que não apresentam distribuição da probabilidade normal, uma vez que a mesma representa a distribuição de frequência das variáveis que é, aproximadamente, uma distribuição de probabilidade normal. Logo, para cada série temporal foi construído um gráfico de histograma e de probabilidade normal, possibilitando revelar a forma subjacente da distribuição dos dados.

4.4.1 Preenchimento de Falhas

Muitas observações meteorológicas apresentam falhas em seus registros devido à ausência do observador ou por defeitos no aparelho. Como existe a necessidade de se trabalhar com dados contínuos em algumas aplicações, para o presente estudo, houve o preenchimento de falhas dos dados antes de realizar a decomposição dos sinais de tempo-frequência por meio da análise wavelet.

Existem vários métodos para se processar o preenchimento, no qual foi optado por o método de regressão linear, que explica o comportamento de uma variável em função de outra, de acordo com a Equação 1.

$$PB = a + b * PA \quad (1)$$

Onde a representa o coeficiente angular e b é o coeficiente linear, ambos da equação linear. De modo que a partir dos dados do posto A estimamos dados no posto B . Os coeficientes da equação linear (a e b) podem ser estimados através da utilização do método dos mínimos quadrados.

4.4.2 Transformada Wavelet

Para um maior entendimento da transformada wavelet no tratamento de séries temporais é necessário abordar primeiro a transformada de Fourier, que é uma ferramenta que possibilita determinar a contribuição que cada função seno e cosseno, presentes numa série temporal, apresenta para a energia total desta série (periódica).

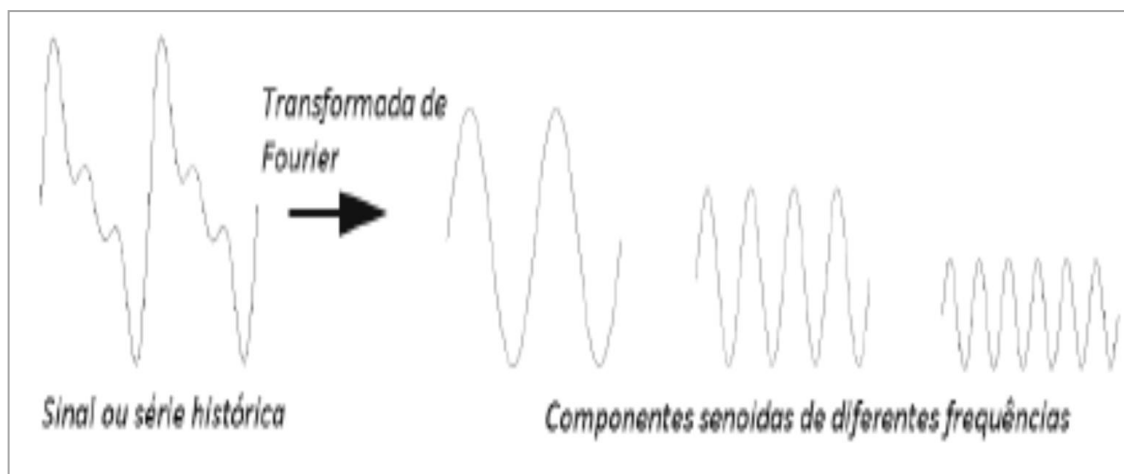
Como a análise de séries temporais consiste basicamente em buscar similaridades entre um sinal (ou série histórica ou função) e funções matemáticas conhecidas, são aplicadas aos sinais transformações matemáticas para obter informação adicional de que o sinal que não está prontamente disponível é bruto.

Uma função periódica pode ser representada por meio de funções periódicas simples, cosseno e seno, sob a forma de uma série chamada de série de Fourier da função. A análise de Fourier transforma uma série temporal estocástica em uma soma de frequências de senos e cossenos. Assim, esta análise é capaz de quantificar as variáveis associadas a uma determinada frequência ou período, ou seja, busca aproximar um determinado sinal (ou determinada série histórica ou função) a uma combinação linear de componentes senoidais, em diferentes frequências.

Essa abordagem consiste na quebra de um sinal no domínio do tempo em um somatório de senos e cossenos de diferentes frequências com intuito de avaliar quais dessas frequências predominam sobre o comportamento do sinal ou da série temporal em análise. É o mesmo que afirmar que a análise de Fourier retira a série do domínio do tempo e a representa no domínio da frequência (LABAT, 2005).

Esse processo de quebra de um sinal é bem exemplificado na Figura 7, que mostra a decomposição de um sinal original em suas componentes senoidais de diferentes frequências, onde as componentes senoidais são estacionárias com mesma variância e média ao longo do tempo. Por esse motivo, a transformada de Fourier é também limitada ao caso de sinais estacionários.

Figura 7 - Processo de decomposição de uma série através de uma análise de Fourier.



Fonte: Misiti *et al.* (1996).

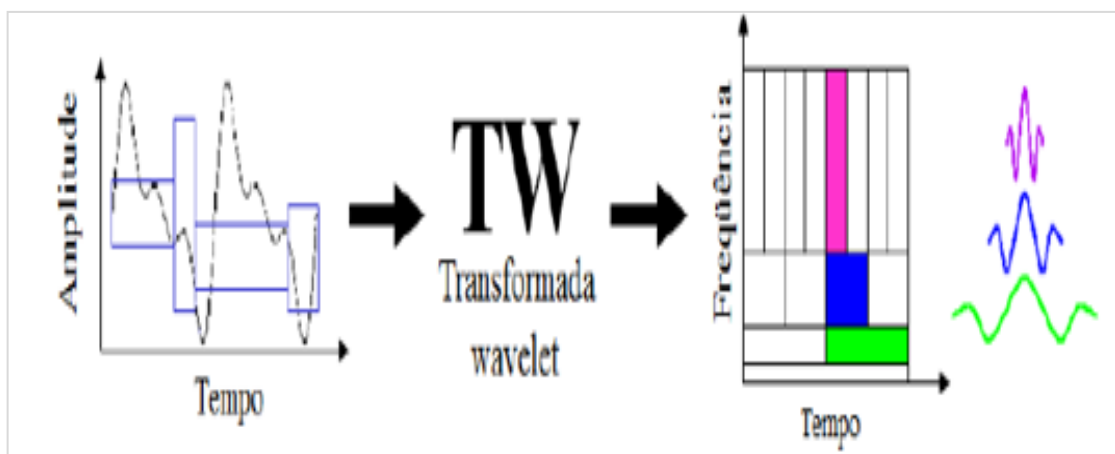
Na presença de instabilidades, tendências a oscilações, saltos, quebras ou não estacionariedades, essas particularidades são perdidas, uma vez que a análise de Fourier não é a ferramenta mais apropriada para identificação dessas alterações de comportamento ao longo do tempo. Esse entendimento proporcionou as primeiras tentativas de novas técnicas de análises que pudessem superar as limitações da transformada de Fourier.

A primeira tentativa de superar a limitação da análise de Fourier quanto à análise de sinais estacionários, desenvolvida por Gabor (1946), foi a transformada “janelada” de Fourier (tradução de MORETTIN, 1999) que consiste em realizar a análise de Fourier em janelas de determinado comprimento ao longo de um comprimento total N , retornando frequências que poderiam variar em cada intervalo de tempo.

Nessa situação, a transformada é calculada em vários períodos de tempo ao longo da série histórica e fornece uma representação tempo-frequência da série original. Contudo, esse processo é limitado por uma janela fixa no domínio tempo-frequência, o que torna difícil capturar componentes de alta e de baixa frequência de um sinal, simultaneamente (MORETTIN, 1999).

A transformada wavelet contínua apresenta a capacidade de detectar, em um sinal, componentes de diferentes frequências, como verificado na Figura 8. Em outras palavras, ela é capaz de capturar componentes de alta e de baixa frequência, funcionando como uma janela que aumenta e diminui com esse intuito. Dessa maneira, a análise wavelet é capaz de captar tanto o comportamento local, quanto o comportamento global de um sinal, de modo simultâneo (MORETTIN, 1999).

Figura 8 - Detecção de componentes de baixa e alta frequência.



A análise wavelet sempre usa uma wavelet de exatamente a mesma forma, apenas o tamanho dimensionado para cima ou para baixo com o tamanho da janela. Por fim, a "escala" da wavelet pode ser variada, alterando a sua largura. Esta é a verdadeira vantagem da análise wavelet sobre um espectro de Fourier em movimento.

(a) *Funções Wavelets*

A transformada wavelet contínua é técnica análoga àquela de Fourier, tendo a particularidade de que, em vez do uso da fórmula de Euler, são utilizadas funções wavelets. Uma função wavelet é uma função de média igual à zero, a qual é dilatada por meio de um parâmetro de escala (s) e transladada por um parâmetro de posição u .

Como a transformada wavelet mede as variações tempo-frequência de componentes espectrais de determinado sinal com diferentes resoluções tempo-frequência, ela correlaciona um sinal $x(t)$ com a função wavelet no tempo u e na escala s , a transformada pode ser escrita como uma integração no domínio das frequências.

As funções wavelets apresentam algumas propriedades específicas. A primeira delas, apresentada por Morettin (1999), é uma condição de admissibilidade, que é a própria definição de função wavelet. Essa propriedade define que, no domínio dos números reais, a média da função deve ser igual à zero (0). A segunda condição define que funções wavelets não podem divergir. Morettin (1999) afirma ainda que não só essas funções devem convergir, como devem fazê-lo rapidamente.

São diversas as famílias de funções wavelets, desde que a função satisfaça as propriedades mencionadas anteriormente, ela pode assumir essa denominação. No presente trabalho, foi dada preferência ao uso da função de Morlet, que consiste em uma onda plana modulada por uma gaussiana, que consegue representar satisfatoriamente as séries temporais de fenômenos geofísicos. Essa wavelet é complexa e possui características semelhantes àquelas do sinal meteorológico que se deseja analisar, tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave.

(b) *Normalização da Wavelet*

Para assegurar que a transformada wavelet, em cada escala s , seja comparável com diferentes escalas e com outras séries, a função wavelet, em cada escala s , deve ser normalizada

para que tenha energia unitária, ou seja, é utilizada para manter constante a energia total da escala wavelet. Funções normalizadas são apresentadas com índice “0”.

Cada função escala é definida de modo que sua integral no domínio das frequências seja igual a um (1). Tendo normalizado a função wavelet, em cada escala s , a transformada wavelet é ponderada apenas pela amplitude dos coeficientes de Fourier e não pela função wavelet.

(c) *Escolha das Escalas*

Tendo escolhido uma função wavelet, é necessário selecionar um conjunto de escalas “ s ” a ser utilizado na transformada wavelet. Para uma wavelet ortogonal, existe uma limitação a um conjunto de escalas discretas. Para análises não ortogonais, que é o caso da análise com função Morlet, realizada no presente trabalho, um conjunto arbitrário de escalas pode ser escolhido para construir um desenho mais completo. É conveniente a escolha da escala como uma potência de 2.

A relação entre o período equivalente de Fourier e a escala da wavelet pode ser deduzida analiticamente para uma dada função wavelet em particular, substituindo uma onda cosseno de uma frequência conhecida e calculando a escala s na qual o espectro wavelet alcança um valor máximo (TORRENCE e COMPO, 1998). Esses períodos são importantes na observação do espectro, uma vez que observar o espectro em termos de frequências (ou períodos) é mais prático, principalmente se o objetivo da análise seja extrair informações sobre a presença de ciclos periódicos nas séries temporais.

Vale ressaltar que uma escala maior implica uma função wavelet que cobrirá maior amplitude do sinal. Para escalas menores, a função wavelet também é mais restrita no tempo. O valor da energia do sinal, representado pelo valor do módulo da transformada, usualmente é representado em uma escala de cores.

(d) *Espectro Wavelet*

O espectro wavelet pode ser definido pelo valor absoluto da transformada, ou seja, reflete o tanto que o sinal se diferencia de um ruído ou de um sinal aleatório. Sendo assim, a variância wavelet total (ou energia) do sinal é distribuída ao longo do espectro wavelet. Os coeficientes wavelets, os quais compõem o espectro, são reflexos da energia do sinal em determinado ponto e em determinada escala. Quanto maior o valor do coeficiente mais energia

tem o sinal naquele ponto e, portanto, maior sua variância wavelet, ou maior sua correlação com a função wavelet.

É importante observar que é comum o uso de termos da termodinâmica na análise wavelet, quando aplicada a estudos meteorológicos. Um desses termos comumente utilizado nessa análise é energia. A partição da energia de determinado sinal permite determinar quais escalas concentram sua dinâmica essencial. Segundo Labat (2005), a ideia de construção do espectro wavelet parte do conceito de conservação de energia no domínio do tempo, bem como no domínio escala-tempo.

(e) *Cone de Influência*

Ao trabalhar com séries históricas finitas, erros ocorrerão no início e no fim do período do espectro, uma vez que a transformada de Fourier assume que o dado é cíclico. Uma solução é preencher o início e o fim da série com zeros, antes de realizar a transformada e depois removê-los. O número de zeros deve ser suficiente para levar a série de N elementos até o próximo nível de potência, limitando o efeito de fronteira e acelerando a transformada de Fourier.

Entretanto, preencher com zeros introduz descontinuidades nas extremidades e, em escalas maiores, fazendo diminuir a amplitude em suas proximidades, na medida em que mais zeros entram na análise. O cone de influência é uma linha contínua em forma de cone que varia em ambos os eixos, compreendendo uma região denominada de influência de cone (COI). Ou seja, é a região do espectro wavelet onde os efeitos de extremidade tornam-se relevantes e são definidos aqui como o período para a autocorrelação da wavelet em cada escala. Sendo esse período escolhido de tal maneira que a “energia” da wavelet para uma descontinuidade na extremidade do espectro caia, assegurando que o efeito de fronteira seja desprezível a partir desse ponto. Ressaltando que para séries históricas cíclicas, o preenchimento com zeros e o uso do cone não são necessários.

Dentro da influência do cone, as regiões com picos significativos de energia são indicadas por contornos pretos grossos, mostrando as áreas com potência significativamente alta ao nível de confiança de 95 %.

(f) *Transformada Wavelet Contínua*

Torrence e Compo (1998) sugerem que a interpretação da wavelet pode ser vista como um filtro passa-banda. Assim, os picos dominantes de variabilidade apresentam um maior conteúdo de energia em um determinado período. Torrence e Webster (1999) recomendam o uso da transformada wavelet para verificar séries temporais que contenham potência (variabilidade) não estacionária em muitas frequências diferentes.

A transformada wavelet contínua de séries temporais representa a convolução dessas séries com funções bases locais, ou wavelets, que podem ser transladadas e estendidas com resolução flexível no domínio tempo-frequência. Em suma, decompõe as séries temporais dentro do domínio tempo-frequência, permitindo a identificação dos modos de variabilidade dominantes e como esses se alternam no tempo (TORRENCE e COMPO, 1998).

(g) *Transformada Wavelet Cruzada*

Torrence e Compo (1998) propuseram ainda, a técnica de análise da covariância de duas séries temporais, mediante o cálculo do espectro cruzado wavelet de duas séries temporais “X” e “Y” com as transformadas *wavelets* W_x e W_y . Ainda de acordo com Torrence e Compo (1998), a potência wavelet cruzada indica quais as regiões que apresentam potência comum entre duas séries temporais em um determinado período.

(h) *Transformada Coerência Wavelet*

A fim de verificar a possibilidade de ter um efeito de causalidade, computa-se a transformada coerência wavelet (WTC). A coerência wavelet é uma medida da intensidade da covariância (correlação) de duas séries temporais no domínio tempo-frequência, diferentemente da potência wavelet cruzada, que é uma medida da potência comum entre duas séries. Se as regiões no espaço tempo-frequência com grande potência comum têm uma relação de fase constante, sugere causalidade entre a série temporal.

Segundo Torrence e Webster (1999), a coerência wavelet pode ser definida como o quadrado do espectro cruzado wavelet normalizado pelo espectro de potência individual. Esse cálculo fornece uma quantidade entre zero (0) e um (1) e mede a correlação cruzada entre duas séries temporais como uma função da frequência.

Torrence e Webster (1999) estimaram os níveis de significância da coerência somente através do espectro de ruído branco, mas, nesta pesquisa, foi utilizada a metodologia de Grinsted *et al.* (2004), considerando o método de Monte Carlo com o espectro de ruído vermelho para determinação, no nível de confiança de 95%, da coerência wavelet e da wavelet espectro cruzado.

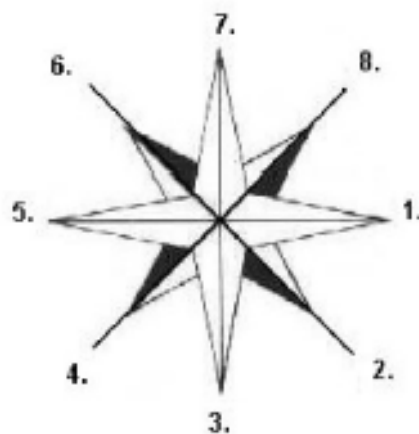
É importante observar que "significativa no nível de 5%" é equivalente a "o nível de confiança de 95%", e implica um teste contra um certo nível de fundo, enquanto que o "intervalo de confiança de 95%" refere-se ao intervalo de confiança sobre um determinado valor. A confiança de 95% implica que 5% da potência de wavelet deve ser superior a este nível.

(i) Ângulo de Fase

Uma vez que as regiões no espaço tempo-frequência com grande energia comum têm uma relação de fase constante, essa relação de fase é representada por setas. Segundo Barbosa (2007) o sinal da diferença entre os ângulos de fase é destacado somente em regiões espectrais correlacionadas. Entretanto, sua relevância é dependente da energia encontrada sobre as frequências associadas em cada variável e também da wavelet cruzada, sendo importante combinar toda a informação para obter a correta interpretação.

A interpretação física dos ângulos de fase entre duas séries temporais pode ser avaliada de acordo com a Figura 9 (GRINSTED *et al.*, 2004; BARBOSA, 2007). Barbosa (2007) ressalta que se deve saber qual série temporal é processada, primeiramente, no cálculo da transformada wavelet cruzada e da coerência, para que seja válido o esquema.

Figura 9 - Relação do ângulo de fase entre duas séries temporais (série 1 x série 2).



A interpretação física da Figura 9, onde os vetores apontam na direção dos números, segue da seguinte maneira: **1)** série 1 completamente em fase com a série 2; **2)** série 1 avançada em 45° da série 2; a série 2 responde em $1/8$ do período; **3)** série 1 avançada em 90° da série 2; a série 2 responde em $1/4$ do período; **4)** série 1 avançada em 135° da série 2; a série 2 responde em $3/8$ do período; **5)** série 1 e série 2 estão em fases opostas; **6)** série 2 avançada em 135° da série 1; a série 1 responde em $3/8$ do período; **7)** série 2 avançada em 90° da série 1; a série 1 responde em $1/4$ do período; **8)** série 2 avançada em 45° da série 1; a série 1 responde em $1/8$ do período.

Em suma, a obtenção da transformada wavelet cruzada e da coerência entre duas séries temporais pode ser resumida da seguinte forma: o primeiro passo está relacionado ao cálculo da transformada wavelet cruzada a partir de duas wavelets contínuas, destacando-se quais as regiões com alta potência comum entre as duas séries temporais. A coerência também é calculada a partir de duas wavelets contínuas, informando qual o grau de correlação entre duas séries temporais e qual o nível de significância no domínio tempo-frequência. Nas figuras de coerência, o ângulo de fase é apresentado apenas nas regiões com intervalos de confiança pré-determinados. Observando que a diferença entre os ângulos de fase será representada por vetores (setas), considerando apenas as informações descritas na análise da coerência entre duas séries temporais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta análise, os resultados foram obtidos por meio do estudo da variação dos picos dominantes de cada série temporal, apresentados no espectro da wavelet contínua que mostra a energia individual, ou seja, a energia significativa de cada série temporal. Subsequentemente, foram investigados quais períodos apresentaram energia dominante comum entre as séries temporais associadas através do espectro da wavelet cruzada que mostra os valores mais altos de energia que são comuns entre duas séries temporais, ou seja, que indica os momentos em que duas séries temporais apresentam grandes amplitudes, identificando o comportamento oscilatório comum localizado no tempo.

Posteriormente, a transformada coerência wavelet foi usada para determinar se a presença de uma determinada frequência em um determinado tempo na incidência de casos de dengue correspondeu à presença da covariável meteorológica na mesma frequência. Verificando, assim, a possibilidade de ter um efeito de causalidade entre as duas séries temporais e medindo a correlação. Isso possibilitou detectar os períodos de atraso de tempo entre as variáveis meteorológicas e os casos notificados de dengue. Consequentemente, puderam-se relacionar os resultados encontrados com os resultados de estudos semelhantes.

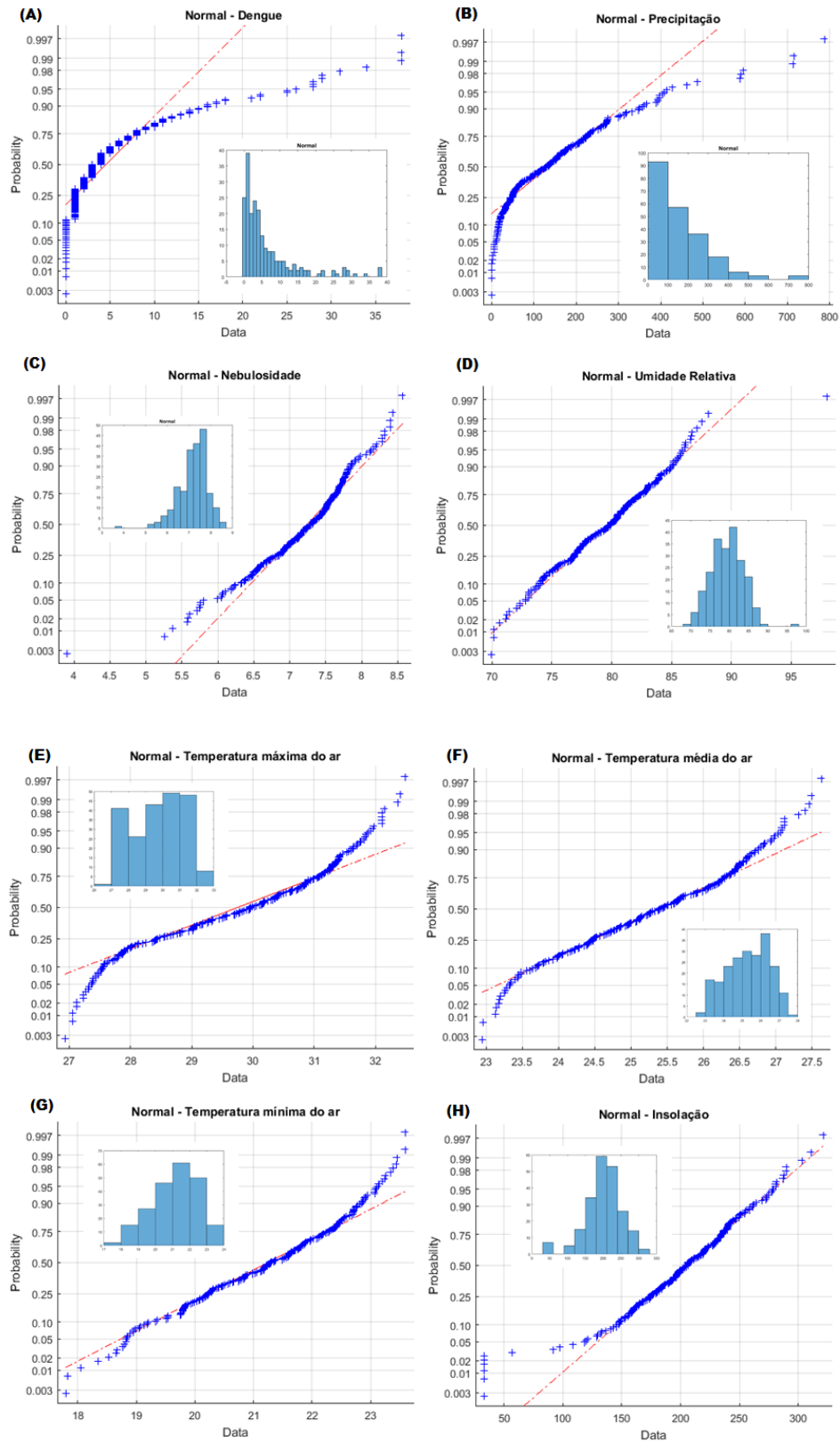
Vale observar que os resultados aqui apresentados são na forma de “energia”, ou seja, representam o valor do quadrado absoluto de cada variável em seu valor mensal local ou o espectro de potência wavelet.

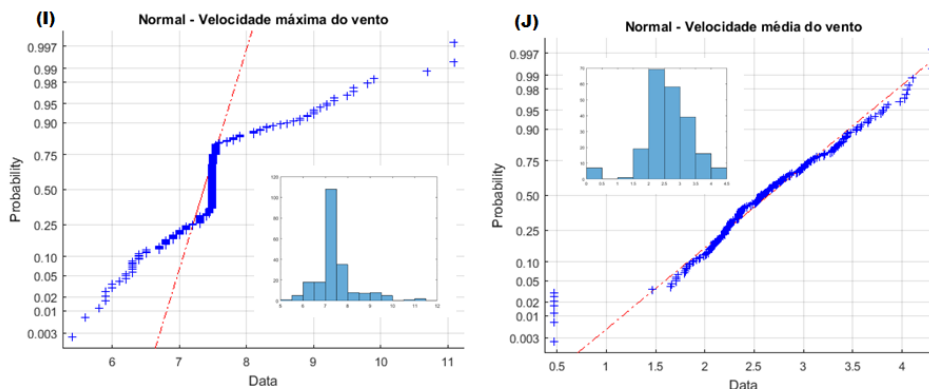
5.1 Pré-Tratamento de Dados

Para verificar a distribuição de frequência de dados de cada série temporal, foi construído gráficos de histograma e de probabilidade normal, possibilitando representar a distribuição de frequência dos dados de cada série temporal, como mostra a Figura 10.

A interpretação da forma do histograma e do gráfico de probabilidade indica que, normalmente, a maior parte dos dados observáveis se concentra em torno da média dos dados e quando se afastam do valor da média, os dados se tornam menos frequentes.

Figura 10 - Probabilidade normal e histograma da distribuição dos dados de cada série temporal.





Fonte: Autor (2016).

Verificando os pontos da distribuição dos dados de cada série temporal observou-se que em sua maioria, não seguem aproximadamente a linha reta (tracejada em vermelho), sendo necessário efetuar a normalização das séries temporais para, posteriormente, computar a transformada wavelet.

5.2 Incidência de Casos de Dengue

No Brasil, a transmissão da dengue vem ocorrendo de forma contínua desde 1986, intercalando-se com a ocorrência de epidemias, geralmente associadas com a introdução de novos serotipos em áreas anteriormente indenes ou alteração do serotipo predominante.

Segundo o Portal da Saúde, nos últimos anos, a epidemiologia da doença apresentou alterações importantes, destacando-se o maior número de casos e hospitalizações com epidemias de grande magnitude, o agravamento do processo de interiorização da transmissão com registro de casos em municípios de diferentes portes populacionais e a ocorrência de casos graves acometendo pessoas em idades extremas, como as crianças e os idosos.

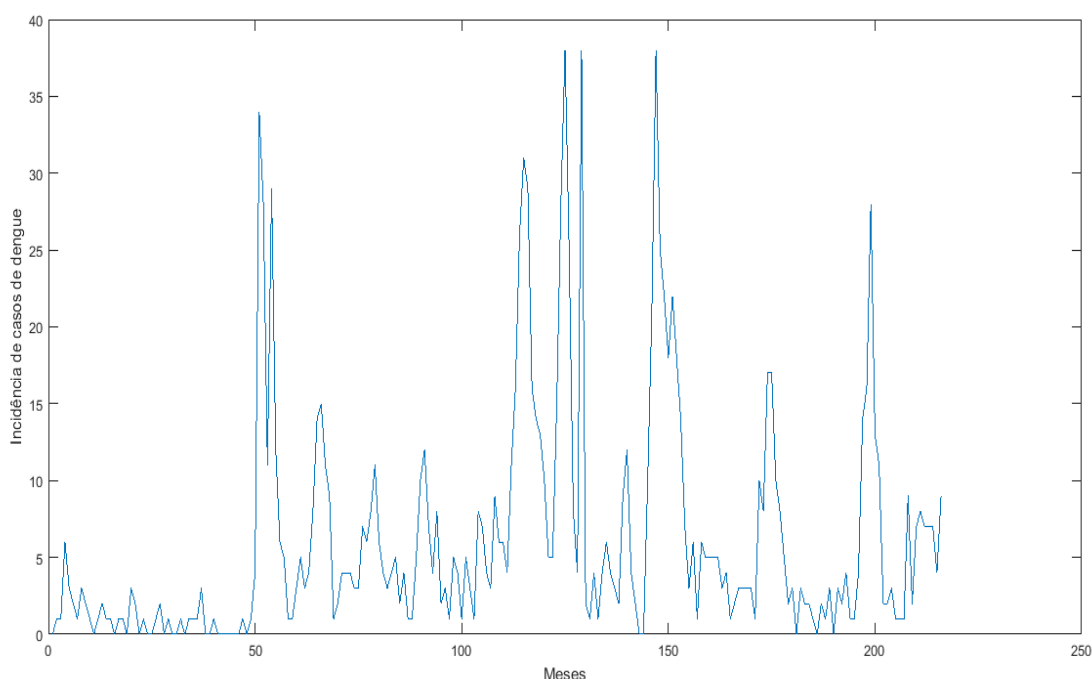
Dentre o período de anos estudados, o maior surto no Brasil ocorreu em 2015, com aproximadamente 2 milhões de casos notificados. Entretanto, o município de Maceió não apresentou aumento na incidência de casos, como verificado na Tabela 2 do Apêndice.

A ocorrência de casos de dengue foi registrada na maioria dos meses estudados, entretanto, o município não apresentou mais que 40 casos de dengue em qualquer mês observado no estudo, como verificado na Figura 11. Para Maceió, foi notificado um total de 1 352 casos. O aumento nos casos de dengue foi observado através de picos de maior incidência,

intercalados com uma variação cíclica concentrada nos meses de março, abril, maio, junho, julho e agosto de cada ano.

Primeiramente, ocorreu um pico correspondente aos meses de março com 34 casos (mês de número 53), abril com 28 casos (mês de número 54) e junho com 29 casos (mês de número 56) no ano de 2002; Posteriormente, ocorreram dois picos correspondentes aos meses de junho com 26 casos (mês de número 116), julho com 31 casos (mês de número 117) e agosto com 29 casos (mês de número 118) no ano de 2007 e aos meses de abril com 28 casos (mês de número 126), maio com 38 casos (mês de número 127), junho com 25 casos (mês de número 128) e setembro com 38 casos (mês de número 131) no ano de 2008. Subsequentemente, a incidência diminuiu no ano de 2009, voltando a aumentar no ano de 2010 com o pico concentrado nos meses de março com 38 casos (mês de número 149) e abril com 25 casos (mês de número 150).

Figura 11 - Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue em Maceió, no período de 1998 a 2015.



Fonte: Autor (2016).

Observou-se também outro pico em julho de 2014 (mês de número 201) com 28 casos de dengue. Esses picos de incidência acompanharam os dados de registros do país, havendo discordância somente quanto aos anos de 2013 e 2015, nos quais os dados do município não apresentaram incidência significativa quando comparados aos índices nacionais. Tais registros

confirmam os dados do Portal da Saúde, o qual afirma que na região das Américas, a dengue tem se disseminado com surtos cíclicos ocorrendo a cada 3 a 5 anos.

É evidente que os anos que apresentaram maior incidência de casos de dengue apresentaram mais meses notificados, chegando a ter praticamente 6 meses seguidos com significativa notificação, de maneira que em todos os anos estudados sempre houve notificação significativa nos meses de maio, junho, julho e agosto.

Após os máximos de incidência, verifica-se que ocorrem quedas e aumento posterior. Nesses anos com menos casos de dengue podem ter ocorrido uma baixa circulação do vírus entre os vetores, assim como a intensidade e frequência das chuvas pode ter prejudicado a reprodução e a proliferação dos mosquitos, uma vez que a precipitação está diretamente envolvida na dispersão e manutenção do vetor, visto a redução dos intervalos de água parada. Como também, os planos de controle e prevenção podem ter tido mais eficiência e o vírus não ter circulado de forma tão intensa como nos outros anos.

5.3 Dengue e Precipitação

No período de estudo, o município de Maceió apresentou um regime pluviométrico bem regular com o acumulado mensal maior nos meses de abril (3 191,3 mm), maio (5 537,8 mm), junho (6 122,7 mm), julho (4 813,3 mm) e agosto (3 555,3 mm), podendo esses valores ser verificados na tabela do Apêndice 2. Com os valores dos acumulados mensais, observou-se que a concentração de casos notificados de dengue esteve maior no período de maior pluviosidade pois. Como mostrado na tabela do Apêndice 1 e também verificado na Figura 12 (A), o período com maior número de casos de dengue ocorreu também nos meses de abril (150 casos), maio (155 casos), junho (184 casos), julho (176 casos) e agosto (141 casos).

Analisando individualmente a relação dos picos de maior incidência de casos de dengue com o regime pluviométrico do município, verificou-se que nos meses de janeiro a junho dos anos de 2002, 2010 e 2014, o acumulado mensal da precipitação variou acima dos 100 milímetros (mm), indicando a ocorrência de significativa precipitação nos meses antecedentes aos meses de março, abril e junho de 2002, março e abril de 2010, e julho de 2014, que foram os meses que apresentaram maior incidência de dengue nos respectivos anos. Nos anos de 2007 e 2008, a variação do acumulado mensal esteve acima dos 200 milímetros entre os meses de

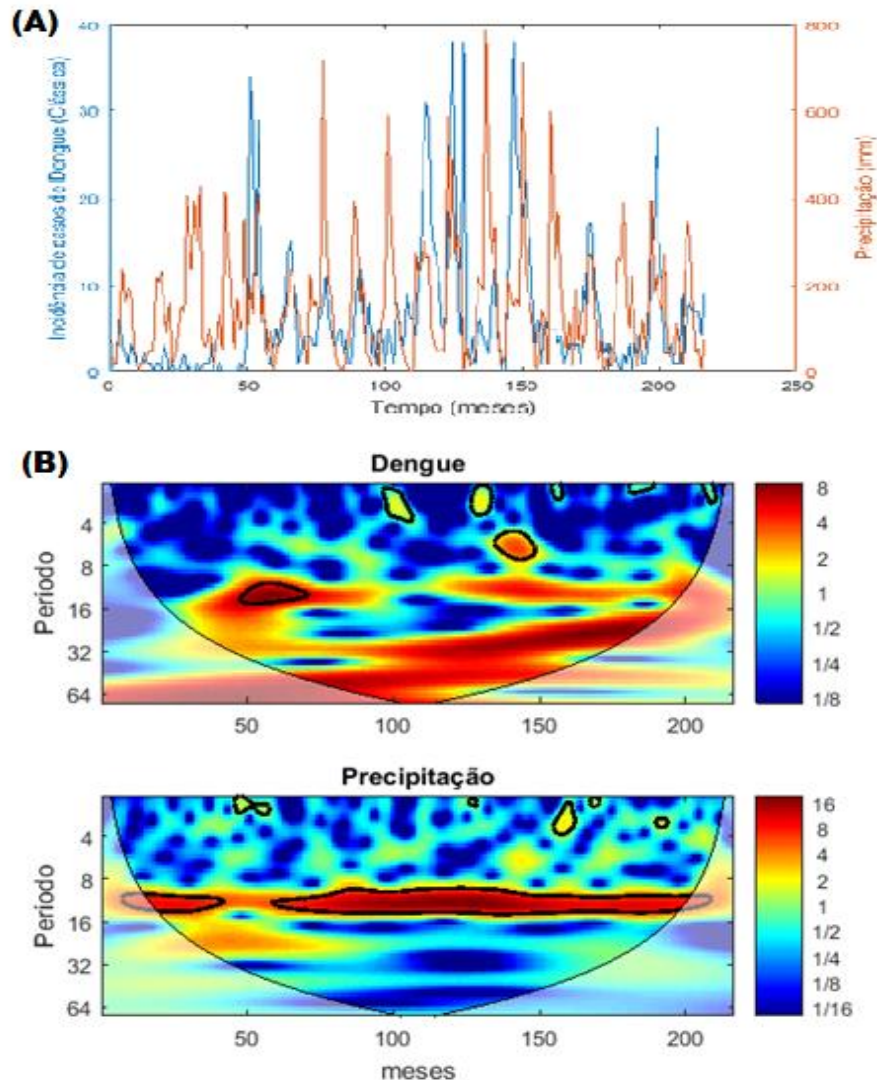
março a agosto, sendo meses que também apresentaram meses antecedentes com significativa precipitação.

Esses dados do município mostram concordância com um padrão denominado de *segundo padrão* de período de ocorrência de casos de dengue, determinado por Glasser e Gomes (2002); os quais afirmam que a sazonalidade do crescimento populacional do *Aedes Aegypti* no Brasil tem levado ao reconhecimento de dois padrões de período de ocorrência de casos de dengue. O primeiro padrão consiste no aumento populacional do vetor ocorrendo durante o verão, quando as chuvas são intensas e esparsas e as temperaturas são elevadas. O segundo padrão tendo sua ocorrência na estação de chuvas mais intensas e contínuas, em regiões onde não se registram quedas bruscas de temperatura durante o inverno, como ocorre na região do Nordeste Brasileiro.

Na Figura 12 (B) é ilustrado o espectro de energia da wavelet contínua, que mostra a potência individual de cada série temporal. No eixo x (abscissa) do espectro de energia é mostrado o comprimento temporal em meses de cada série, e no eixo y (ordenada) é representado o período em meses presentes em cada série, enquanto que a escala de cores indica a energia associada a cada período de cada série. Assim, o espectro de energia da wavelet contínua indica a amplitude observada (em níveis de cores) no tempo (eixo x), de acordo com o período (equivalente à frequência) que contribui para cada série temporal.

Para a série temporal da incidência de dengue, o espectro de potência (energia) individual reflete dois picos significativos de alta energia. O primeiro pico teve grande intensidade na alta escala de 5 a 8 meses localizado temporalmente entre os meses de março de 2009 (mês de número 136) a fevereiro de 2010 (mês de número 147). O segundo pico de máxima variância (maior concentração de energia) esteve associado justamente com a escala de aproximadamente 10 a 13 meses na localização temporal de janeiro de 2002 (mês de número 50) a abril de 2003 (mês de número 65), o que mostra que essa série temporal tem um sinal muito forte anual, podendo ser explicado como um ciclo anual significativo de dengue.

Figura 12 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da precipitação (mm) em Maceió, no período de 1998 a 2015. **(B)** Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a precipitação mensal.



Fonte: Autor (2016).

Observou-se também que no espectro de potência individual da série temporal de incidência de dengue existem regiões de alta energia na escala pluri-anual de 25 a 32 meses, mas não são consideradas como picos significativos por não serem indicadas por contornos pretos grossos, mostrando que essas áreas não estiveram ao nível de confiança de 95 %.

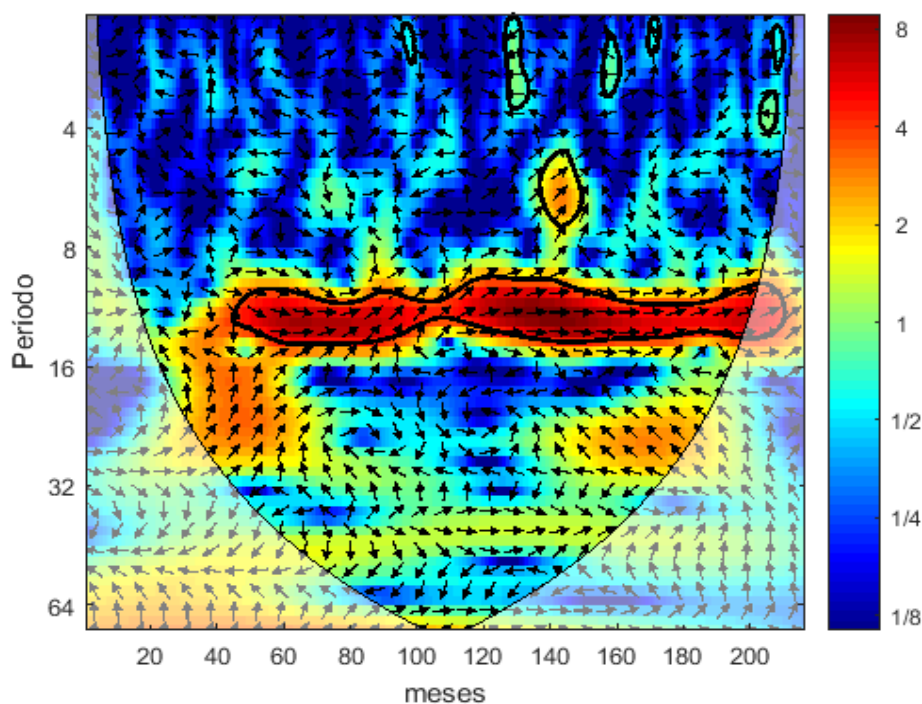
Para a série temporal da precipitação mensal, o espectro de potência individual mostrou dois picos de alta energia (estatisticamente significativa), ambos os picos de aproximadamente 10 a 13 meses. O primeiro pico esteve temporalmente localizado entre os meses de janeiro de

1999 (mês de número 13) a junho de 2001 (mês de número 42). O segundo pico se estendeu desde julho de 2002 (mês de número 55) a agosto de 2014 (mês de número 200).

Depois de localizadas as regiões que apresentam energia mais concentrada no espectro de potência individual da série temporal da precipitação e da incidência de casos de dengue, foi verificada por meio do espectro da wavelet cruzada a possibilidade da ocorrência de alta energia comum entre ambas as séries. Nesse espectro de energia são apresentadas setas que representam a relação de fase existente entre ambas as séries nas regiões que elas apresentam pico de energia de mesma frequência, ou seja, essas setas indicam a posição angular da trajetória do pico.

Desse modo, na Figura 13 verificou-se um único pico significativo de máxima energia comum no período de aproximadamente 10 a 13 meses se estendeu temporalmente desde setembro de 2001 (mês de número 47) a agosto de 2014 (mês de número 200).

Figura 13 - Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a precipitação mensal.



Fonte: Autor (2016).

No entanto, as setas apresentadas nesse pico de máxima energia não mostraram mesma posição angular durante toda a sua localização temporal. Entre setembro de 2001 (mês de número 47) a fevereiro de 2007 (mês de número 111) as setas indicaram que a série temporal da precipitação esteve avançada em 45° da série temporal da incidência de dengue, indicando que a precipitação pode ter influenciado a ocorrência de casos de dengue nesse período. Entre

fevereiro de 2007 (mês de número 111) a agosto de 2014 (mês de número 200), as setas indicaram que ambas as séries estiveram completamente em fase uma com a outra, o que significa que quando o regime pluviométrico aumentou, a incidência de casos de dengue também aumentou; ocorrendo o mesmo entendimento para o decréscimo de ambas as séries.

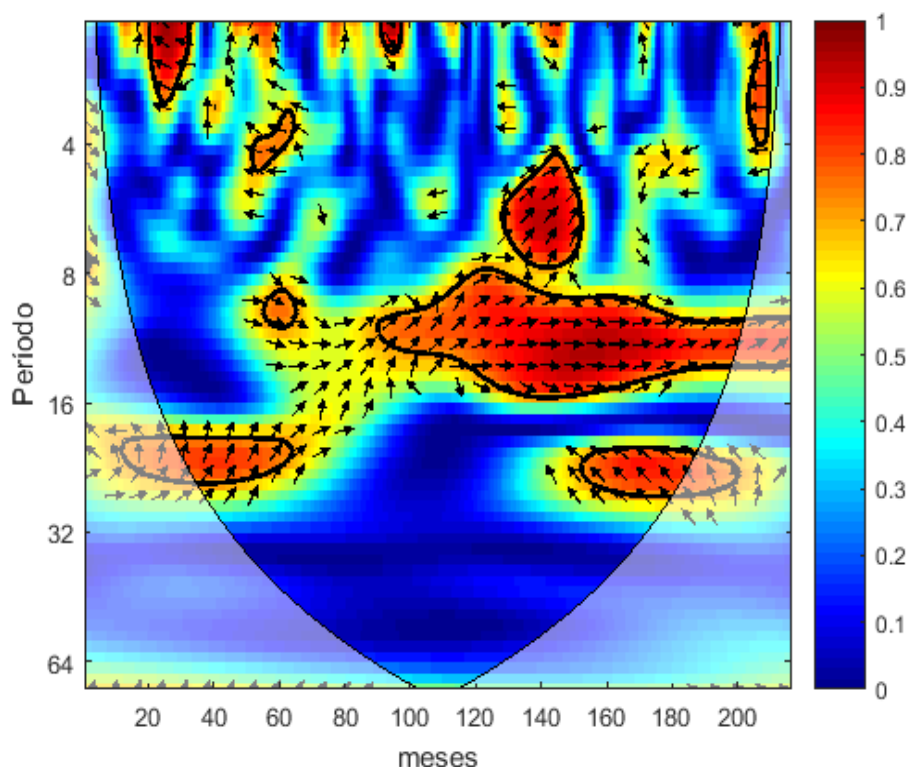
Também foi identificado um pico significativo de baixa energia comum de 5 a 7 meses com localização temporal entre março de 2009 (mês número 136) a dezembro de 2009 (mês número 145), onde as setas indicaram que a série temporal da precipitação esteve avançada em 45° da série temporal da incidência de dengue, indicando que a precipitação também pode ter influenciado a ocorrência de casos de dengue, nesse período.

Posteriormente, por meio do espectro da coerência wavelet verificou-se se a presença de uma determinada frequência em um determinado tempo na incidência de casos de dengue correspondeu à presença da covariável meteorológica precipitação na mesma frequência. O que possibilitou verificar a existência de efeito de causalidade entre as duas séries temporais, medindo a correlação cruzada.

Como as séries temporais não estacionárias têm alterações de frequência ao longo do tempo, é importante ter uma medida de correlação ou coerência no plano tempo-frequência. No espectro da coerência wavelet, a relação de fase é usada para indicar o atraso relativo entre os componentes coerentes, sendo mostrada por setas orientadas em uma direção particular somente nas regiões de elevada coerência, ou seja, nas regiões com intervalos de confiança pré-determinados.

Na Figura 14 observou-se quatro picos de máxima energia e, estes foram analisados separadamente. O primeiro pico apresentou escala de 4 a 7 meses na localização temporal de maio de 2008 (mês de número 126) a janeiro de 2010 (mês de número 146). As setas presentes na região desse pico indicaram que a série temporal da precipitação esteve avançada em 45° da série temporal da dengue, o que significou que a série temporal da dengue respondeu em $1/8$ do período, ou seja, a incidência de casos de dengue começou a aumentar aproximadamente 3 semanas depois do aumento significativo das chuvas. Esse resultado assemelhou-se aos resultados de estudos de Huang *et al.* (2014), em que foi identificado um atraso temporal de 3 semanas para ser um limite importante para chuvas na determinação da incidência de dengue na cidade de Townsville, Austrália.

Figura 14 - Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a precipitação mensal.



Fonte: Autor (2016).

O segundo pico teve grande intensidade de energia na escala de 8 a 15 meses que temporalmente esteve localizado entre maio de 2005 (mês de número 91) a março de 2014 (mês de número 198), com as setas inicialmente indicando que a série temporal da precipitação esteve avançada em 45° da série temporal da dengue, o que significou também que a série temporal da dengue respondeu em $1/8$ do período, ou seja, a incidência de casos de dengue começou a aumentar aproximadamente 3 semanas depois do aumento significativo das chuvas. Posteriormente, as setas indicaram que a série temporal da dengue se apresentou totalmente em fase com a série temporal da precipitação, o que significou que quando o regime pluviométrico aumentou, a incidência de casos de dengue também aumentou; e ocorrendo o mesmo entendimento para o decréscimo.

Esse resultado de pico significativo com aproximadamente 12 meses foi um resultado semelhante aos estudos de Johansson *et al.* (2009) para Porto Rico, México e Tailândia, onde encontraram periodicidade de cerca de 12 meses de forte coerência entre incidência de casos de dengue e a precipitação. Enquanto que, para um estudo em Nova Caledônia (Melanésia,

Oceania), Descloux *et al.* (2012) apontaram que os riscos mais altos de casos de dengue foram identificados de 9 a 16 semanas depois do aumento significativo da precipitação na região.

Uma terceira e quarta região apresentou variância mais significativas nas escalas de 20 a 24 meses, estando temporalmente localizadas entre os meses de janeiro de 2000 (mês de número 27) a maio de 2003 (mês de número 67), com as setas indicando que a série temporal da precipitação esteve avançada em 45° da série temporal da dengue, de maneira que a série temporal da dengue respondeu em 1/8 do período, caracterizando também um período de atraso de aproximadamente 2 a 3 semanas; depois, esse máximo de variância apresentou forte queda nas áreas adjacentes, voltando a apresentar grande intensidade de energia entre os meses de maio de 2010 (mês de número 151) a maio de 2013 (mês de número 187), com mesma escala de 20 a 24 meses. Entretanto, para essa última localização temporal, as setas indicaram que a série temporal da precipitação esteve avançada em 135° da série temporal da dengue, ou seja, a série temporal da dengue respondeu em 3/8 do período. Nisso, a incidência de casos de dengue começou a aumentar aproximadamente 7 a 9 semanas depois do aumento significativo das chuvas.

Em um estudo prévio em Singapura, Hii *et al.* (2009) mostraram que para uma escala de vários anos, a precipitação acumulada mensal influenciou o aumento de riscos de casos de dengue com 5 a 20 semanas de tempo de atraso. Enquanto em estudo no México, Johansson *et al.* (2009) afirmaram que a precipitação não apresentou correlação com a incidência de dengue quando analisadas em escalas de vários anos.

Esses resultados aqui apresentados se configuraram semelhantes aos resultados encontrados na literatura, em que se pode concluir que o aumento da precipitação influencia o aumento da incidência de casos de dengue, aproximadamente 3 semanas depois.

Deve-se salientar que as chuvas não só aumentam significativamente o número de criadouros disponíveis para o desenvolvimento dos estágios imaturos do vetor, como também gera condições ambientais mais adequadas para o desenvolvimento de mosquitos adultos, o que favorece o aumento populacional do vetor e consequentemente o número de pessoas infectadas.

5.4 Dengue e Nebulosidade

A nebulosidade é uma variável também relacionada nos diversos estudos que associam a incidência de casos de dengue e as variáveis meteorológicas, pois os dias nublados apresentam

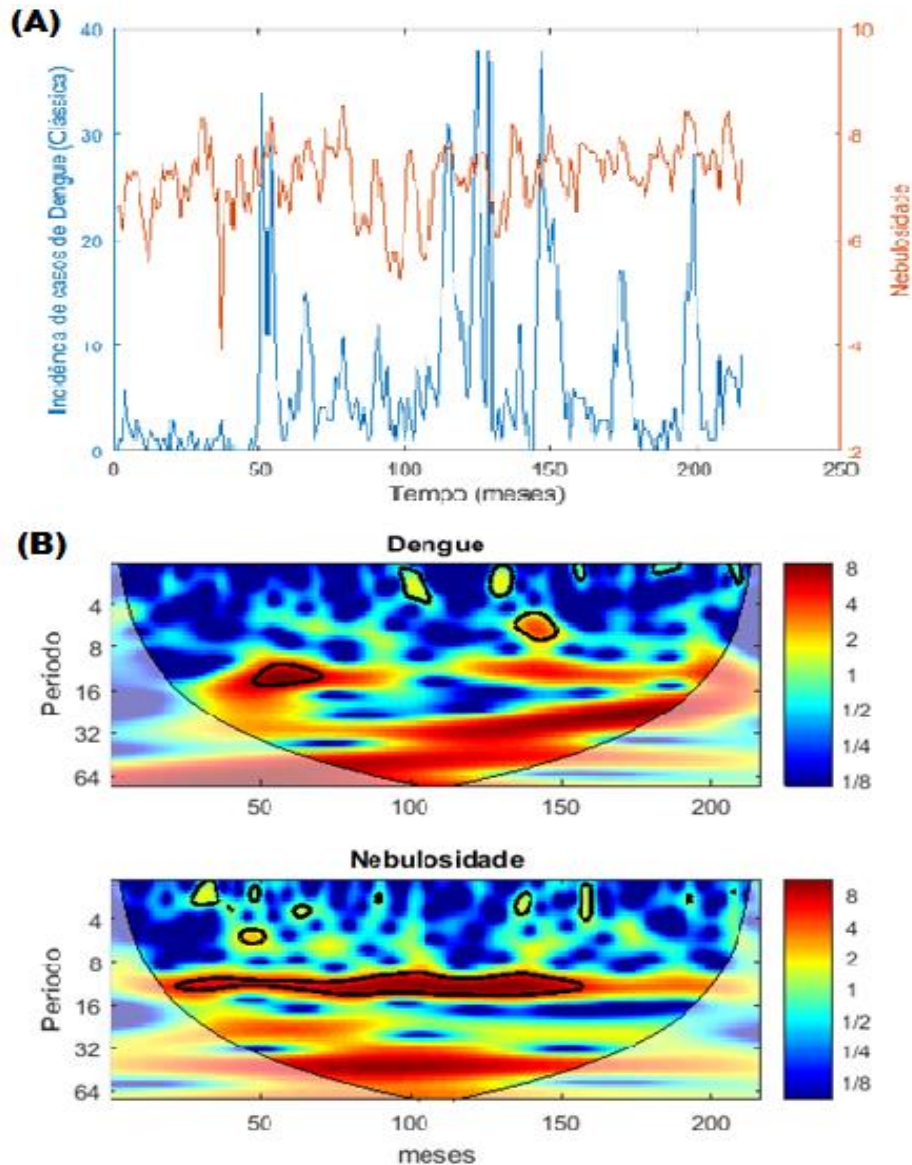
baixa luz do sol, fazendo com que os vetores fiquem propícios a se alimentarem não somente às horas habituais do amanhecer e anoitecer, mas ao longo de todo o dia, especialmente se eles estiverem dentro de casa; o que leva a aumentar o número de casos de dengue.

Os valores apresentados na Figura 15 (A) mostram que durante todo o período estudado a nebulosidade variou entre 6.68 e 7.86. Na tabela do Apêndice 3, pode ser verificado que os meses com valores mais altos são os meses de maio (7.55), junho (7.86), julho (7.72) e agosto (7.59), caracterizando esses meses como períodos em que o céu esteve encoberto com maior cobertura de nuvens. Nesses mesmos meses, o município também apresentou os valores de incidência de casos de dengue.

Após verificadas as informações normais da série não normalizada, as informações sobre a amplitude (em níveis de cores) e a escala temporal das flutuações com maior ou menor quantidade de energia presentes na série temporal da nebulosidade são mostradas na Figura 15 (B), que ilustra a análise do espectro wavelet contínua. Ressaltando que as informações do espectro referentes à série temporal da incidência de casos de dengue já foram discutidas anteriormente.

No espectro referente à série temporal da nebulosidade na Figura 15 (B) foi detectado um único pico com grande intensidade de energia na escala de aproximadamente 10 a 13 meses localizado temporalmente entre os meses de agosto de 1999 (mês de número 20) e novembro de 2010 (mês de número 155). Assim como nas análises das variáveis anteriores, também se observou que escalas plurianuais de aproximadamente 32 a 48 meses ocorreram de modo forte e significativo através do tempo, entretanto, foram regiões também negligenciadas por não serem indicadas por contornos pretos grossos, mostrando que essas áreas não estiveram ao nível de confiança de 95 %.

Figura 15 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da nebulosidade em Maceió, no período de 1998 a 2015. **(B)** Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a nebulosidade mensal.



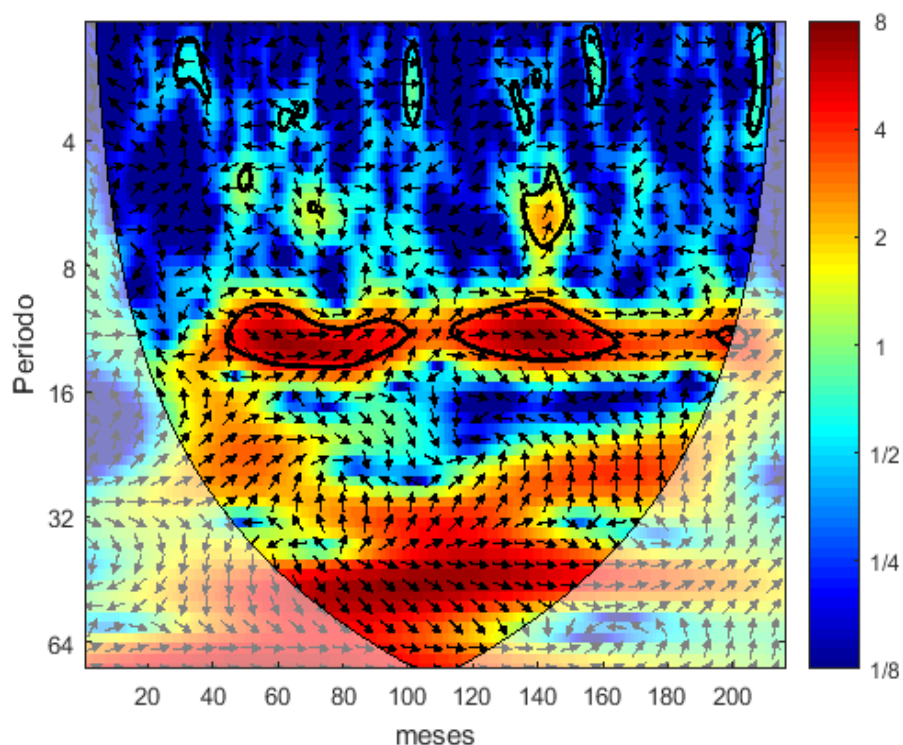
Fonte: Autor (2016).

Após analisar os espectros individuais, na Figura 16 são apresentadas as regiões onde a série temporal de incidência de dengue apresentou mesma variância que a série temporal da nebulosidade, na qual foram identificados dois picos significativos de mesma escala de 10 a 14 meses, entretanto, com localizações temporais distintas.

O primeiro pico esteve temporalmente localizado entre os meses de novembro de 2011 (mês de número 45) a abril de 2006 (mês de número 100), com as setas indicando que a série

temporal da nebulosidade esteve avançada em 45° da série temporal de incidência de dengue, significando que a nebulosidade pode ter influenciado o aumento da ocorrência de casos de dengue nesse período. O segundo pico ocorreu entre os meses de julho de 2007 (mês de número 115) a setembro de 2011 (mês de número 165), no entanto, as setas indicaram que a série temporal de incidência de dengue esteve avançada em 45° da série temporal da nebulosidade, de modo que a nebulosidade não teve influência sobre a incidência de casos de dengue nesse período.

Figura 16 - Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a nebulosidade mensal.



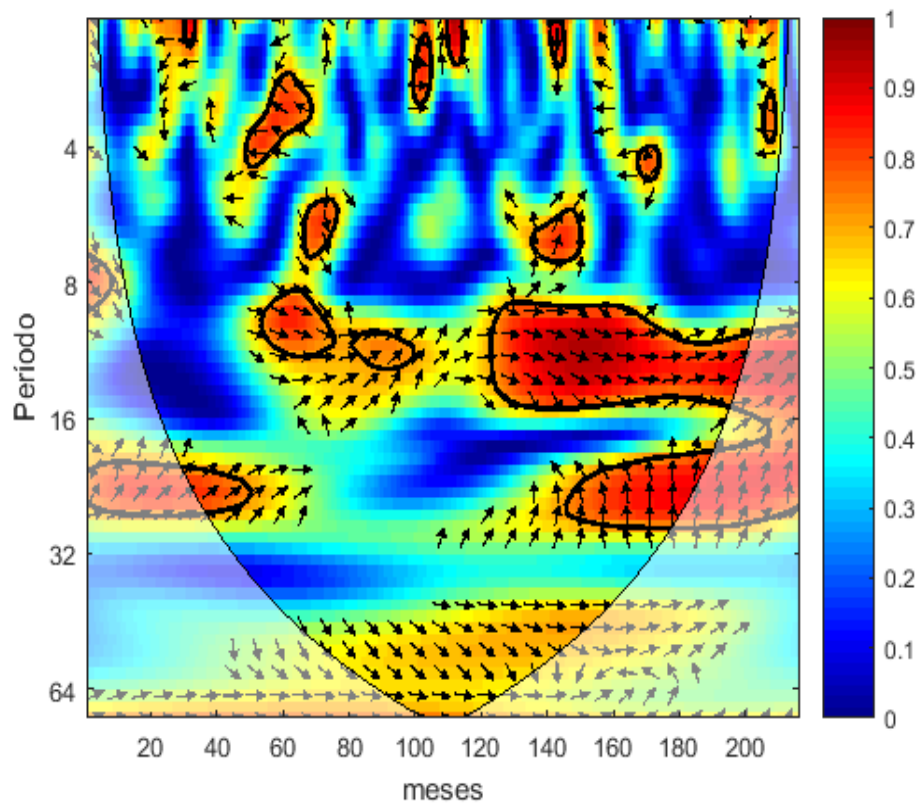
Fonte: Autor (2016).

Depois de verificadas as regiões de alta energia comum entre as duas séries temporais, foi verificado espectro de correlação, ilustrado na Figura 17, para determinar as regiões que apresentaram mesma frequência em determinado tempo tanto na série de incidência de dengue quanto na série de nebulosidade, mostrando que as duas séries apresentaram muitas regiões significativas de alta energia.

Observou-se um primeiro pico com escala de 2 a 4 meses na localização temporal de setembro de 2001 (mês de número 45) e outubro de 2003 (mês de número 70). As setas indicando que a série temporal da nebulosidade esteve avançada em 135° da série temporal de

incidência de dengue, onde a série de incidência de dengue respondeu em $3/8$ do período, ou seja, período de grande cobertura de nuvens no céu influenciou o aumento de casos notificados de dengue cerca de a aproximadamente 6 a 7 semanas depois.

Figura 17 - Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a nebulosidade mensal.



Fonte: Autor (2016).

O segundo pico teve intensa energia na alta escala de 9 a 12 meses localizado entre os meses de abril de 2002 (mês de número 52) e março de 2004 (mês de número 75) com setas indicando que a série de incidência de dengue esteve avançada em 45° da série da nebulosidade, com a série da nebulosidade respondendo em $1/8$ do período, ou seja, apresentou um tempo de atraso de aproximadamente de 4 a 9 semanas em relação à série temporal de casos de dengue.

Um terceiro pico foi identificado com escala de 9 a 15 meses na localização temporal de dezembro de 2007 (mês de número 120) a março de 2014 (mês de número 195) com as setas, inicialmente, indicando que a série de incidência de dengue esteve avançada em 45° da série de nebulosidade; onde a série de nebulosidade responde em $1/8$ do período, ou seja, uma vez que apresentou defasamento temporal de 5 a 12 semanas, a nebulosidade não influenciou a incidência de casos de dengue, nesse período. Posteriormente, para o mesmo pico as setas

indicaram que a série de incidência de dengue esteve completamente em fase com a série de nebulosidade, o que significou que quando a nebulosidade aumentou, a incidência de casos de dengue também aumentou, ocorrendo o mesmo entendimento para o decréscimo.

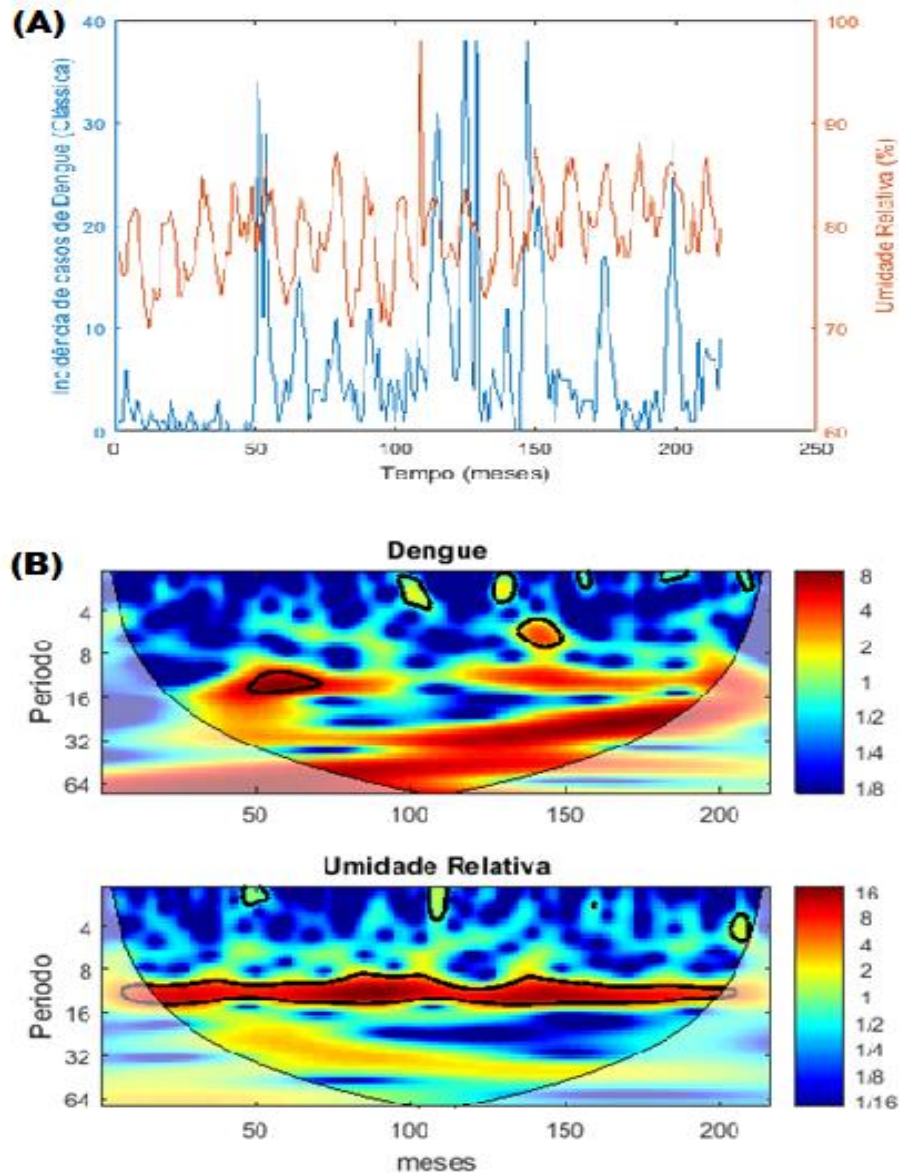
De modo geral, a nebulosidade não apresentou influência na incidência de casos de dengue quando analisados os picos de 9 a 15 meses, no entanto, a mesma variável mostra ter possível influência sobre a incidência de casos de dengue no pico com escala menor que 6 meses.

5.5 Dengue e Umidade Relativa do Ar

Para o município de Maceió, os valores da umidade relativa do ar apresentaram média mensal acima de 70 % em praticamente todos os meses estudados, com os maiores valores médios nos meses de maio (82.34 %), junho (84.36 %), julho (84.03 %) e agosto (82.71 %), como verificado na tabela do Apêndice 4. Esses valores demonstraram que a região de estudo apresentou ambiente com faixa adequada de umidade relativa do ar para proporcionar maior velocidade de desenvolvimento, maior longevidade e fecundidade do mosquito vetor, uma vez que os insetos tendem a se movimentar ao longo da faixa mais favorável de umidade relativa (40 a 80 %) para evitar os excessos ou a falta de umidade, pois em um ambiente seco ocorre a dessecação dos tecidos e em um ambiente muito úmido pode ocorrer afogamentos dos insetos, como afirma Rodrigues (2004). Assim como ocorreu com as variáveis precipitação e nebulosidade, a umidade relativa do ar apresentou seus maiores valores no período entre os meses de maio a agosto, justamente o período com mais casos notificados de dengue.

Na Figura 18 (B), verificando o espectro de potência individual da série temporal da umidade relativa do ar, identificou-se um pico único de grande intensidade de energia com escala de 10 a 14 meses ao longo de toda localização temporal, estendendo desde dezembro de 1998 (mês de número 13) e agosto de 2014 (mês de número 200), caracterizando um ciclo anual para a umidade relativa do ar.

Figura 18 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da umidade relativa do ar. **(B)** Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a umidade relativa mensal.



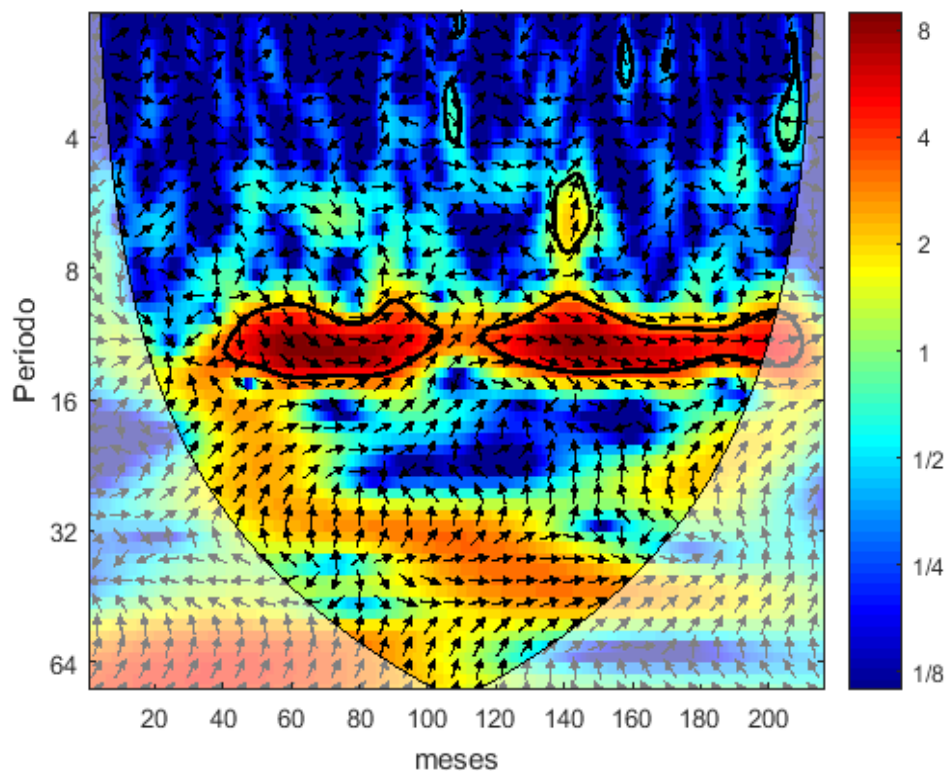
Fonte: Autor (2016).

É importante observar que para a série temporal da incidência de dengue, o espectro de potência individual se mostra igual para todas as relações das séries das variáveis meteorológicas.

Quando verificada a Figura 19 relacionada à computação das regiões com alta energia comum entre ambas as séries, observou-se duas regiões com alta variância comum. O primeiro pico apresentou escala de 10 a 14 meses que se estendeu desde abril de 2001 (mês de número 40) a abril de 2006 (mês de número 100), a qual diminuiu e, posteriormente, apresentou

aumento em direção ao segundo pico que também teve escala de 10 a 14 meses, no entanto, com localização temporal entre os meses de setembro de 2007 (mês de número 117) e agosto de 2014 (mês de número 200). No primeiro pico as setas indicaram que a série de incidência de casos de dengue esteve avançada em 45° da série da umidade relativa, mostrando que esta variável não mostrou influência, inicialmente. No segundo pico, as setas também indicaram que a série da umidade relativa continuou sem mostrar influência sobre a incidência de casos de dengue, nesse período.

Figura 19 - Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a umidade relativa mensal.



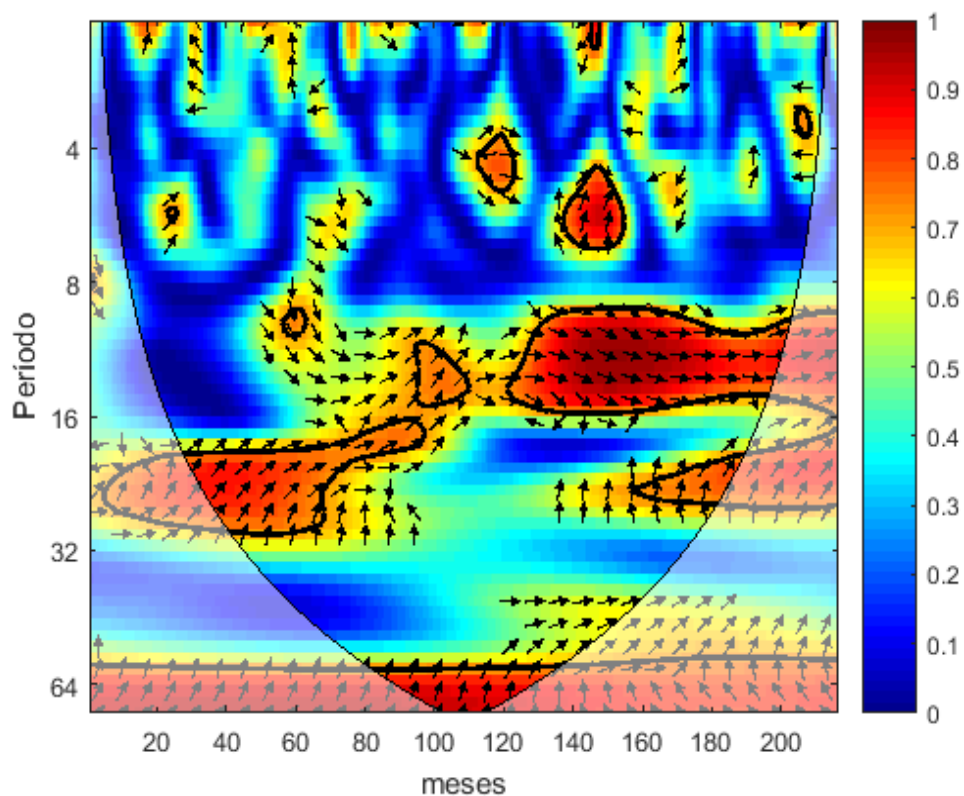
Fonte: Autor (2016).

O espectro da coerência wavelet referente à correlação entre as séries de incidência de dengue e a umidade relativa do ar, ilustrado na Figura 20, apresentou um pico máximo de variância associado com uma escala de 10 a 14 meses que se estendeu de dezembro de 2007 (mês de número 120) a agosto de 2014 (mês de número 200), no qual as setas indicaram que inicialmente a série de incidência de dengue esteve avançada em 45° da série da umidade relativa; ou seja, a série da umidade relativa respondeu em $1/8$ do período; desse modo, a

umidade relativa não influenciou a incidência de casos de dengue pois apresentou um defasamento temporal de 6 a 11 semanas.

Outro pico apresentou grande intensidade de energia em uma periodicidade de 12 a 14 meses estendendo de junho de 2000(mês de número 31) a junho de 2005 (mês de número 90), com as setas mostrando que a série da umidade relativa esteve avançada em 45° da série de incidência de dengue; assim, série de dengue respondeu em 1/8 do período, o que significa que um determinado período de alta umidade relativa do ar influenciou a incidência de casos de dengue aproximadamente 7 a 11 semanas depois.

Figura 20 - Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a umidade relativa mensal.



Fonte: Autor (2016).

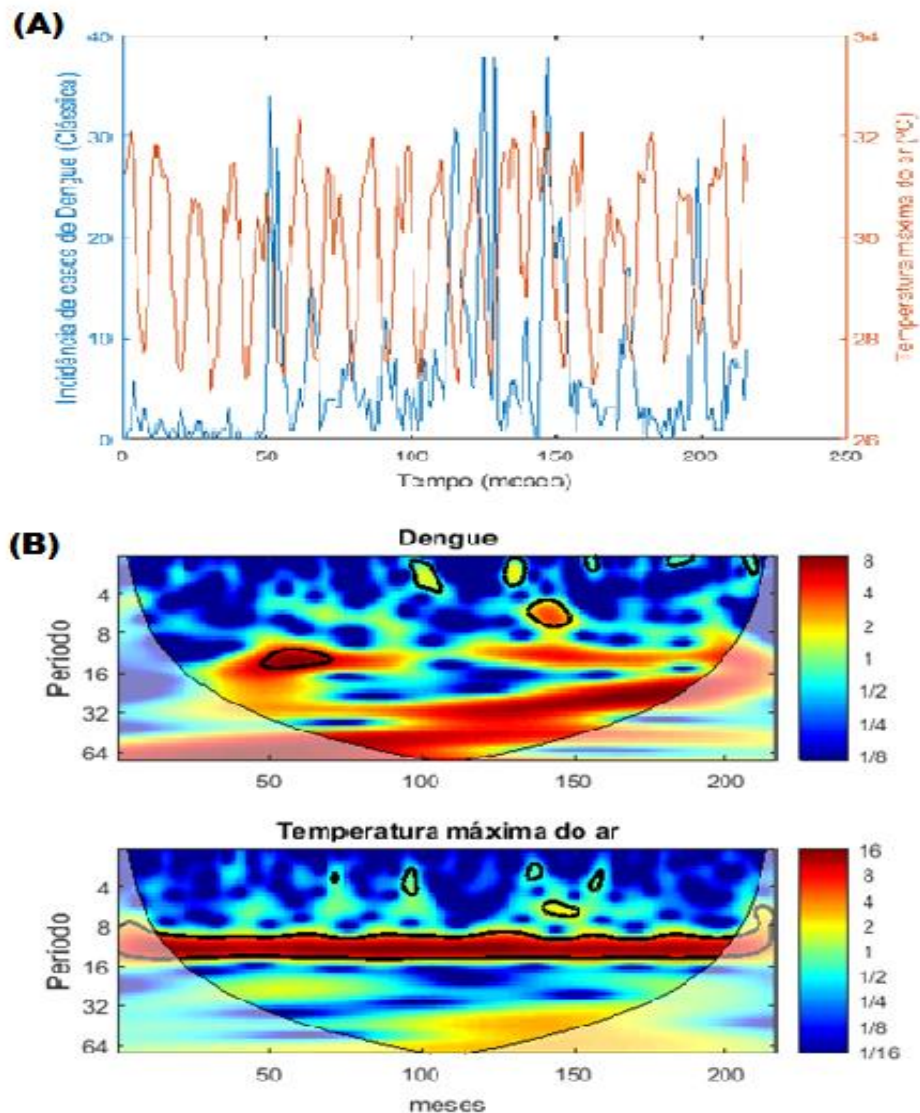
5.6 Dengue e Temperatura do Ar

Devido a temperatura ambiente ter um impacto significativo no tamanho da população, no período de maturação (*período extrínseco*), na atividade hematofágica da fêmea *Aedes Aegypti* e na taxa de sobrevivência do vetor, tornou-se uma variável muito analisada nos estudos

de correlações envolvendo patologias gerais das regiões tropicais e subtropicais como a dengue. Seguindo a literatura, também será analisada no presente estudo, a série temporal da temperatura (máxima, média e mínima) do ar.

Logo, a Figura 21 (A) apresenta a série de dados não normalizados referentes à temperatura máxima do ar de todo o período estudado. Na tabela do apêndice 5 pode-se verificar que os menores valores estiveram entre os meses de junho (28.17 °C), julho (27.48 °C) e agosto (27.56 °C), sendo meses inseridos dentro do período de maior incidência de casos de dengue para o município.

Figura 21 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da temperatura máxima do ar. **(B)** Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a temperatura máxima mensal do ar.



No espectro de potência individual da temperatura máxima do ar, ilustrado na Figura 21 (B), é apresentado um pico único de alta potência com escala de aproximadamente 10 a 14 meses ao longo de toda localização temporal, estendendo desde dezembro de 1998 (mês de número 13) e agosto de 2014 (mês de número 200), caracterizando um ciclo anual para a temperatura máxima do ar, assim como foi caracterizado no espectro de potência individual da umidade relativa do ar.

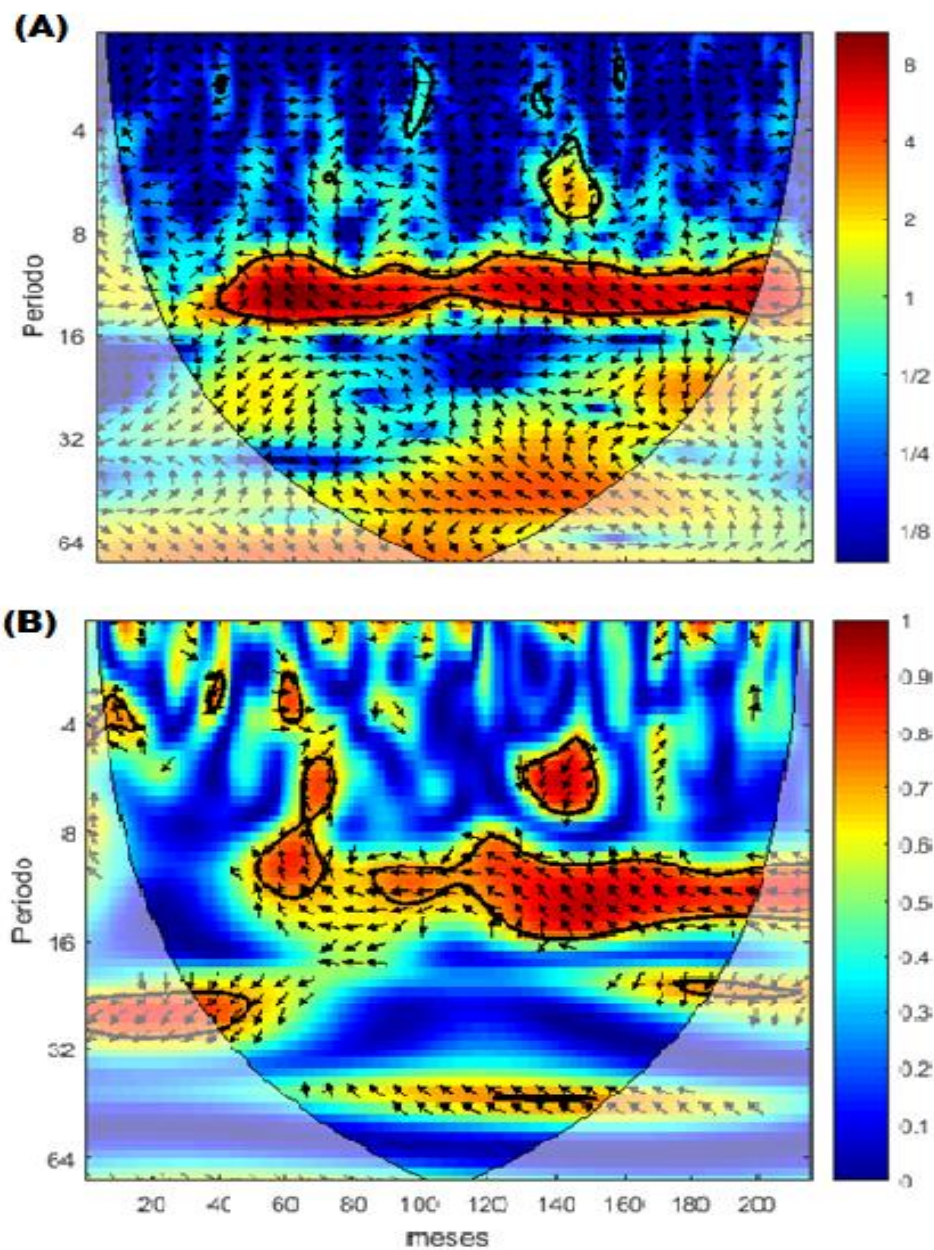
O espectro cruzado de potência comum das duas séries temporais, apresentado na Figura 22 (A), mostrou um pico único contínuo de alta energia comum entre as duas séries temporais, que inicialmente apresentou uma escala de aproximadamente 10 a 14 meses e se estendeu na temporalmente entre os meses de abril de 2001 (mês de número 40) a novembro de 2005 (mês de número 95). Nesse período as setas indicaram que série temporal da temperatura máxima do ar esteve avançada em 135° da série de casos de dengue, ou seja, influenciou o aumento de incidência de casos. Entretanto, o pico apresentou uma queda e, posteriormente, este mesmo pico contínuo aumentou sua escala para aproximadamente 10 a 15 meses com localização temporal entre os meses de julho de 2007 (mês de número 115) a março de 2014 (mês de número 195), onde as setas também mostraram que série temporal da temperatura máxima do ar esteve avançada em 135° da série de casos de dengue, ou seja, influenciou o aumento de incidência de casos.

Na Figura 22 (B), referente à correlação entre as séries de incidência de dengue e a temperatura máxima do ar, observou-se que as séries apresentaram um pico de alta energia comum correlacionada na escala de 5 a 7 meses localizado entre os meses de outubro de 2008 (mês de número 130) a janeiro de 2010 (mês de número 145), com as setas denotando que série de incidência de dengue esteve avançada em 135° da série da temperatura máxima; de maneira que a série da temperatura máxima responde em $3/8$ do período. Ou seja, para essa escala a temperatura máxima do ar refletiu um atraso temporal de aproximadamente 7 a 10 semanas, o que significa que não exerceu influência sobre a incidência de casos.

Um segundo pico de alta energia comum correlacionada foi identificado com escala de 10 a 12 meses e as setas indicando que as séries estiveram em fase opostas, significando que com o aumento da temperatura máxima a incidência de casos tende a diminuir. Posteriormente, este mesmo pico aumentou para uma escala de 10 a 15 meses com as setas denotando que a série da temperatura máxima esteve avançada em 135° da série de incidência da dengue; de modo que a série de incidência de dengue responde em $3/8$ do período, ou seja, apresentou aproximadamente 15 a 20 semanas de atraso de tempo. Observando que toda essa região

descrita se estendeu desde junho de 2005 (mês de número 90) a outubro de 2013 (mês de número 190).

Figura 22 - (A) Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura máxima mensal do ar. **(B)** Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura máxima mensal do ar.

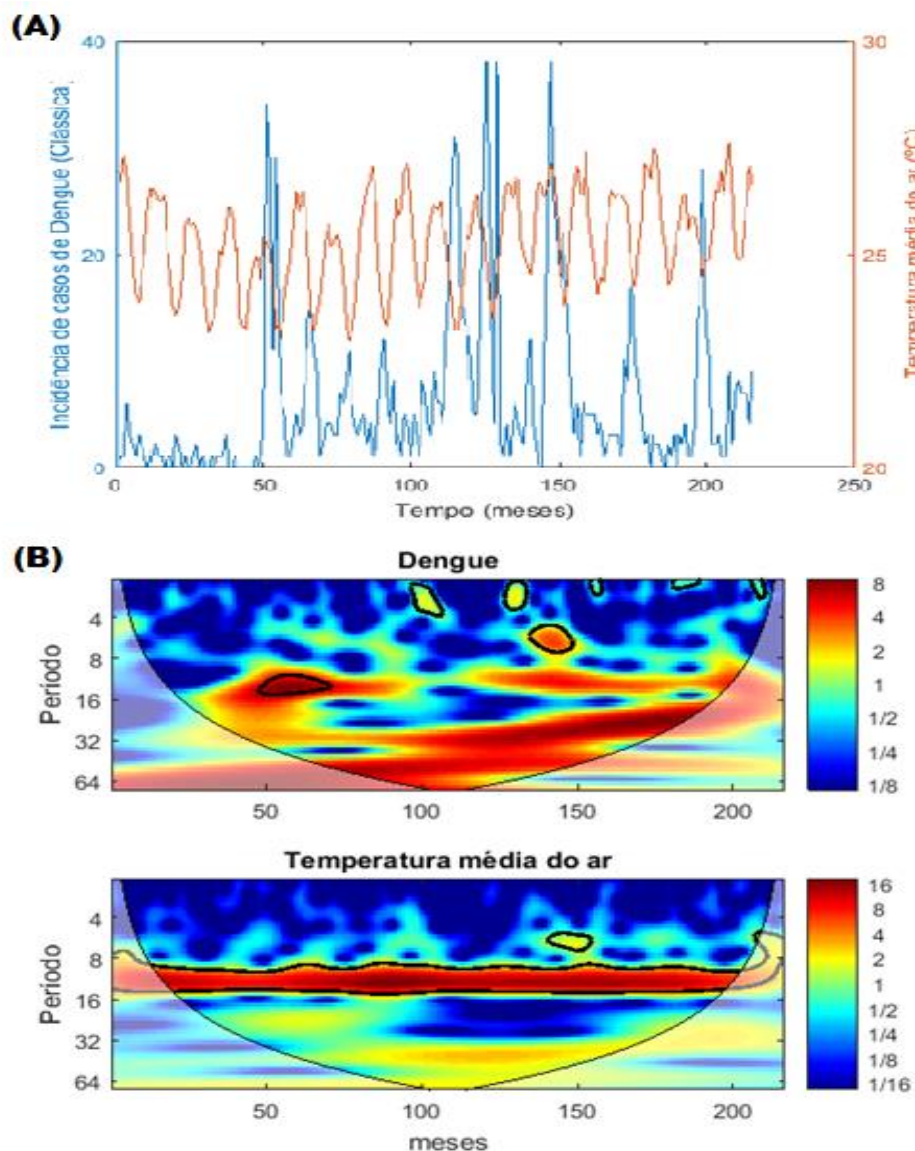


Fonte: Autor (2016).

Para a temperatura média do ar, o espectro de potência individual, ilustrado na Figura 23 (B), também apresentou um pico único contínuo de alta potência positiva, numa escala de

aproximadamente 8 a 14 meses ao longo de toda localização temporal, estendendo desde dezembro de 1998 (mês de número 13) a agosto de 2014 (mês de número 200), e caracterizando um ciclo anual para a temperatura média do ar, assim como foi caracterizado no espectro de potência individual da temperatura máxima do ar e umidade relativa do ar.

Figura 23 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da temperatura média do ar. **(B)** Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a temperatura média mensal do ar.



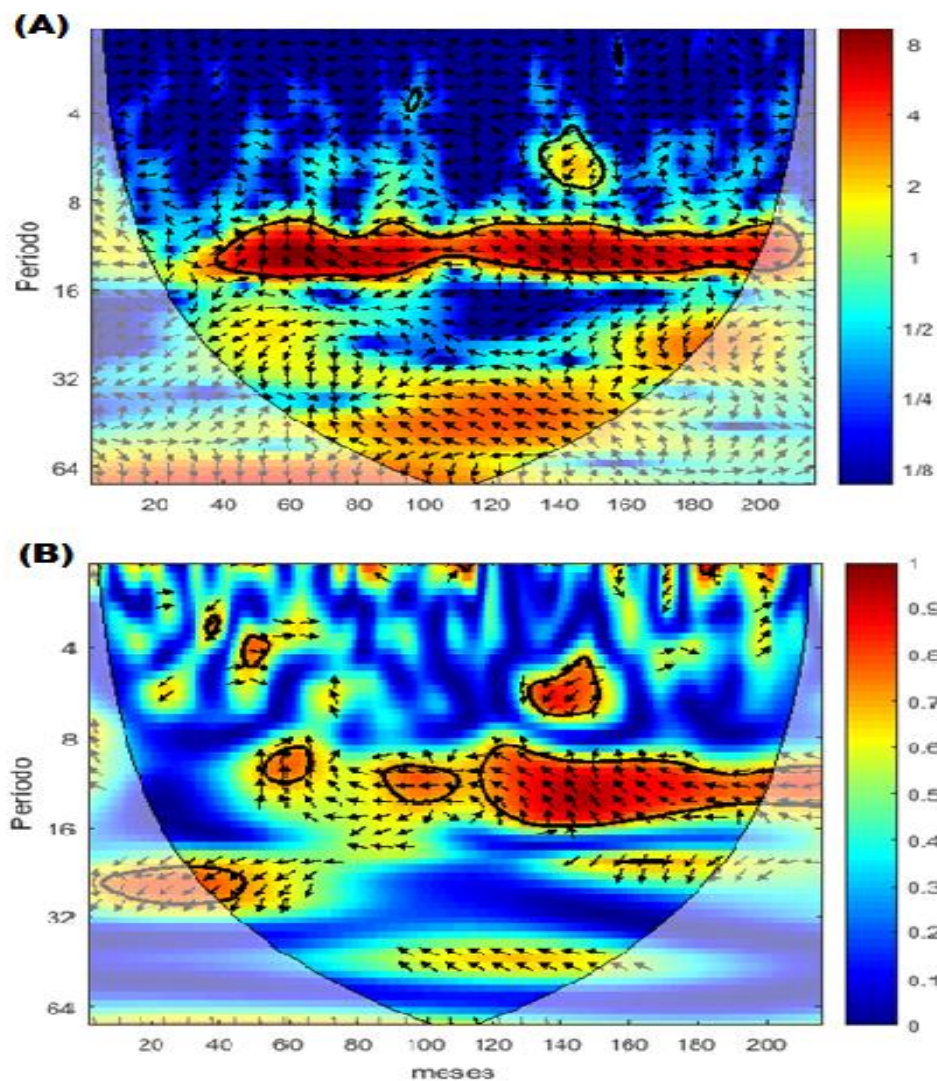
Fonte: Autor (2016).

Verificando a tabela inserida no Apêndice 6, as médias de valores mensais da temperatura média apresentaram valores maiores nos meses de janeiro (26.37 °C), fevereiro

(26.33 °C), março (26.43 °C) e dezembro (26.22 °C), não estando dentre os meses de maior incidência de casos de dengue, como as outras variáveis meteorológicas, abordadas anteriormente.

Quando verificada a Figura 24(A) relacionada à computação das regiões com alta energia comum entre ambas as séries, observou-se um pico com escala de 10 e 14 meses na localização temporal de outubro de 2000 (mês de número 35) a agosto de 2014 (mês de número 200).

Figura 24 - (A) Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura média mensal do ar. **(B)** Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura média mensal do ar.



Fonte: Autor (2016).

Depois de verificadas as regiões de alta potência significativa comum entre as duas séries temporais foi calculada a correlação, ilustrada na Figura 24 (B). Ressaltando que o intuito é determinar as regiões que apresentaram mesma frequência em determinado tempo tanto na série de incidência de dengue quanto na série de temperatura média do ar, mostrando que as duas séries apresentaram muitas regiões significativas com valores altos de coeficiente.

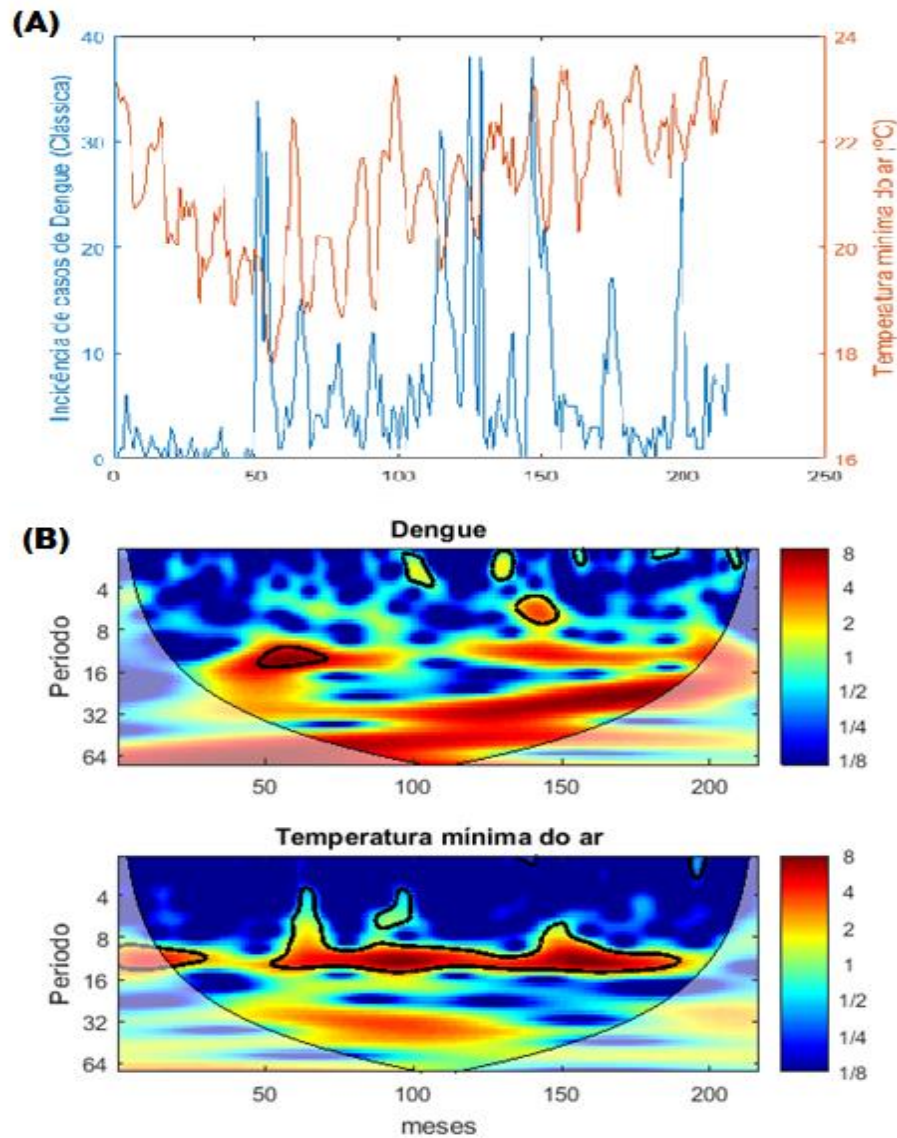
Primeiramente, observou-se uma região de alta potência com escala de 5 a 7 meses se estendendo entre setembro de 2008 (mês de número 130) a dezembro de 2009 (mês de número 145), onde as setas apontaram que série de incidência de dengue esteve avançada em 135° da série temperatura média do ar; significando que a temperatura média apresentou um atraso temporal de 6 a 10 semanas, portanto não apresentou influência na incidência de casos de dengue.

Outro pico com grande intensidade de energia apresentou escala de 9 a 15 meses na localização temporal de julho de 2007 (mês de número 115) a agosto de 2014 (mês de número 200); onde as setas apontaram que série da temperatura média esteve avançada em 135° da série de incidência de dengue; correspondendo a aproximadamente 12 a 20 semanas de atraso de tempo da dengue.

Esse último resultado de atraso de tempo mostrou concordância com o resultado de um estudo prévio de Hii *et al.* (2009), que mostraram que a temperatura média semanal apresentou influência de risco nos casos de dengue em Singapura, com tempo de espera de até 20 semanas, estando os maiores riscos relativos de casos de dengue no intervalo de tempo de 12 a 16 semanas.

O espectro de potência individual da série temporal da temperatura mínima do ar, ilustrado na Figura 25 (B), apresentou uma região contínua de alta potência e periodicidade entre 9 a 12 meses com localização temporal de fevereiro de 2002 (mês de número 50) a julho de 2012 (mês de número 175).

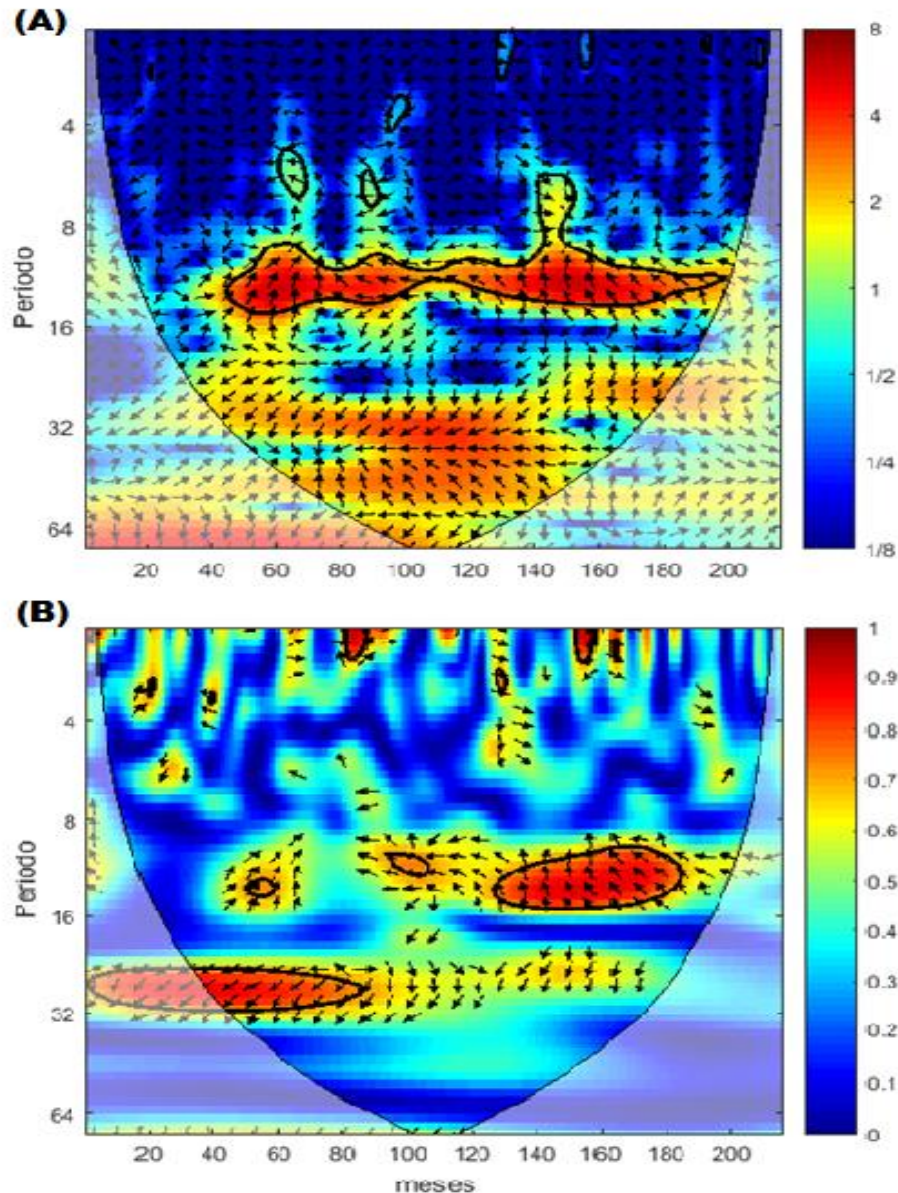
Figura 25 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da temperatura mínima do ar. **(B)** Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a temperatura mínima mensal do ar.



Fonte: Autor (2016).

Enquanto que o espectro cruzado de potência comum entre as duas séries, ilustrado na Figura 26 (A), se configurou semelhantemente ao espectro de potência individual, de modo que também foi observada uma única região contínua de alta potência estatisticamente significativa, que se estendeu desde setembro de 2001 (mês de número 45) a agosto de 2014 (mês de número 200).

Figura 26 - (A) Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura mínima mensal do ar. **(B)** Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a temperatura mínima mensal do ar.



Fonte: Autor (2016).

Para a correlação cruzada entre ambas as séries, apresentada na Figura 26 (B), observou-se duas regiões de alta potência no espectro de potência. A primeira região com escala de 9 a 14 meses, foi identificada na localização temporal entre maio de 2008 (mês de número 125) a dezembro de 2012 (mês de número 180) com as setas, inicialmente, indicando que a série da temperatura mínima esteve avançada em 90° da série de incidência de dengue; onde a série de incidência de dengue responde em $1/4$ do período, correspondendo a um atraso temporal de 9

a 14 semanas. Posteriormente, as setas denotaram que série da temperatura mínima do ar esteve avançada em 135° da série de incidência de dengue; e, que a série de incidência de dengue apresentou de 14 a 20 semanas de defasamento temporal.

A segunda região apresentou escala de 25 a 31 meses, estendendo-se de outubro de 2010 (mês de número 35) a janeiro de 2005 (mês de número 85), também com coeficiente alto (0.9), e setas indicando que série de incidência de dengue esteve avançada em 135° da série da temperatura mínima do ar; de maneira que a série da temperatura mínima do ar apresentou atraso de tempo de 9 a 11 meses.

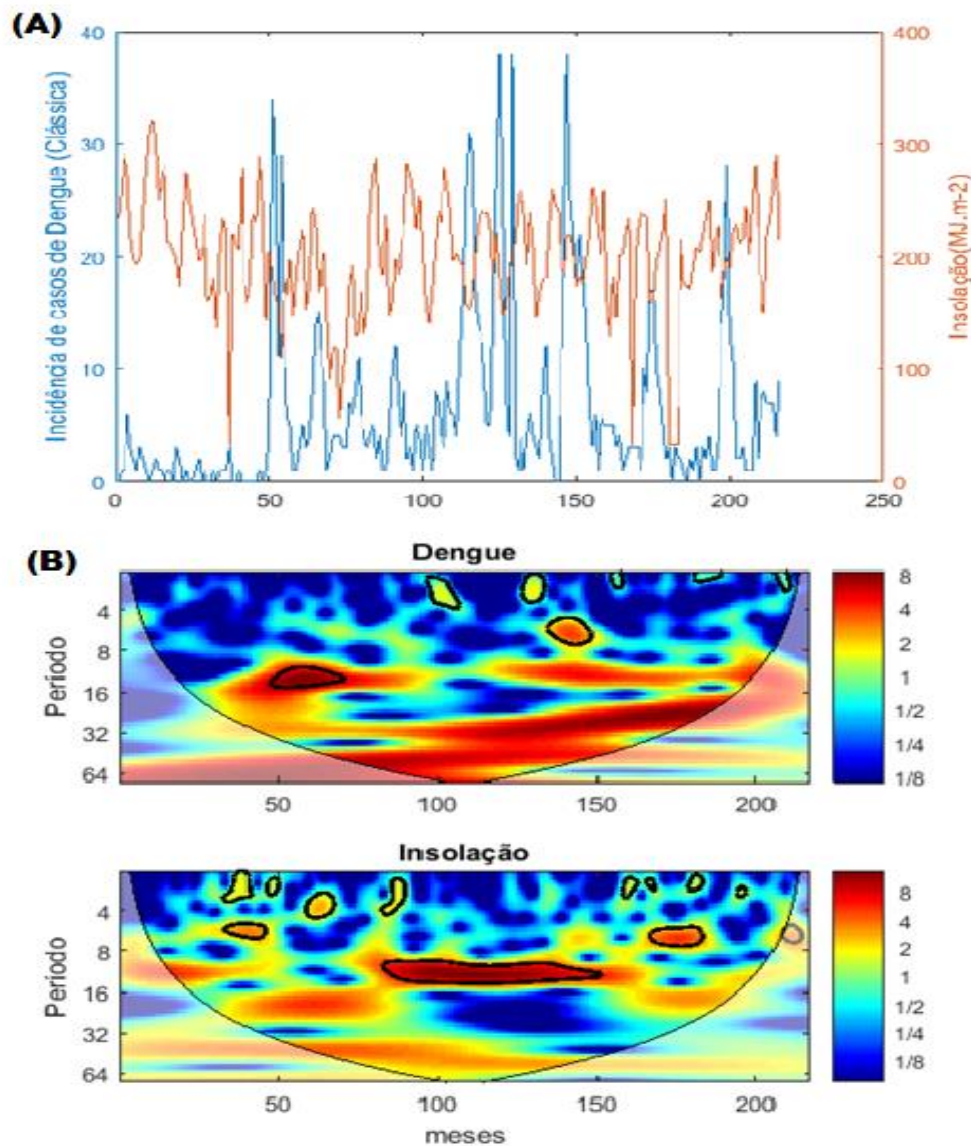
Esses resultados referentes à defasagem temporal entre a temperatura mínima do ar e a incidência de casos de dengue não estiveram em total concordância com a literatura, em geral. Pois um estudo em Singapura, por exemplo, relatou um aumento linear na incidência de dengue, com o aumento da temperatura, defasada de 5 a 16 semanas (FOCKS *et al.*, 1995). Enquanto que um estudo em Taiwan, encontrou correlação significativa com a temperatura mínima defasada em 4 a 12 semanas, apresentando assim defasagem temporal menor.

5.7 Dengue e Insolação

Uma vez que o mosquito vetor necessita do aumento da temperatura em faixa adequada para o período de desenvolvimento em todas as fases do ciclo de vida, a insolação torna-se uma variável também de forte influência sobre a taxa de incidência de casos de dengue. De maneira, que também foi inserida para ser correlacionada com a incidência de dengue, apresentando seus menores valores nos meses de maio (191.17 horas), junho (163.85 horas), julho (170.64 horas) e agosto (188.35 horas), também dentro do período de maior incidência de casos de dengue.

Na Figura 27 (B), o espectro de potência individual da insolação apresentou um pico de alta potência, dentro da estatística significativa, com escala de 9 a 12 meses na localização temporal de agosto de 2014 (mês de número 80) a junho de 2010 (mês de número 150). Identificou-se também um pico de baixa potência com escala de 5 a 6 meses, se estendendo de julho de 2011 (mês de número 163) a dezembro de 2012 (mês de número 180).

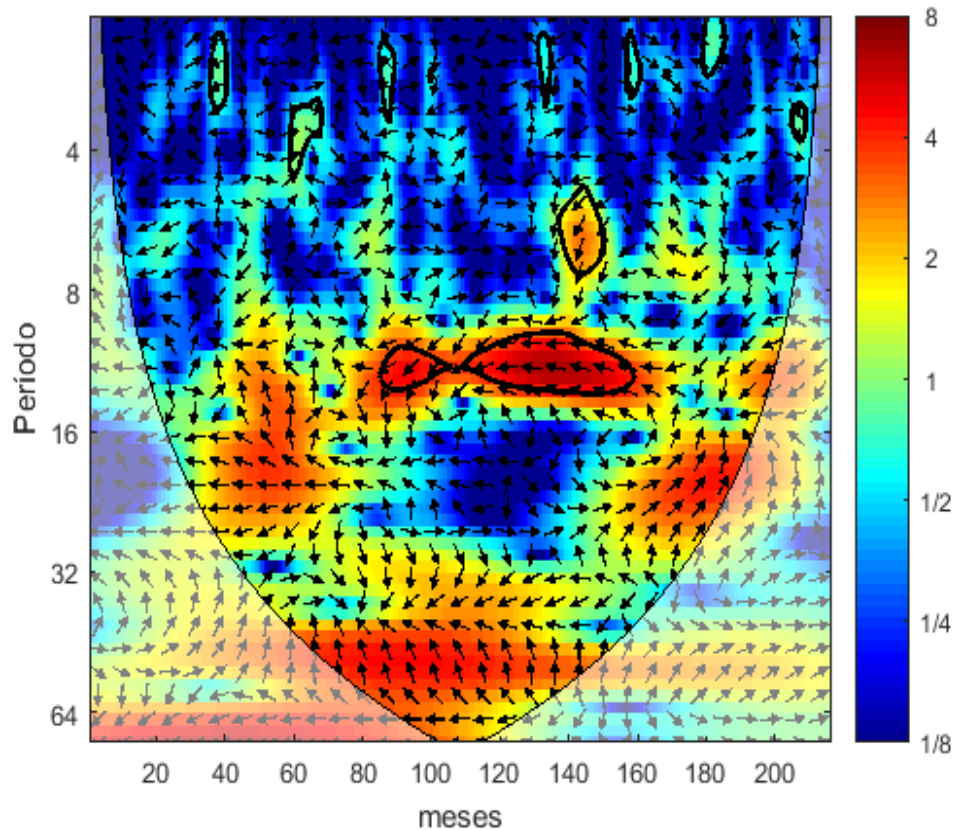
Figura 27 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da insolação. **(B)** Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a insolação.



Fonte: Autor (2016)

No espectro cruzado de alta potência comum, ilustrado na Figura 28, as séries apresentaram mesma frequência na localização temporal de janeiro de 2005 (mês de número 85) a julho de 2006 (mês de número 103); posteriormente, na localização temporal de fevereiro de 2007 (mês de número 110) a fevereiro de 2011 (mês de número 158), ambas as regiões com escala de 11 a 14 meses. Na última localização temporal as setas indicaram que as duas séries estiverem totalmente em fases opostas, o que significou que o aumento da insolação interferiu de maneira negativa na incidência de casos de dengue no município.

Figura 28 - Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a insolação.

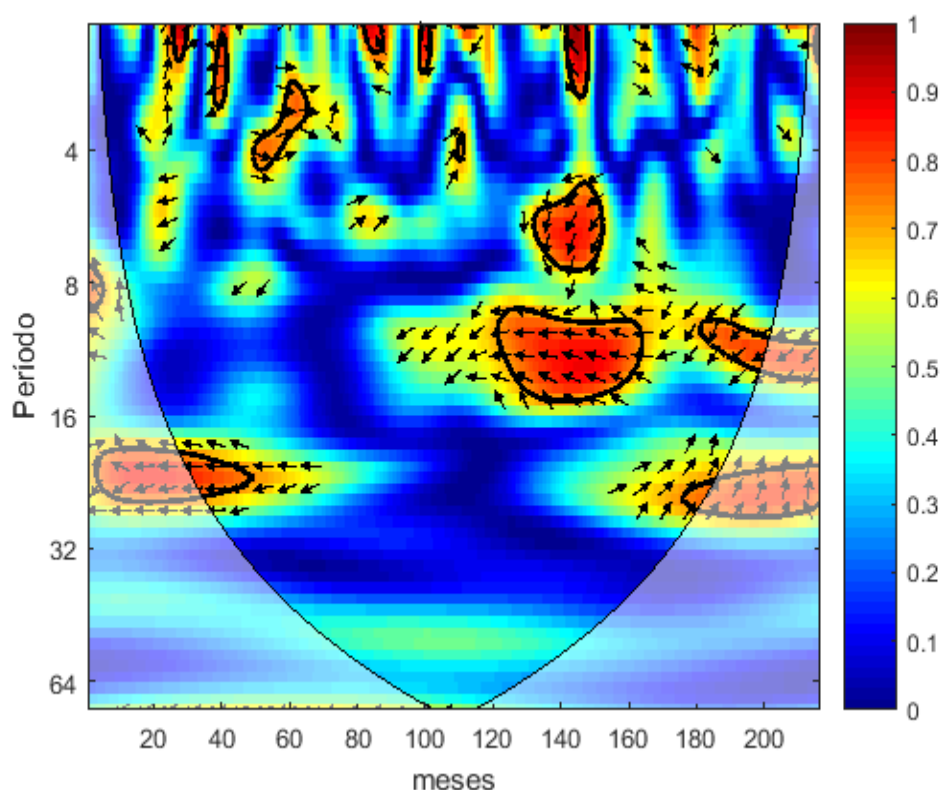


Fonte: Autor (2016).

O espectro de potência correlacionada, ilustrado na Figura 29, permitiu realizar uma análise semelhante ao espectro cruzado, sendo possível identificar um pico de alta energia na localização temporal de julho de 2009 (mês de número 139) a novembro de 2009 (mês de número 143) com escala de 3 meses, onde as setas indicaram que a série da insolação esteve avançada em 135° da série de incidência de dengue. A série de incidência de dengue respondeu em $3/8$ do período, significando que o aumento da insolação influenciou o aumento da incidência de casos de dengue depois de 5 semanas.

Um segundo pico de alta potência com 5 a 7 meses na localização temporal de outubro de 2010 (mês de número 130) a janeiro de 2011 (mês de número 145) também foi identificado. Nessa região, as setas apontaram que a série de incidência de dengue esteve avançada em 135° da série da nebulosidade, assim, a série de nebulosidade apresentou um defasamento temporal de 7 a 10 semanas em relação à série de incidência de dengue.

Figura 29 - Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a insolação.



Fonte: Autor (2016).

Um terceiro pico de alta potência correlacionada, foi identificado entre dezembro de 2007 (mês de número 120) a abril de 2011 (mês de número 160) com escala de 9 a 15 meses, as setas indicando que as séries estiveram praticamente em fases opostas, de maneira que o aumento da insolação implica diretamente na diminuição de casos de dengue.

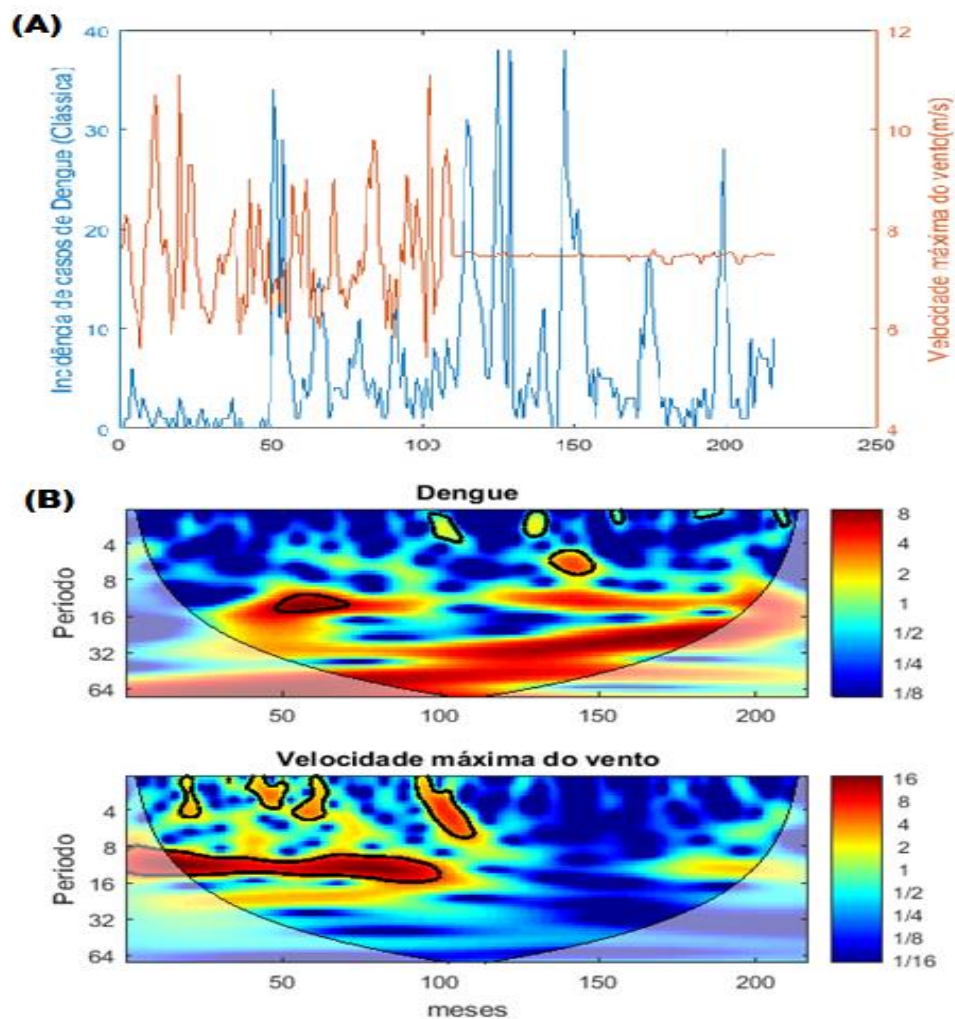
Assim como ocorreu com a série temporal da nebulosidade, a série temporal da insolação não apresentou influência na incidência de casos de dengue quando analisados os picos de 5 a 7 meses e de 9 a 15 meses, no entanto, a mesma variável mostra ter possível influência sobre a incidência de casos de dengue no pico com escala menor que 5 meses.

5.8 Dengue e Velocidade do Vento

Diferentemente das variáveis meteorológicas abordadas anteriormente, o espectro de potência individual da velocidade máxima do vento, ilustrado na Figura 30 (B), apresentou curtos picos de baixa energia com escala de 1 a 4 meses, variando apenas as localizações

temporais de cada ciclo. Posteriormente, identificou-se também um pico de baixa potência de escala de 1 a 7 meses, que se estendeu de maio de 2005 (mês de número 90) a fevereiro de 2007 (mês de número 110).

Figura 30 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da velocidade máxima do vento. **(B)** Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a velocidade máxima do vento.



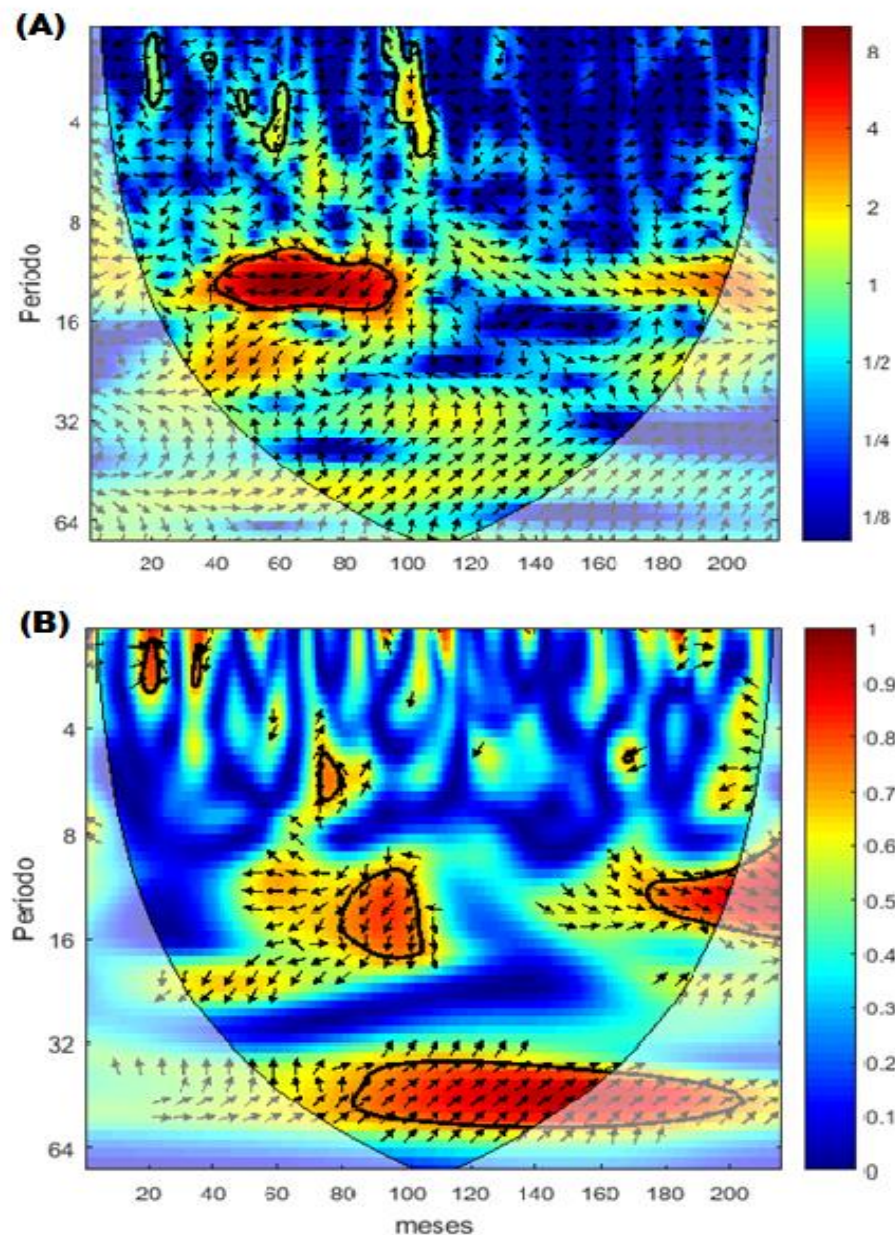
Fonte: Autor (2016).

Entretanto, assim como as variáveis anteriormente analisadas, o espectro de energia individual da velocidade máxima do vento também apresentou um pico de alta energia com escala de 9 a 15 meses que se estendeu de janeiro de 1999 (mês de número 14) a abril de 2006 (mês de número 100).

O espectro cruzado da série de incidência de dengue e da velocidade máxima do vento, mostrado na Figura 31 (A), apresentou apenas um pico de alta potência comum de escala de 10

a 14 meses. Inicialmente, as setas indicaram que as séries estavam em fases opostas; por conseguinte, no mesmo ciclo, as setas indicaram que a série de incidência de dengue esteve avançada em 135° da série da velocidade máxima do vento, indicando que a velocidade máxima do vento não teve influência sobre a incidência de casos de dengue, nesse período.

Figura 31 - (A) Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a velocidade máxima do vento. **(B)** Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a velocidade máxima do vento.

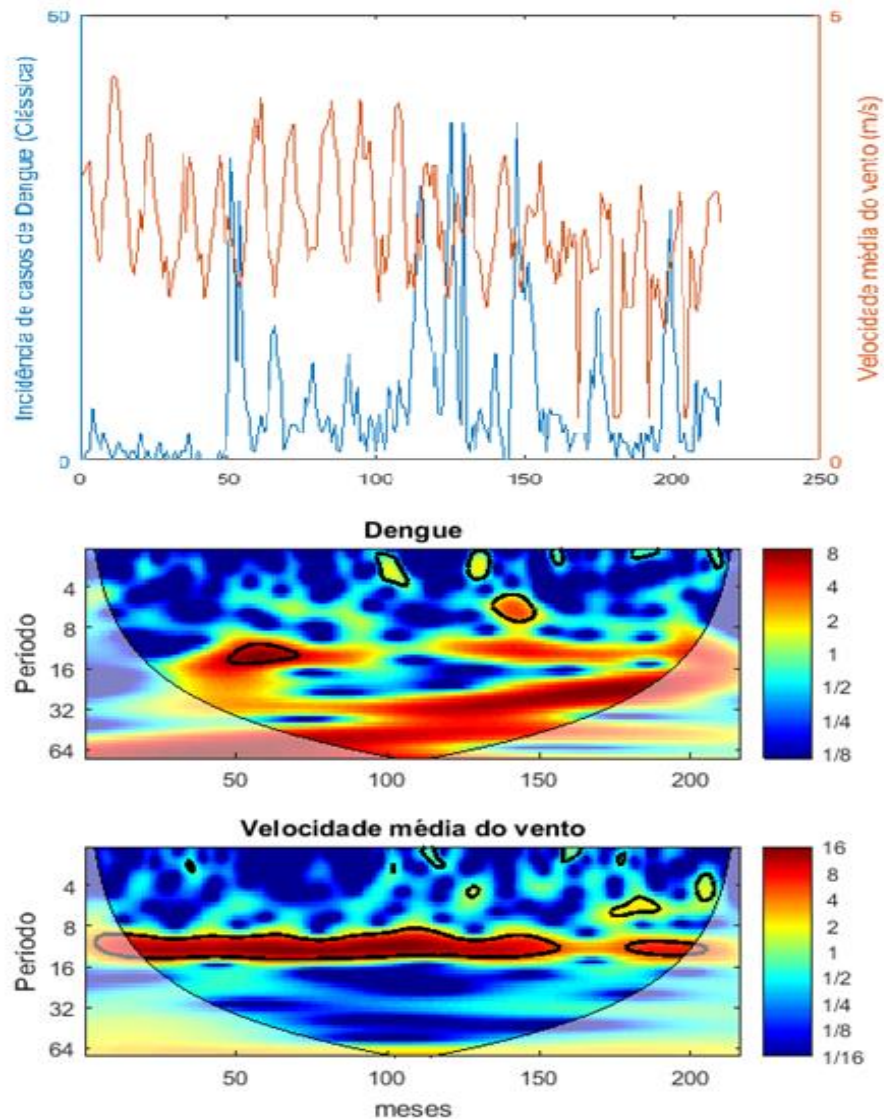


Fonte: Autor (2016).

Na Figura 31 (B), no espectro de potência correlacionada identificou-se um pico de alta energia, mas não máxima e com escala de 11 a 16 meses, setas apontando que a série de incidência de dengue esteve avançada em 135° da série da velocidade máxima do vento. A série da velocidade máxima do vento teve um defasamento temporal de 3 semanas, significando que não teve influência sobre a incidência de casos. Também foi identificado um pico com escala plurianual de 40 a 56 meses de localização temporal de novembro de 2004 (mês de número 83) a junho de 2011 (mês de número 162). As setas indicando que série temporal da velocidade máxima do vento esteve avançada em 45° da série de incidência de casos de dengue, que respondeu em $1/8$ do período. Para esse período, a incidência de casos aumentou 5 a 6 semanas depois do aumento da velocidade máxima do vento.

Diferentemente do espectro de potência individual da velocidade máxima do vento, o espectro de individual da velocidade média do vento, ilustrado na Figura 32 (B), não apresentou picos de curta escala, tendo apenas um pico contínuo de alta energia de aproximadamente 10 a 14 meses com localização temporal de janeiro de 1999 (mês de número 14) a novembro de 2010 (mês de número 155). Posteriormente, identificou-se um pico também de alta potência e escala de 10 a 14 meses, que se estendeu de dezembro de 2012 (mês de número 180) a agosto de 2014 (mês de número 200).

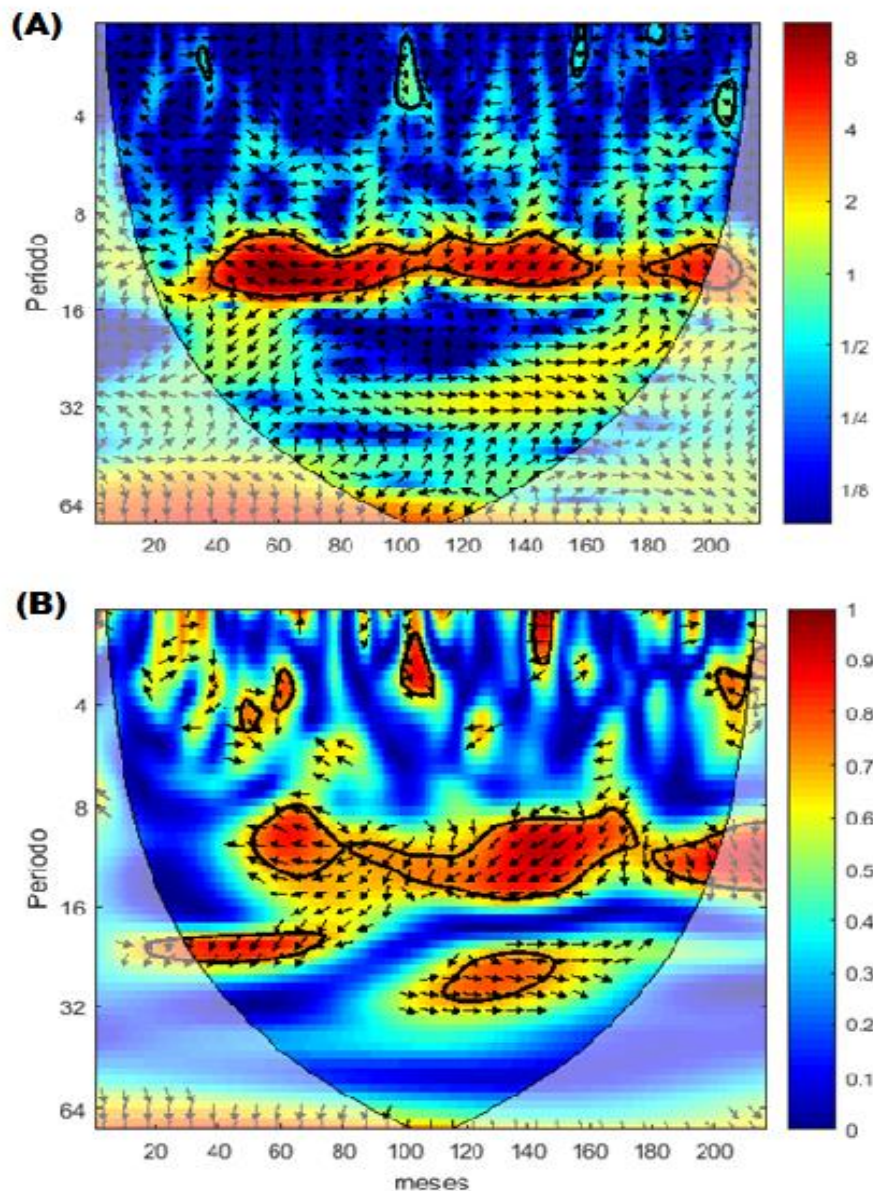
Figura 32 - (A) Série temporal não normalizada da incidência de casos de dengue e da velocidade média do vento. **(B)** Espectro de energia da wavelet contínua para a incidência mensal de dengue e a velocidade média do vento.



Fonte: Autor (2016).

O espectro de potência cruzada da série de incidência de casos de dengue e da velocidade média do vento, mostrado na Figura 33 (A) apresentou uma região contínua de alta potência comum de escala de 10 a 14 meses com localização temporal de abril de 2001 (mês de número 40) a abril de 2011 (mês de número 160). Posteriormente, identificou-se um pico de curta escala também de alta potência comum (10 a 14 meses) que se estendeu de dezembro de 2012 (mês de número 180) a agosto de 2014 (mês de número 200).

Figura 33 - (A) Espectro de energia da wavelet cruzada entre a incidência mensal de casos de dengue e a velocidade média do vento. **(B)** Espectro de energia da coerência wavelet entre a incidência mensal de casos de dengue e a velocidade média do vento.



Fonte: Autor (2016).

Na Figura 33 (B), o espectro de potência correlacionada apresentou muitos picos de alta energia e curta escala, entretanto, foram negligenciados por não ser possível identificar a relação de fase existente entre as séries. Assim, somente foram abordadas as regiões com ciclos em que fosse possível identificar a relação de fase entre a série de incidência de dengue e a velocidade média do vento.

Baseado nesse princípio identificou-se um pico com alta energia entre as séries, entretanto, as setas denotaram que as séries estiveram em fases opostas na escala de 9 a 12 meses que se estendeu de fevereiro de 2002 (mês de número 50) a março de 2004 (mês de número 75), significando que a incidência de casos diminuiu com o aumento da velocidade média do vento, pois os ventos fortes reduzem a densidade de mosquitos, tornando difícil encontrar um anfitrião. Também teve uma região de alta potência com escala de 10 a 14 meses, que apresentou setas apontando que a série de incidência de dengue esteve avançada em 135° da série da velocidade máxima do vento, que apresentou 3 semanas de atraso e não apresentou influência sobre a incidência de casos de dengue.

Foram identificados também dois picos de escala plurianuais de alta potência. O primeiro pico teve 20 a 24 meses e apresentou as setas apontando um defasamento temporal de 3 semanas da série da velocidade máxima do vento quando relacionada a série de incidência de dengue na localização temporal de junho de 2000 (mês de número 30) a dezembro de 2003 (mês de número 72). E, o segundo pico apresentou escala de 24 a 30 meses e setas denotando que a série de incidência de dengue esteve em fase com a série da velocidade média do vento, de maneira que o crescimento da série temporal da velocidade média do vento conduziu ao crescimento, sem defasamento temporal, da incidência de casos de dengue.

De acordo com Ehelepola *et al.* (2015), o qual considera a biologia do vetor e do vírus para definir os resultados mais realistas, não foram considerados períodos de atraso temporal como mais 15 semanas para as variáveis meteorológicas. De maneira que examinando os resultados, pode-se afirmar que a análise wavelet é um método confiável para estudar correlações não estacionárias.

Após analisar os picos de variância espectral (energia) com base no espaço tempo-frequência do espectro de potência correlacionada existente entre a incidência de casos de dengue e variáveis meteorológicas, foi possível indicar o tempo de atraso entre as séries associadas. De modo geral, a incidência de casos de dengue apresentou atraso temporal ao invés de avanço com relação à maioria das variáveis, como resumido na Tabela 2.

Tabela 2 - Abordagem do atraso temporal, através do espectro de potência correlacionada, entre a série de incidência de casos de dengue e as séries das variáveis meteorológicas.

*ESPECTRO DE POTÊNCIA CORRELACIONADA
(ATRASO TEMPORAL)*

<i>DENGUE VS. PRECIPITAÇÃO</i>	Dengue apresentou atraso de tempo de 3 semanas na escala de 4-7 meses e de 8-15 meses, e 7-9 semanas para escalade 20-24 meses.
<i>DENGUE VS. NEBULOSIDADE</i>	Dengue: 6-7 semanas na escala de 2-4 meses Nebulosidade: 5-12 semanas na escala de 9-15 meses
<i>DENGUE VS. UMIDADE RELATIVA</i>	Dengue: 7-11 semanas na escala de 12-14 meses Umidade: 6-11 semanas na escala de 10-14 meses
<i>DENGUE VS. TEMPERATURA MÁXIMA</i>	Dengue: 15-20 semanas na escala de 10-15 meses Temperatura (Máxima): 7-10 semanas na escala de 5-7 meses
<i>DENGUE VS. TEMPERATURA MÉDIA</i>	Dengue: 12-20 semanas na escala de 9-15 meses Temperatura (Média): 6-10 semanas na escala de 5-7 meses
<i>DENGUE VS. TEMPERATURA MÍNIMA</i>	Dengue: 9-14 semanas na escala de 9-14 meses Temperatura (Mínima): 9-11 semanas na escala de 25 a 31 meses
<i>DENGUE VS. INSOLAÇÃO</i>	Dengue: 5 semanas na escala de 3 meses Insolação: 7-10 semanas na escala de 5-7 meses
<i>DENGUE VS. VELOCIDADE MÁXIMA DO VENTO</i>	Velocidade (Máxima) do Vento: 3 semanas na escala de 11-16 meses
<i>DENGUE VS. VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO</i>	Velocidade (Média) do Vento: 3 semanas no ciclo de 10-14 meses e no ciclo de 20-24 meses

Fonte: Autor (2016)

6. CONCLUSÕES

Todas as variáveis apresentaram picos dominantes individuais com escala de aproximadamente 10 a 14 meses. Entretanto, as variáveis nebulosidade e insolação também apresentaram energia concentrada nos picos com escala de 4 a 6 meses.

Consequentemente, todos os espectros de potência cruzada mostraram também picos de alta energia comum com escala aproximadamente anual, ou seja, tanto a série de incidência de dengue quanto as séries das variáveis meteorológicas tiveram mesma alta frequência nesse período. Mas, vale observar, que a variável precipitação, nebulosidade e a temperatura média do ar apresentaram também picos de 5 a 7 meses.

Quando analisados os picos dominantes de escala de aproximadamente 12 meses nos espectros de potência correlacionada, a variável nebulosidade, velocidade máxima do vento, velocidade média do vento e insolação não influenciam de modo positivo na mudança de incidência de dengue, ou seja, não aumentam o número de casos.

De modo geral, quando analisada a escala aproximadamente anual, o aumento da incidência de casos de dengue em Maceió apresenta um atraso temporal de 3 semanas quando correlacionada à precipitação, atraso temporal de 6 a 11 semanas com relação à umidade relativa do ar, 15 semanas quando correlacionada à temperatura máxima do ar, 12 a 15 semanas com relação à temperatura média do ar, e um atraso temporal de 9 a 14 semanas quando correlacionada à temperatura mínima do ar.

Assim, o aumento da ocorrência de casos de dengue está estritamente associado com a duração do pico dominante da precipitação e da temperatura máxima do ar, sendo colocados como indicadores de casos de dengue nessa escala de frequência. Entretanto, é importante observar que para escalas menores que 6 meses, as variáveis meteorológicas nebulosidade e insolação são apontadas como indicadores que apresentaram bons resultados com a incidência de casos de dengue apresentando um atraso temporal de aproximadamente 5 semanas em relação à estas duas variáveis meteorológicas.

Ressaltando, por fim, que o atraso temporal de algumas semanas é biologicamente plausível, uma vez que a transmissão da dengue requer tempo para o desenvolvimento do vírus e do mosquito vetor, com incubação externa e interna.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se tentar utilizar mais de um ponto de estação de dados por cidade, visando caracterizar de uma melhor forma a distribuição (propagação) espacial de curta ou longa distância da incidência de casos da doença. Como também, tentar incluir a estatística populacional da região de estudo, ou seja, inserir a população residente em cada ano do período de estudo, possibilitando detectar se ocorre sincronia de epidemias.

Geralmente, os sistemas de saúde não percebem alterações na incidência de dengue, suficientemente cedo para apresentar uma resposta adequada. Logo, desenvolver e validar um modelo de previsão exato e preciso permitirá o reconhecimento dos períodos de epidemia em uma fase precoce, facilitando a intervenção com um tempo de espera adequado e aumentando a eficácia de medidas preventivas contra a doença.

Recomenda-se também, utilizar mais de um modelo estatístico a fim de comparar e analisar os vários tempos de atraso identificados entre as variáveis meteorológicas e a incidência da doença, de modo a poder identificar o período de previsão ideal.

É importante observar que no presente trabalho, não foi possível utilizar mais de uma estação devido as dificuldades em adquirir os dados recentes. Assim, dadas as limitações, melhorar o entendimento da dinâmica de transmissão de dengue pode ser útil no desenvolvimento e avaliação de medidas de alternativas de controle.

REFERÊNCIAS

- AXTELL *et al.* **Temperature-dependent Development and Survival Rates of *Culex Quinquefasciatus* and *Aedes Aegypti* (Diptera: Culicidae).** *Journal of Medical Entomology*, 27(5):892–898, 1990.
- BANU *et al.* **Projecting the Impact of Climate Change on Dengue Transmission in Dhaka, Bangladesh.** *Environment International*, 137–142, 2014.
- BARBOSA, A. C. B.; BLITZKOW, D. **Ondaletas: Histórico e Aplicações.** Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo – IAG/USP, São Paulo, 2007.
- BARBOZA, E. B. M. **Estudo da Variabilidade de Séries Temporais Ambientais através de Espectros de Assimetria Implementados em Software Científico Livre.** 110f. Dissertação-Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE-14670-TDI/1223, 2006.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS). Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Controle da Dengue.** Brasília: MS; 2002.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS). Secretaria de Vigilância em Saúde. **Guia de Vigilância Epidemiológica.** Brasília: MS; 2006.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil.** Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2008.
- CAZELLES *et al.* **Wavelet Analysis of Ecological Time Series.** *Oecologia*: 287 – 304, 2008.
- CAZELLES *et al.* **Nonstationary Influence of El Niño on the Synchronous Dengue Epidemics in Thailand.** *PLOS Medicine*: 313 – 318, 2005.

CAZELLES *et al.* **Time-Dependent Spectral Analysis of Epidemiological Time-Series with Wavelets.** Journal of the Royal Society: 625 – 636.

CHOWELL *et al.* **The Influence of Geographic and Climate Factors on the Timing of Dengue Epidemics in Peru, 1994–2008.** BMC Infect Dis 2011; 11: 164.

CONSOLI, R. A. G. B. & R. Lourenço-de-Oliveira. **Principais mosquitos de importância sanitária no Brasil.** Rio de Janeiro, Ed. Fiocruz, 228 p, 1994.

CUMMINGS *et al.* **Travelling Waves in the Occurrence of Dengue Haemorrhagic Fever in Thailand.** Nature: 344–347, 2004.

CUONG *et al.* **Quantifying the Emergence of Dengue in Hanoi, Vietnam: 1998–2009.** PLoSNegl Trop Dis, 2011.

DESCLOUX *et al.* **Climate-Based Models for Understanding and Forecasting Dengue Epidemics.** PLoS Negl Trop Dis 6(2): e1470, 2012.

DO *et al.* **Climatic-driven Seasonality of Emerging Dengue Fever in Hanoi, Vietnam.** BMC Public Health, 2014.

EHELEPOLA *et al.* **A Study of the Correlation between Dengue and Weather in Kandy City, Sri Lanka (2003 -2012) and Lessons Learned.** Infectious Diseases of Poverty, 2015.

EM TORRES. **Dengue.** Editora Fiocruz, 2005.

FARGE, M. **Wavelet Transforms and Their Applications to Turbulence.** Annual Review of Fluid Mechanics, v. 24, p. 395-457, 1992.

FOCKS *et al.* **A Simulation Model of the Epidemiology of Urban Dengue Fever: Literature Analysis, Model Development, Preliminary Validation, and Samples of Simulation Results.** The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene:489, 1995.

GABOR, D. **Theory of Communication.** J. Inst. Electr. Eng. 93, 429–457, 1946.

GLASSER, C. M. & A. C. GOMES. **Clima e sobreposição da distribuição de *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* na infestação do Estado de São Paulo.** Revista de Saúde Pública 36: 166-172, 2002.

GOTO *et al.* **Analysis of Effects of Meteorological Factors on Dengue Incidence in Sri Lanka using Time Series Data.** PloS One, 2013.

GRINSTED *et al.* **Application of the Cross Wavelet Transform and Wavelet Coherence to Geophysical Time Series.** Nonlinear Proc Geoph 11: 561–566, 2004.

GROSSMAN, A., Morlet, J., **Mathematics and Physics**, 2, L, Streit, Ed., World Scientific Publishing, Singapore, 1997.

HII *et al.* **Climate Variability and Increase in Intensity and Magnitude of Dengue Incidence in Singapore.** Global Health Action, 2009.

HII *et al.* **Forecast of Dengue Incidence using Temperature and Rainfall.** PLoS Neglected Tropical Diseases, 2012.

HUANG *et al.* **A Threshold Analysis of Dengue Transmission in Terms of Weather Variables and Imported Dengue Cases in Australia.** Emerging Microbes and Infections, 1 – 7, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico.** Rio de Janeiro: RJ; 2010.

JEVREJEVA S, Moore J.C, Grinsted A. **Influence of the Arctic Oscillation and El Niño Southern Oscillation (ENSO) on Ice Conditions in the Baltic Sea: the Wavelet Approach.** J Geophys Res, 2003.

JOHANSSON MA, Cummings DAT, Glass GE. **Multiyear Climate Variability and Dengue—El Niño Southern Oscillation, Weather, and Dengue Incidence in Puerto Rico, Mexico, and Thailand: A Longitudinal Data Analysis.** PLoS Med, 2009.

- KAVINGA *et al.* **A New Dengue Outbreak Statistical Model using the Time Series Analysis.** European International Journal of Science and Technology 2(10): 35 – 52, 2013.
- Keissar *et al.* **Coherence analysis between respiration and heart rate variability using continuous wavelet transform.** Phil. Trans. R. Soc. A 367, 1393–1406, 2009.
- LABBAT, D. “**Recent Advances in Wavelet Analyses: Part 1. A Review of Concepts,**” Journal of Hydrology, 275-288, 2005.
- MATHWORKS, Inc. **Wavelet Toolbox: User's Guide.** Internet, 2001
- MISITI *et al.* **Wavelet Toolbox User's Guide: for use with matlab.** The MathWorks, 2013.
- MORETTIN, P. A. **Ondas e ondaletas: da Análise de Fourier à Análise de Ondaletas.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999.
- MORETTIN, P.A; TOLOI, C. M. **Análise de Séries Temporais.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 535p, 2006.
- PANHUIS *et al.* **Region-wide Synchrony and Traveling Waves of Dengue Across Eight Countries in Southeast Asia.** PNAS | October 20, 2015 | vol. 112 | no. 42 | 13069–13074.
- PATZ *et al.* **Dengue Fever Epidemic Potential as Projected by General Circulation Models of Global Climate Change.** Environ. Health Perspect. **106**, 147–153, 1998.
- RODRIGUES, W. C. **Fatores que Influenciam no Desenvolvimento dos Insetos.** Info Insetos, v.1, n.4, p.1-4, 2004.
- SANTOS C.A.G., Galvão O.L. & Trigo R.M. (2003). **Rainfall Data Analysis using Wavelet Transform.** Proceedings of the International Conference: Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions, pp. 195 – 201, 2003.

SANTOS SL, Cabral ACSP, Augusto LGS. **Conhecimento, Atitude e Prática sobre Dengue, seu Vetor e Ações de Controle em uma Comunidade Urbana do Nordeste.** CienSaude Colet, 1319-1330, 2011.

TORRENCE C, Webster PJ. **Interdecadal Changes in the ENSO-monsoon System.** J Climate 12: 2679–2690, 1999.

TORRENCE C. & COMPO G.P. **A Practical Guide to Wavelet Analysis; Programme in Atmospheric and Oceanic Sciences.** University of Colorado, Boulder, Colorado. Bulletin of the American Meteorological Society, 61 – 78, 1998.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia,** Versão digital 2. Recife, Brasil, 449p, 2006.

VILLELA, S. W. MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 245p, 1975.

WENG, H., and K. –M. LAU. **Wavelets, Period Doubling, and Time-Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical Western Pacific.** J. Atmos. Sci., 51 (17), 2523-2541, 1994.

WICKRAMAARACHCHI *et al.* **Modelling and Analysis of Dengue Disease Transmission in Urban Colombo: a Wavelets and Cross Wavelets Approach.** J.Natn.Sci.Foundation Sri Lanka, 337-345, 2015.

YANG *et al.* **Effects of Meteorological Factors on Scrub Typhus in a Temperate Region of China.** Epidemiol. Infect, 142, 2217–2226, 2014.

ZANG *et al.* **Detection of Outbreaks from Time Series Data using Wavelet Transform.** Proceedings of the AMIA, 2003. Symposium, pp. 748 – 752, 2003.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Incidência mensal de casos de dengue em Maceió, no período de 1998 a 2015.

Ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1998	0	1	1	6	3	2	1	3	2	1	0	1	21
1999	2	1	1	0	1	1	0	3	2	0	1	0	12
2000	0	1	2	0	1	0	0	1	0	1	1	1	8
2001	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	5
2002	1	4	34	28	11	29	12	6	5	1	1	3	135
2003	5	3	4	8	14	15	11	9	1	2	4	4	80
2004	4	3	3	7	6	8	11	6	4	3	4	5	64
2005	2	4	1	1	5	10	12	7	4	8	2	3	59
2006	1	5	4	1	5	3	1	8	7	4	3	9	51
2007	6	6	4	11	16	26	31	29	16	14	13	10	182
2008	5	5	15	28	38	25	8	4	38	2	1	4	173
2009	1	4	6	4	3	2	9	12	4	2	0	0	47
2010	10	21	38	25	22	18	22	18	14	7	3	6	204
2011	1	6	5	5	5	5	3	4	1	2	3	3	43
2012	3	3	1	10	8	17	17	10	8	5	2	3	87
2013	0	3	2	2	1	0	2	1	3	0	3	2	19
2014	4	1	1	4	14	16	28	13	11	2	2	3	99
2015	1	1	1	9	2	7	8	7	7	7	4	9	63
TOTAL	49	72	123	150	155	184	176	141	127	61	48	66	

Fonte: Adaptado do Ministério da Saúde (SIH/SUS).

Apêndice 2 - Acumulado mensal da precipitação.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1998	71.30	17.60	23.80	101.30	241.00	162.20	193.10	181.50	44.40	36.60	0.70	16.30	1089.80
1999	21.30	42.20	49.40	44.90	216.60	208.90	232.60	137.70	89.20	160.10	21.60	33.00	1257.50
2000	90.00	151.00	136.00	404.20	300.30	235.40	393.50	300.20	426.90	64.20	55.70	100.49	2657.89
2001	27.60	16.50	64.40	128.80	49.90	413.40	271.20	198.70	52.00	171.80	94.50	115.90	1604.70
2002	356.50	91.70	201.70	133.80	360.20	408.80	109.90	177.10	44.80	32.90	91.90	3.00	2012.30
2003	37.20	78.20	135.70	124.70	179.40	238.30	229.10	144.50	139.30	75.90	72.20	18.90	1473.40
2004	222.80	152.00	166.60	129.50	157.40	716.40	318.40	204.50	163.30	32.90	18.90	5.10	2287.80
2005	5.90	50.80	56.40	126.20	394.00	346.60	162.00	211.90	44.00	32.40	12.10	91.50	1533.80
2006	57.80	10.60	114.20	157.10	590.10	349.40	234.40	119.00	135.50	66.60	38.40	15.60	1888.70
2007	0.00	0.00	274.89	223.77	252.97	303.51	259.86	268.78	83.22	61.01	45.10	47.14	1820.25
2008	51.79	42.77	587.23	257.53	486.26	275.28	316.51	227.07	5.80	64.30	13.20	20.70	2348.44
2009	35.00	222.10	205.80	190.10	788.50	462.10	273.30	331.50	103.70	14.90	16.80	30.50	2674.30
2010	212.30	175.00	151.10	172.50	152.10	713.00	257.00	188.00	146.80	96.80	5.70	22.20	2292.50
2011	142.10	122.70	17.50	595.40	397.30	235.00	366.20	209.10	111.10	49.80	112.30	14.20	2372.70
2012	189.90	67.80	139.90	56.60	85.30	272.80	271.30	154.40	27.00	69.80	0.00	13.80	1348.60
2013	63.60	12.40	25.60	174.40	266.30	252.30	388.80	174.90	97.40	218.60	111.70	11.40	1797.40
2014	52.10	117.40	53.50	152.90	396.40	181.40	223.30	162.60	142.60	273.30	50.50	31.70	1837.70
2015	29.00	108.50	58.60	17.60	223.80	347.90	312.80	163.80	42.80	53.40	1.60	73.40	1433.20
TOTAL	1666.19	1479.27	2462.33	3191.30	5537.83	6122.69	4813.26	3555.25	1899.82	1575.31	762.90	664.82	

Fonte: Adaptado do INMET.

Apêndice 3 - Média mensal da Nebulosidade.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1998	6.60	6.64	6.18	6.68	7.28	7.12	7.31	7.23	6.71	6.33	5.99	5.57	6.66
1999	6.23	6.96	6.56	6.63	7.41	7.10	7.34	7.16	7.46	7.13	6.39	7.05	7.08
2000	6.88	6.74	7.23	7.48	7.23	8.13	8.32	7.33	7.96	6.98	6.70	6.97	7.23
2001	3.90	6.33	6.94	6.92	6.20	7.51	7.66	7.47	6.52	6.91	6.48	7.01	6.92
2002	7.80	7.02	7.06	7.42	7.69	8.32	7.60	7.69	6.58	7.13	6.77	6.95	7.28
2003	6.47	7.41	7.58	7.11	7.41	7.88	7.91	7.46	7.39	7.33	6.68	7.16	7.40
2004	8.12	7.75	7.76	7.54	7.82	8.44	8.57	7.71	7.78	6.84	6.50	6.06	7.76
2005	6.24	6.49	6.38	6.11	7.49	7.52	6.82	7.19	6.54	5.71	5.37	5.75	6.43
2006	5.75	5.26	5.59	6.42	7.60	7.73	7.15	7.14	6.44	5.74	5.61	5.81	6.11
2007	6.37	7.33	7.39	7.68	7.44	7.80	7.75	7.82	7.30	7.25	7.02	7.19	7.36
2008	6.87	6.96	7.56	7.20	7.63	7.61	7.66	7.59	6.96	6.57	6.07	6.05	7.08
2009	6.54	6.92	6.18	6.85	8.20	8.07	7.52	7.91	7.31	6.59	6.59	6.79	6.88
2010	7.25	7.61	6.90	7.49	7.45	8.16	7.69	7.55	7.53	7.00	7.02	6.73	7.47
2011	7.54	7.27	6.49	7.84	7.86	7.84	7.74	7.67	7.68	7.46	7.51	7.08	7.61
2012	7.62	7.71	7.49	7.24	7.36	7.96	7.86	7.59	7.13	7.16	7.20	7.03	7.43
2013	7.04	7.20	6.85	7.14	7.66	7.52	7.98	7.74	7.48	7.38	7.51	6.92	7.43
2014	7.68	7.83	7.50	7.73	8.41	8.29	8.20	7.78	7.57	7.69	7.22	7.43	7.71
2015	7.31	7.74	7.57	6.94	7.80	8.29	8.40	7.81	7.52	7.34	6.67	7.51	7.55
TOTAL	6.87	7.11	7.00	7.17	7.55	7.86	7.72	7.59	7.35	7.06	6.68	6.96	

Fonte: Adaptado do INMET.

Apêndice 4 - Média mensal da Umidade Relativa do ar.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1998	77.99	77.32	75.09	75.44	80.49	80.43	81.69	81.49	76.74	74.84	72.06	69.94	77.03
1999	71.46	74.04	72.77	73.08	80.19	80.13	80.30	81.45	80.47	78.31	73.06	73.06	76.18
2000	76.39	74.59	75.30	75.59	78.25	79.95	84.93	81.66	83.15	80.45	78.62	76.82	78.43
2001	75.01	73.27	75.49	77.56	77.20	84.13	84.04	82.43	78.86	80.48	78.42	79.37	78.64
2002	83.96	77.41	80.74	78.25	82.93	86.08	82.00	83.59	79.92	76.88	75.69	74.32	80.33
2003	72.29	73.70	74.41	75.05	80.37	82.79	82.40	80.46	80.37	77.22	75.89	75.51	76.55
2004	79.44	77.97	77.62	79.33	80.72	84.83	87.12	85.14	81.66	77.81	72.34	70.12	79.38
2005	71.20	73.86	73.65	77.79	85.18	83.82	81.08	82.23	77.60	74.15	70.66	74.34	75.97
2006	71.22	70.17	73.08	78.72	82.05	82.76	82.90	79.62	77.70	74.80	74.58	73.57	76.25
2007	98.00	78.03	80.99	80.95	82.64	81.96	82.85	79.90	76.59	76.89	77.17	78.30	80.42
2008	77.38	76.07	81.54	81.19	83.66	81.03	79.29	80.44	79.50	78.61	74.04	72.83	79.39
2009	73.99	76.80	75.23	77.58	85.13	85.54	84.02	83.93	79.65	74.22	74.23	76.65	77.19
2010	77.85	79.92	77.62	81.58	83.08	87.53	85.35	84.40	81.05	79.86	77.01	76.56	80.49
2011	79.10	80.78	77.82	84.13	86.71	84.88	86.61	84.55	83.04	81.37	78.05	76.33	82.21
2012	81.38	79.87	79.75	81.21	81.81	84.60	86.12	85.47	81.89	81.09	77.13	78.68	81.30
2013	79.06	76.88	76.97	80.52	83.49	85.07	88.08	85.87	80.33	80.71	83.02	82.20	81.45
2014	78.90	80.74	80.74	83.93	85.70	86.15	85.88	83.89	83.62	83.03	78.67	77.15	83.33
2015	77.36	82.33	79.98	77.31	81.23	85.73	86.62	83.00	81.04	79.11	77.16	79.74	80.51
TOTAL	77.62	77.10	77.29	78.48	82.34	84.36	84.03	82.71	80.35	78.46	76.45	76.45	

Fonte: Adaptado do INMET.

Apêndice 5 - Média mensal da Temperatura máxima do ar.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1998	31.26	31.69	32.15	31.64	29.94	28.65	28.12	27.72	28.39	29.51	31.35	31.85	30.60
1999	31.42	31.17	31.25	31.17	29.03	28.76	27.48	27.32	27.38	28.48	30.02	30.79	29.52
2000	30.32	30.76	30.65	29.70	29.02	27.86	26.94	27.62	27.65	29.09	30.62	30.17	29.40
2001	30.50	31.43	31.46	29.94	30.41	27.89	27.23	27.31	28.84	29.77	30.40	30.16	30.05
2002	29.51	30.90	30.19	29.85	29.03	27.53	27.48	27.27	29.07	29.71	30.39	31.75	29.61
2003	32.37	31.08	31.19	30.90	29.55	27.91	27.57	27.56	28.43	29.35	31.40	31.27	30.23
2004	29.69	30.18	30.87	29.89	29.33	27.81	27.13	27.91	28.00	29.74	30.84	31.22	29.71
2005	31.29	31.60	31.98	30.86	29.01	28.08	27.54	27.52	28.44	29.95	31.43	30.45	30.20
2006	30.11	31.82	31.81	30.41	29.16	27.79	27.23	28.01	28.61	29.79	30.83	30.90	29.95
2007	31.06	31.55	30.37	30.30	29.33	28.36	27.44	27.12	27.96	29.14	30.14	30.32	29.73
2008	31.27	31.92	30.54	30.34	29.18	27.79	27.05	27.39	28.70	29.79	31.37	31.71	30.06
2009	31.65	30.94	31.96	31.75	29.28	29.53	29.45	28.80	30.50	32.49	32.11	31.38	31.16
2010	30.74	31.63	32.11	31.28	30.44	28.56	28.03	27.40	27.88	30.06	31.30	31.53	30.59
2011	30.61	30.71	32.10	30.18	28.82	28.13	27.06	27.37	27.58	29.18	29.96	30.79	29.57
2012	29.96	29.82	30.37	30.14	29.99	28.20	27.75	27.56	28.26	29.04	31.29	31.12	29.89
2013	31.35	31.88	32.11	31.05	29.33	28.85	27.47	27.74	28.55	29.57	29.57	30.98	29.57
2014	30.85	30.73	30.87	30.82	29.05	28.96	27.88	28.41	29.02	29.27	31.09	31.00	30.00
2015	31.39	31.15	31.39	32.41	30.63	28.40	27.81	27.96	29.26	30.25	31.85	31.12	30.88
TOTAL	30.95	31.16	31.32	30.62	29.30	28.17	27.48	27.56	28.44	29.64	30.97	31.06	

Fonte: Adaptado do INMET.

Apêndice 6 - Média mensal da Temperatura média do ar.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1998	26.93	26.67	27.31	26.84	25.69	24.69	24.00	23.87	24.48	25.13	26.07	26.56	25.88
1999	26.48	26.23	26.26	26.39	25.22	24.53	23.79	23.56	23.73	24.42	25.66	25.83	25.44
2000	25.63	25.72	25.60	25.25	24.57	23.69	23.14	23.40	23.45	24.18	25.08	24.98	24.77
2001	25.64	26.10	25.99	25.08	25.13	23.45	23.28	23.27	24.22	24.65	24.95	24.80	24.87
2002	24.41	25.40	25.23	25.11	24.29	23.25	23.35	22.97	23.92	24.46	24.84	25.67	24.44
2003	26.49	25.99	26.49	26.08	25.07	23.71	23.17	23.61	23.98	24.67	25.46	25.71	25.27
2004	25.15	25.28	25.46	25.14	24.47	23.34	22.95	23.13	23.64	24.63	25.69	26.12	24.88
2005	26.54	26.71	27.09	26.44	24.77	23.98	23.44	23.32	24.16	25.38	26.30	25.92	25.65
2006	26.04	26.98	27.13	26.20	25.15	24.29	23.71	24.06	24.38	25.42	25.91	26.15	25.67
2007	26.03	26.23	25.59	25.50	24.72	24.05	23.20	23.19	23.82	24.63	25.28	25.46	25.00
2008	26.05	26.44	25.60	25.64	24.80	23.99	23.48	23.48	24.50	25.26	26.22	26.65	25.43
2009	26.62	26.29	26.79	26.76	25.33	24.96	24.72	24.51	24.99	26.43	26.71	26.60	26.36
2010	26.31	26.59	27.12	26.85	26.18	24.76	24.13	23.80	24.45	25.83	26.60	27.08	26.25
2011	26.47	26.37	27.40	25.92	25.29	24.72	24.05	24.47	24.35	25.44	26.05	26.50	25.68
2012	26.29	26.43	26.37	26.25	26.15	25.00	24.39	24.23	25.13	25.75	27.12	27.04	26.20
2013	26.76	27.49	27.47	26.83	25.65	25.23	24.28	24.40	24.97	25.51	25.59	26.29	25.62
2014	26.43	25.56	25.89	25.87	25.38	25.12	24.49	24.84	24.86	25.37	26.50	26.47	25.47
2015	26.94	26.36	26.98	27.63	26.60	25.08	24.86	24.92	25.68	26.24	27.07	26.62	26.48
TOTAL	26.37	26.33	26.43	26.14	25.18	24.41	23.75	23.70	24.37	25.32	25.98	26.22	

Fonte: Adaptado do INMET.

Apêndice 7 - Média mensal da Temperatura mínima do ar.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1998	23.10	22.73	22.88	22.73	22.48	21.76	20.75	20.74	20.85	20.90	21.22	21.90	21.83
1999	21.97	21.81	21.97	22.46	21.87	20.87	20.07	20.28	20.08	20.03	21.13	20.51	21.00
2000	20.85	20.59	20.84	20.87	20.47	18.95	19.81	19.54	19.77	19.83	20.67	20.45	20.46
2001	20.79	20.75	21.19	19.79	19.94	18.96	18.90	19.54	19.79	19.99	19.76	19.75	19.79
2002	19.06	19.96	19.83	19.79	19.19	18.35	17.83	17.80	18.04	18.53	18.67	19.35	18.86
2003	20.39	20.31	22.47	22.35	21.52	19.51	18.77	18.98	18.80	19.33	19.85	20.23	20.04
2004	20.21	20.19	20.21	20.17	19.82	19.04	18.84	18.65	18.83	19.13	20.30	20.41	19.99
2005	20.56	21.37	21.66	21.69	20.86	19.20	18.85	18.82	19.81	21.59	21.84	21.76	21.12
2006	21.62	22.85	23.26	22.68	21.60	21.13	20.37	20.08	20.13	20.83	21.18	21.18	21.18
2007	21.49	21.49	21.12	21.05	20.56	20.31	19.54	19.87	20.22	20.98	21.35	21.52	21.01
2008	21.76	21.64	21.28	21.19	21.17	20.65	20.24	20.14	21.21	21.60	21.87	22.39	21.24
2009	21.84	22.37	22.11	22.72	21.56	21.80	21.18	22.10	21.02	21.21	21.30	21.61	21.71
2010	21.98	22.76	22.91	23.07	22.08	21.22	20.46	20.28	20.83	22.43	22.40	23.08	22.24
2011	23.46	23.08	23.38	22.63	22.17	21.29	20.29	21.27	21.37	21.64	22.43	22.29	22.23
2012	22.51	22.75	22.82	22.23	22.55	22.33	21.97	21.24	20.98	21.82	22.72	22.86	22.42
2013	22.72	23.24	23.44	23.35	22.54	22.18	21.71	21.60	21.58	21.79	21.88	22.42	22.30
2014	22.25	22.49	21.31	22.92	22.28	22.19	21.89	21.71	21.62	22.03	22.51	22.30	22.22
2015	22.77	23.13	23.59	23.60	22.95	22.14	22.71	22.16	22.59	22.90	23.15	23.20	22.93
TOTAL	21.80	22.09	22.04	22.41	21.58	21.00	20.26	20.21	20.53	21.10	21.32	21.69	

Fonte: Adaptado do INMET.

Apêndice 8 - Média mensal da Insolação.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1998	234.2	261.3	290.4	273.3	219.5	197.6	193.4	196.8	236.6	278.6	310.8	321.7	248.95
1999	303.3	250.3	269.2	281.1	212.2	211.44	205.1	196.9	173.7	228.5	274.6	249.6	239.05
2000	231.8	216.5	196.5	200.2	236.6	160.5	162.8	180.4	136.7	204.8	233.2	223.45	202.50
2001	32.87	219.8	209.7	206.4	277.9	175.4	159.1	176.8	236.7	230.1	288.1	240.3	214.75
2002	142.4	204.8	184.3	160.6	159.5	108.8	181.8	165.1	198.1	147.6	185.6	208.1	173.45
2003	223.3	152.5	174.6	243.6	231.3	167.2	192.4	202.4	148.7	91.7	119.3	118.4	170.90
2004	56.9	97.4	120.9	173.7	191	128.8	133.1	168.3	132	155.8	243.3	273.7	144.45
2005	287.6	193.5	183.8	235.9	147.5	160.3	198	183.8	209.4	231.6	282	272.4	203.70
2006	255.2	223.4	254.2	206.2	155.2	140.4	170.1	208.3	240.3	230	278.7	264.134	226.70
2007	239.80	196.02	202.14	196.53	191.34	156.93	152.32	164.05	205.96	229.86	241.53	238.21	199.33
2008	240.23	229.21	183.71	220.43	180.04	148.29	153.18	186.52	194.58	220.79	254.70	258.66	207.51
2009	242.03	192.78	239.65	206.10	145.33	167.65	179.03	180.69	227.13	258.95	244.91	239.94	216.61
2010	189.25	186.16	219.64	219.21	206.75	173.27	181.91	176.01	194.01	219.13	262.05	247.43	200.38
2011	219.93	197.89	258.37	164.05	129.42	181.91	145.33	200.27	201.35	221.80	233.82	32.87	199.08
2012	199.48	227.20	239.58	236.13	234.18	157.79	164.77	196.38	206.10	222.88	250.81	32.87	214.49
2013	32.87	32.87	32.87	215.25	174.49	173.85	171.18	190.48	208.26	203.4	217.5	234	182.49
2014	249.9	186.73	213.158	227.63	162.1	184.7	198.7	190.19	221.2	228.3	211	215.7	212.08
2015	244.8	202.1	247.1	280.9	234.8	158.9	149.6	220.1	235.1	261.3	289.9	214.5	234.95
TOTAL	233.00	200.00	211.43	217.23	191.17	163.85	170.64	188.35	206.03	225.59	247.86	239.08	

Fonte: Adaptado do INMET.

Apêndice 9 - Média mensal da velocidade máxima do vento.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1998	7.60	8.30	8.10	6.90	6.40	6.30	5.60	6.80	8.10	8.20	9.90	10.70	7.85
1999	8.70	7.50	7.80	7.30	5.90	6.20	7.20	11.10	6.40	7.50	9.30	9.30	7.50
2000	7.40	7.00	6.40	6.50	6.30	6.10	6.30	7.00	7.50	7.10	7.50	7.48	7.00
2001	8.10	8.40	6.80	5.90	6.70	6.30	9.00	6.70	7.70	8.50	7.10	6.50	6.95
2002	7.80	6.30	6.90	7.00	6.50	7.40	5.90	6.20	8.90	7.90	7.90	6.70	6.95
2003	8.30	9.00	6.20	7.20	6.30	6.00	6.90	6.80	6.80	8.90	9.00	7.50	7.05
2004	6.70	6.80	6.40	6.80	7.10	6.90	7.40	7.10	7.80	9.20	8.80	9.80	7.10
2005	9.50	7.30	7.30	6.00	7.10	5.80	7.00	6.40	7.70	7.30	9.10	8.20	7.30
2006	7.20	8.60	7.90	7.10	5.40	11.10	9.60	6.30	6.90	7.00	9.20	9.60	7.55
2007	8.80	7.48	7.48	7.48	7.48	7.54	7.54	7.54	7.54	7.48	7.48	7.48	7.48
2008	7.48	7.48	7.44	7.44	7.54	7.48	7.54	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48
2009	7.48	7.48	7.48	7.54	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48
2010	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.54	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48
2011	7.44	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.48	7.30	7.48
2012	7.48	7.48	7.48	7.44	7.48	7.48	7.48	7.58	7.48	7.48	7.48	7.30	7.48
2013	7.30	7.30	7.48	7.44	7.48	7.48	7.50	7.50	7.54	7.48	7.48	7.30	7.48
2014	7.48	7.48	7.48	7.54	7.44	7.48	7.50	7.50	7.54	7.54	7.48	7.30	7.48
2015	7.30	7.48	7.48	7.44	7.46	7.50	7.50	7.54	7.48	7.50	7.50	7.50	7.49
TOTAL	7.48	7.48	7.48	7.37	7.27	7.48	7.48	7.48	7.49	7.48	7.49	7.48	

Fonte: Adaptado do INMET.

Apêndice 10 - Média mensal da velocidade média do vento.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
1998	3.21	3.29	3.36	2.79	2.55	2.23	2.29	2.93	2.97	3.86	4.32	4.31	3.09
1999	4.11	3.43	3.16	2.80	2.19	2.08	2.34	2.80	2.56	3.13	3.66	3.68	2.96
2000	3.04	2.74	2.54	2.06	2.29	1.82	2.01	2.22	2.26	2.77	3.45	2.56	2.42
2001	3.42	3.28	2.75	2.23	2.32	1.82	2.03	2.41	2.64	3.02	3.43	3.07	2.69
2002	2.42	2.75	2.53	2.38	2.10	1.95	2.10	2.48	3.21	3.47	3.84	3.59	2.51
2003	4.08	3.22	2.72	2.33	2.21	1.84	2.27	2.57	3.13	3.53	3.67	3.78	2.93
2004	3.01	2.82	2.78	2.64	2.22	2.37	2.37	2.36	2.98	3.66	3.73	3.81	2.80
2005	4.04	3.55	3.41	2.63	2.34	2.21	2.21	2.52	3.32	3.53	4.06	3.40	3.36
2006	3.39	3.58	2.97	2.26	1.79	2.52	2.10	2.36	3.07	3.35	3.98	4.02	3.02
2007	3.81	2.69	1.94	2.19	1.92	2.76	2.25	3.29	3.34	3.05	3.31	3.31	2.90
2008	2.36	2.69	2.01	1.81	2.16	2.62	2.99	2.57	2.53	2.86	3.44	3.08	2.60
2009	2.35	2.34	2.22	1.88	1.71	2.06	2.26	2.56	3.05	3.32	3.43	3.11	2.35
2010	2.26	2.51	2.34	2.05	1.89	2.56	2.86	2.83	2.73	2.78	3.36	2.86	2.65
2011	2.21	2.47	2.27	1.98	2.34	2.07	2.69	2.20	2.61	2.37	2.56	0.47	2.31
2012	2.47	2.62	2.40	2.10	2.15	2.14	2.17	2.99	2.86	2.70	2.88	0.47	2.43
2013	0.47	0.47	2.48	1.71	1.73	1.71	2.26	2.65	3.12	2.69	2.68	0.47	1.99
2014	2.09	1.80	2.04	1.66	1.47	2.12	2.15	2.37	2.59	3.01	2.55	0.47	2.10
2015	0.47	2.40	2.24	1.65	1.85	2.34	2.43	2.94	2.96	3.01	3.00	2.68	2.41
TOTAL	2.74	2.71	2.51	2.14	2.15	2.13	2.26	2.57	2.96	3.04	3.43	3.09	

Fonte: Adaptado do INMET.