



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Meteorologia

VARIABILIDADE E PREVISIBILIDADE INTERANUAL DA DENGUE NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Suellen Araujo Franco dos Santos

Orientador: Hugo Abi Karam, Prof.

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro, RJ

Agosto, 2019

VARIABILIDADE E PREVISIBILIDADE INTERANUAL DA DENGUE NO
MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Suellen Araujo Franco dos Santos

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Avaliado por:



Prof.º D.Sc. Hugo Abi Karam



Prof.ª D.Sc. Claudine Pereira Dereczynski



Prof.ª D.Sc. Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira

Rio de Janeiro, RJ

Agosto, 2019

Araujo Franco dos Santos, Suellen

Variabilidade e previsibilidade interanual da Dengue no município do Rio de Janeiro / Suellen Araujo Franco dos Santos. -- Rio de Janeiro, 2019.

90 f. : il

Orientador: Hugo Abi Karam.

TCC (Graduação - Meteorologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

1. Análise de ondeletas. 2. Cidade do Rio de Janeiro. 3. Variabilidade climática e epidemia por dengue. I. Karam, Hugo Abi.

AGRADECIMENTOS

Este texto é mais que especial por eu finalmente me ver escrevendo-o. Começando pelo usual, gostaria de agradecer a Deus (ou cosmos, natureza, vibrações do planeta ou outro nome de divindade usado pelo mundo afora por quem acredita nEle ou em outras coisas que considero similares) pela vida que me foi dada. Pelo teto, pelo alimento, pelo ar, pela luz do sol.

Agradeço por ter uma família por perto para me auxiliar nas necessidades básicas. Mãe, em particular, obrigada por me colocar acidentalmente no caminho da meteorologia naquela inscrição lá do ensino técnico. Se não fosse você pra conhecer esse colégio eu não estaria onde estou hoje. Pai, obrigada por ajudar no que foi possível pra eu continuar no caminho.

Aquela história do “o que não mata, fortalece” é muito real...mas pra chegar na parte do fortalece, doeu. Aqui é onde entram os amigos, que me ajudaram tanto nos dias que eu precisei e às vezes nem sabiam que estavam me ajudando. Os que a UFRJ me deu. Um beijo, Isa, que começou comigo. Aos que vieram depois também: Larissa, Hoffman, Ju (desde CEFET essa moça), toda a ZCASnagem que tanto me divertiu com nossas saídas maravilhosas, Ana Clara, o Bonde das Maravilhas...As de antes também, que sempre nos falamos assim que podemos (Monique e Juliana, meninas do CESMA). Podemos estar distantes, mas levo vocês no coração, de verdade. Aos colegas da dança, jamais poderia esquecer das aulas que foram maravilhosas (e cansativas) e que me ajudaram a permanecer na luta interna diária para não morrer na praia. Gratidão pela energia positiva de todos vocês.

À minha família postiça, tia Neide e cia. Sempre disponíveis com seu zelo e companhia, desde criança. Ao meu amor e amigo, que viu minhas transformações externas e internas ao longo de todos nossos anos de relacionamento e nunca mudou comigo em nenhuma dessas fases, por sempre ser especial e acreditar em mim mesmo quando não acreditei. Jorge, digo e repito: você é uma das pessoas que eu mais respeito nessa vida.

Agradeço também a minha ex-terapeuta Bárbara, que foi um grande acerto na minha vida no último ano e que me ajudou a me elevar a patamares pessoais que eu considerava inatingíveis. Ainda tenho o que aprender sobre mim mesma (a gente nunca para, não é mesmo?), mas tive um salto enorme graças a essa mulher. Acredito que hoje sou uma pessoa que consegue se orgulhar de si própria em um nível mais profundo. Substituindo o “saudades de quando eu tava em época x” por “vamos tentar atingir o objetivo x e crescer a partir disso”.

Mais um ciclo se fecha para se abrir outro que vem pela frente. Obrigada a todos vocês.

RESUMO

VARIABILIDADE E PREVISIBILIDADE INTERANUAL DA DENGUE NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Suellen Araujo Franco dos Santos - Agosto 2019

A dengue é uma das doenças infecciosas tropicais mais importantes no Brasil por conta das condições que favorecem a sua propagação, associadas diretamente com o ciclo de vida do vetor em áreas urbanas, o mosquito *Aedes aegypti*. Neste trabalho realizou-se a investigação da variabilidade da dengue em relação ao fenômeno *El Niño - Southern Oscillation* (ENSO), utilizando-se a transformada de ondeleta simples e cruzada. Em adição, estabeleceu-se uma equação para a incidência de agravamento por febre de dengue baseada em um modelo de regressão linear múltipla (RLM). Foram utilizados dados mensais de casos de dengue, compilados pela Secretaria Municipal de Saúde da cidade do Rio de Janeiro, e também dados de índices mensais do ENSO, disponibilizados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* – NOAA/USA para o período entre janeiro de 2000 e dezembro de 2017. Foram analisadas as variabilidades da dengue em relação aos índices: SOI (*South Oscillation Index*), Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, Niño 1.2, ONI (*Oceanic Niño Index*), BEST (*Bivariate El Nino- Southern Oscillation Index*), TNI (*Trans-Niño Index*), PDO (*Pacific Decadal Oscillation*), PNA (*Pacific North American Pattern*), além das variáveis OLR (*Outgoing Longwave Radiation*) e Heat Content. Os índices mais significativos, selecionados pelo método *stepwise* na RLM, para explicação da variância da incidência de dengue foram Niño 3, ONI, TNI e OLR, perfazendo mais de 45% da variabilidade, podendo alcançar 75%. A aplicação do modelo de regressão utilizado neste trabalho aliado às análises das ondeletas viabiliza a caracterização de panoramas epidêmicos futuros, assim como o diagnóstico da presença de condições meteorológicas mensais favoráveis a novas epidemias de dengue.

Palavras chave – Dengue; Rio de Janeiro; Variabilidade climática; Análise de ondeletas.

ABSTRACT

INTERANNUAL VARIABILITY AND PREVISIBILITY OF DENGUE IN RIO DE JANEIRO

Dengue is one of the most important tropical infectious diseases in Brazil due to the conditions that favor its propagation, associated directly with the vector life cycle in urban areas, the *Aedes aegypti* mosquito. Currently, the wavelet transform (TO) is a very useful tool in the studies of periodic and non-periodic signals that characterize the multiscale variability of climatic disturbances, being widely applied to the analysis of geophysical, meteorological and oceanic variables. In this work the Dengue variability was investigated in relation to the phenomenon El Niño - Southern Oscillation (ENSO), using the simple and crossed wavelet transform. In addition, an equation was established for the incidence of aggravation due to dengue fever based on a multiple linear regression model (MLR). Monthly data of dengue cases compiled by the Municipal Health Department of the city of Rio de Janeiro were also used, as well as data from monthly ENSO indexes provided by the National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA/USA for the period between January 2000 and December 2017. Dengue variability was analyzed in relation to the indices: SOI (South Oscillation Index), Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, Niño 1.2, ONI (Oceanic Niño Index), BEST (Bivariate El Niño- Southern Oscillation Index), TNI (Trans-Niño Index), PDO (Pacific Decadal Oscillation), PNA (Pacific North American Pattern), Outgoing Longwave Radiation (OLR) and Heat Content. The most significant indexes, selected by the stepwise method in MLR, were Niño 3, ONI, TNI and OLR, to account for more than 45% of the variability, being able to reach 75%. The application of the model together with the analysis of the wavelets allows the characterization of future epidemic scenarios, as well as the diagnosis of the presence of favorable monthly meteorological conditions.

Key words– Dengue; Rio de Janeiro; Climatic variability; Wavelet analysis.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fase neutra do fenômeno ENSO (Fonte: http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt).....	6
Figura 2.2- Fase El Niño do fenômeno ENSO (Fonte: http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt).	6
Figura 2.3– Fase La Niña do fenômeno ENSO (Fonte: http://enos.cptec.inpe.br/lanina/pt).	7
Figura 2.4– Série de período igual a 50, amplitude igual a 1 e comprimento igual a 1000 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014).	12
Figura 2.5- Espectro de potência de ondeleta da função periódica com período igual a 50, amplitude igual a 1 e comprimento igual a 1000 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014).....	12
Figura 2.6 - Séries temporais das funções x e y de subperíodos igual a 60 e 100 e comprimento igual a 1000 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014).....	13
Figura 2.7 - Espectro de ondeleta global relativo a (a) função x e (b) função y (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014 – adaptado).	14
Figura 2.8 - Séries temporais das funções x e y de subperíodos 1, 2, 4, 8 e 16 e comprimento igual a 96 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014).....	15
Figura 2.9 – Espectro de potência bivariado das funções x e y de subperíodos 1, 2, 4, 8 e 16 e comprimento igual a 96 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014 – adaptado).	16
Figura 2.10 - Espectro de ondeleta global do cruzamento das funções x e y de subperíodos 1, 2, 4, 8 e 16 e comprimento igual a 96 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014 - adaptado).	17
Figura 3.11 - Regiões de medição de TSM para os índices Niño 4, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 1+2 (Fonte: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml). ...	22
Figura 4.12 – (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do log10 das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).....	32
Figura 4.13 - (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice Niño 3. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).....	35
Figura 4.14- (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice TNI. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).....	36
Figura 4.15 – (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice OLR. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco	

indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).	37
Figura 4.16 – (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice SOI. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1(90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%)	38
Figura 4.17 – Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice Niño 3 com log10 das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).	40
Figura 4.18– Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice TNI com log10 das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).	42
Figura 4.19 – Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice OLR com log10 das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (90%).	43
Figura 4.20– Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice SOI com log10 das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).	44
Figura 4.21 – Comparação entre as dispersões do log10 da dengue observada (eixo horizontal) e log10 da dengue modelada pela a) RLM completa e b) RLM stepwise (eixos verticais).	52
Figura 4.22 – Comparação entre as séries temporais do log10 da dengue observada (linha cheia azul com pontos) e log10 da dengue modelada pela a) RLM completa e b) RLM stepwise (linhas cheias vermelhas).	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Sinais aproximados do índice Niño 3 em cada fase das epidemias registradas.....	42
Tabela 4.2 - Resultado obtidos para os resíduos associados a RLM completa.	47
Tabela 4.3 - Medidas estatísticas auxiliares obtidas para a RLM completa.	48
Tabela 4.4 - Coeficientes lineares e significância estatística de todos os índices ENSO na RLM completa.	49
Tabela 4.5 - Análise de variância para todos os índices ENSO na RLM completa.....	50
Tabela 4.6 - Resultados obtidos para os índices ENSO remanescentes no último passo da regressão stepwise.	52
Tabela 4.7 - Análise de variância para os índices ENSO remanescentes no último passo da regressão stepwise.	52

LISTA DE SIGLAS

AIC - Akaike Information Criterion

BEST – Bivariate El Niño-Southern Oscillation Index

CPC - Climate Prediction Center

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DOI - Dipolo do Oceano Índico

ENSO – El Niño South Oscillation

ERSST - Extended Reconstructed Sea Surface Temperature

ESRL - Earth System Research Laboratory

FOE - Função ortogonal empírica

GL - Graus de liberdade

GODAS - Global Ocean Data Assimilation System

HadISST - Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature data set

HEAT – Heat Content

ICOADS - International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set

NCEP - National Centers for Environmental Prediction

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

OISST - Optimum Interpolation Sea Surface Temperature

OLR - Outgoing Longwave Radiation

ONI - Oceanic Niño Index

PDO – Pacific Decadal Oscillation

PNA – Pacific NorthAmerican Pattern

PNMM - Pressão ao nível médio do mar

PSD – Physical Sciences Division

RLM – Regressão linear múltipla

SQE - Soma dos quadrados explicados

SQR - Soma dos quadrados dos resíduos

SMS - Secretaria Municipal de Saúde

SOI - South Oscillation Index

SUS - Serviço Único de Saúde

TNI – Trans-Niño Index

TO – Transformada de ondeleta

TOC – Transformada de ondeleta cruzada

TSM – Temperatura da superfície do mar

WHO – World Health Organization

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivo.....	2
1.2	Estrutura da monografia	2
2	Fundamentação teórica.....	3
2.1	Histórico sobre a dengue	3
2.2	El Niño Oscilação Sul	4
2.3	Variabilidade climática e dengue.....	8
2.4	Transformada de ondeleta	9
2.5	Visualização gráfica da transformada de ondeleta	11
2.6	Aplicação da transformada de ondeleta no estudo da dengue	17
3	Materiais e Métodos	20
3.1	Índices ENSO.....	20
3.2	Dados de dengue	24
3.3	Aplicação da transformada de ondeleta.....	25
3.4	Análise estatística dos índices e dengue	26
4	Resultados	31
4.1	Transformada de ondeleta univariada.....	31
4.2	Transformada de ondeleta bivariada	38
4.3	Análise estatística dos índices e dengue	45
4.3.1	RLM completa.....	45
4.3.2	Regressão stepwise.....	49
4.3.3	Comparação entre as duas regressões	51
5	Conclusões	54
5.1	Recomendações de trabalhos futuros:	56
	Referências Bibliográficas	57
	APÊNDICE A – RESULTADOS DAS TRANSFORMADAS DE ONDELETAS UNIVARIADAS DOS ÍNDICES ENSO.....	63
	APÊNDICE B – RESULTADOS DAS TRANSFORMADAS DE ONDELETAS BIVARIADAS DOS ÍNDICES ENSO.....	71

Capítulo 1

1 Introdução

A dengue é uma doença viral transmitida majoritariamente pelo mosquito vetor *Aedes aegypti*, sendo de grande importância para a sociedade, principalmente nos países de região tropical, onde existem históricos e casos registrados. As infecções por dengue ocorrem em mais de 100 países na região da Ásia, nas Américas, no Oriente Médio e na África, e os casos de infecção seguem aumentando em todo o mundo, sendo estimadas em torno de 50 milhões de infecções para ocorrer a cada ano (WHO, 2009).

A forma de transmissão da doença pode ser influenciada por diversos fatores de diferentes escalas. Em um âmbito local, podem ser citados como exemplos as estruturas socioeconômica e urbana de um município específico. Barcellos et al. (2005) citam o papel latente de atividades humanas como fluxo populacional para a difusão do mosquito vetor, tendo como metodologia técnicas relacionadas a geoprocessamento para o Rio Grande do Sul.

Por outro lado, estudos presentes na literatura mostram evidências de relações entre a transmissão de dengue e fatores de maior escala, como cenários de mudanças climáticas (CAMPBELL ET AL., 2015). A atuação de diversos modos de variabilidade interanual, em diversas localidades, também é amplamente investigada. Um dos modos mais abordados é o *El Niño - South Oscillation* (ENSO), tendo em vista que atua na mudança de variáveis meteorológicas relacionadas com a dengue. Wanderley et al. (2019) enfatizam a influência do fenômeno sobre a temperatura da cidade do Rio de Janeiro. Foi constatado nesse trabalho o aumento médio das temperaturas máxima e mínima durante a ocorrência de um episódio de El Niño intenso. Lucena et al. (2020) estudaram a influência do El Niño sobre a precipitação na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, identificando períodos com menor quantidade de precipitação associados a eventos de El Niño considerados muito fortes.

O município do Rio de Janeiro é a segunda maior metrópole do Brasil (IBGE, 2018) e possui o maior número de casos de dengue registrados dentro do estado. Seu regime de precipitação consiste de maiores valores médios anuais sobre os maciços e menores valores em direção às planícies, principalmente sobre a zona norte (DERECZYNSKI *et al.*, 2009). Com relação a

temperatura, Silva e Dereczynski (2014) constatam que na região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, onde o município do Rio de Janeiro está inserido, a temperatura máxima média oscila entre 26 e 27,5°C no inverno e entre 32 e 33,5°C no verão, sendo esses os maiores valores dentro do estado. Já a temperatura mínima média varia entre 17 e 18,5°C no inverno e entre 21,5 e 23°C no verão.

As variáveis meteorológicas locais podem ser úteis na previsão de ocorrência de dengue. Por exemplo, em uma análise de escala sazonal, o inverno com valores de temperatura média amenos e taxas de precipitação reduzidas, que precede um ano epidêmico, apresenta uma qualidade preditiva para epidemias futuras no município do Rio de Janeiro (STOLERMAN ET AL., 2019).

Diferentes pesquisas sobre os padrões de inoculação da dengue já foram realizadas para outros países tropicais e diversos estados brasileiros, associando à variáveis ou padrões de variabilidade climáticos. Existe uma deficiência deste tipo de análise para o Rio de Janeiro apesar de sua relevância socioeconômica para o país e dos números alarmantes de ocorrências da doença. Com isto, é considerável realizar a investigação dos aspectos que podem atuar sobre a propagação da dengue, verificando assim as condições de variabilidade climática que podem gerar aumento no número de casos e sua evolução para padrões de epidemia.

1.1 Objetivo

As covariâncias entre a dengue e variáveis meteorológicas de superfície apresentadas por Santos e Karam (2017) indicaram sinais trienais, que evidenciam uma possível relação com o ENSO e as ocorrências de dengue. Esse resultado motiva a realização do presente estudo, cujo objetivo principal é investigar e aprofundar o entendimento da variabilidade da dengue em relação à variabilidade atmosférica, tendo a transformada de ondeleta (TO) como principal implemento. Os objetivos secundários são: contribuir para o conhecimento da dinâmica da epidemia de dengue na cidade do Rio de Janeiro; verificar a possibilidade de aplicação de metodologias estatísticas baseadas em escalas temporais aos dados disponíveis de notificação de agravos de dengue no Rio de Janeiro; identificar as principais escalas de variabilidade da dengue no Rio de Janeiro.

1.2 Estrutura da monografia

O texto está dividido em 6 capítulos. No capítulo 2 é feita uma fundamentação teórica que inclui um apanhado histórico sobre a incidência de dengue, uma abordagem geral sobre o fenômeno ENSO e a relação dos casos de dengue com o mesmo e outros fenômenos de variabilidade climática em diversos países. Também é abordado o método de transformada de ondeleta e suas diversas aplicações, com exemplos de análise. No terceiro capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados neste estudo. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos e uma discussão contextualizada e o capítulo 5 aborda conclusões obtidas a partir dos resultados.

Capítulo 2

2 Fundamentação teórica

Nesta seção é descrita a fundamentação teórica para os principais tópicos abordados neste estudo. Primeiro é feita uma revisão bibliográfica sobre as ocorrências de dengue ao longo dos séculos ao redor do globo, nas Américas, no Brasil e Rio de Janeiro. Em seguida, é apresentada a definição do fenômeno ENSO presente na literatura, junto com uma revisão bibliográfica sobre a relação das ocorrências de dengue com fenômenos de variabilidade climática ao redor do mundo. Por fim é exibida a descrição matemática das transformadas de ondeletas simples e cruzada e uma revisão bibliográfica de suas diversas aplicações, além de exemplificações de como interpretar e analisar sua saída gráfica.

2.1 Histórico sobre a dengue

De acordo com a história, os registros precursores de dengue mais confiáveis são datados do século XVIII, tendo como responsável o comércio de escravos entre a África Ocidental, local fonte do mosquito vetor *Aedes aegypti*, e as Américas, promovendo a introdução e distribuição geográfica generalizada do mosquito vetor, sendo estendido até o século XIX (GUBLER, 2006). No final desse século até as décadas iniciais do século XX, houve registro de vários casos da doença a nível mundial. Henchal e Putnak (1990) citam as epidemias na Filadélfia (1780), Zanzibar (1823 e 1870), Calcutá (1824, 1853, 1871 e 1905), Antilhas (1827), Hong Kong (1901), Estados Unidos (1922), Austrália (1925-1926, 1942), Grécia (1927-1928) e Japão (1942-1945).

Nas Américas, o mosquito *Aedes aegypti* foi considerado erradicado em boa parte dos países em meados do século XX após uma resolução do Conselho Diretor da Organização Pan-Americana da Saúde contra a febre amarela apresentada em 1947 (SOPER, 1963), porém, devido à política de alguns países de não exercerem programas de erradicação e da falta de continuidade de ações já iniciadas em outros, houve reinfestação do mosquito.

No Brasil, o retorno da febre amarela ocorreu em Belém, em 1967 e São Luiz, em 1968, sendo depois erradicada. Quando o mosquito reinfestou nos estados da Bahia em 1976 e Rio de Janeiro, em 1977, houve o início da sua dispersão por todo o país (PONTES e RUFFINO NETTO, 1994). A primeira epidemia brasileira de dengue ocorreu entre os anos de 1981 e 1982, em Boa Vista, no estado de Roraima (OSANAI, 1984), sendo ela restrita a esta localização.

A Região Sudeste é a de maior incidência de dengue, tendo maior população e recursos para realização de diagnóstico e notificação (BORGES, 2001). A dengue recebeu um caráter epidemiológico quando o Estado do Rio de Janeiro teve uma epidemia no ano de 1986 que se alastrou para outras regiões brasileiras (BRAGA e VALLE, 2007). Dentro do Estado do Rio de Janeiro, o maior número de casos são encontrados na região metropolitana, com a maioria na sua capital, Rio de Janeiro, seguido por outras localidades da mesma região - Niterói e Baixada Fluminense, sendo essa última o local onde teve o início da propagação da doença no estado (MIAGOSTOVICH *et al.*, 1993).

De acordo com Dick et al. (2012), a dengue nas Américas tem um padrão endemo-epidêmico com surtos a cada 3 a 5 anos, porém observa-se a mudança para um padrão altamente endêmico com o aumento no número de casos ao longo dos anos, principalmente na primeira década do século XXI com dois surtos panamericanos registrados nos anos de 2002 e 2010.

2.2 El Niño Oscilação Sul

El Niño Oscilação Sul, do inglês *El Niño South Oscillation (ENSO)*, é uma variação periódica irregular interanual no regime de ventos e na temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Oceano Pacífico tropical leste, resultado das interações entre o oceano e a atmosfera. O nome “El Niño” no fenômeno é utilizado para caracterizar a periodicidade da TSM, sendo denominadas três fases: uma de aumento anômalo da TSM (El Niño) e outra de diminuição anômala (La Niña), além da fase neutra (L'HEUREUX, 2014).

Oscilação Sul é o termo relacionado à componente atmosférica do fenômeno, caracterizado pelas diferenças de pressão ao nível médio do mar (PNMM) entre o leste e o oeste do Oceano

Pacífico tropical (Tahiti e Darwin, respectivamente). A oscilação é mensurada através do Índice de Oscilação Sul, do inglês *South Oscillation Index (SOI)*, cujo detalhamento será dado na subseção “Índices ENSO”. Um aspecto importante a ser abordado é sua ligação direta com as variações de TSM.

No Pacífico oriental, a corrente de Humbolt ou corrente do Peru traz águas mais frias do Oceano Antártico para os trópicos. Além disso, ao longo da região da linha do equador, os ventos fortes do leste fazem com que as correntes oceânicas no leste do Pacífico atraiam água do oceano mais profundo para a superfície, ajudando a manter a superfície fria. Sob a influência dos ventos equatoriais, esta água fria flui para o oeste ao longo do equador, onde é lentamente aquecida pelo sol tropical. Sob condições consideradas normais, o Pacífico tropical ocidental é de 8 a 10 ° C mais quente que o Pacífico tropical oriental (AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY, 2005; AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY, 2008).

Em uma situação típica, ou seja, na fase neutra, menores valores de PNMM a leste e maiores valores de PNMM a oeste do Oceano Pacífico tropical impulsionam uma circulação de leste, levando as águas superficiais mais aquecidas para oeste, propiciando precipitação na região. Essa fase pode ser visualizada na Figura 2.1. Quando o gradiente de pressão entre os locais se enfraquece, os ventos alísios enfraquecem, associados com o aquecimento das águas oceânicas central e oriental, trazendo precipitação para esses locais e caracterizando o evento El Niño (Figura 2.2). Associado com o aumento da temperatura do Pacífico oriental, tem-se a inclinação da termoclina suavizada, pois os ventos alísios menos intensos dificultam a subida das águas mais profundas e frias até a superfície. Tendo a situação inversa, ou seja, com um gradiente de pressão mais intenso, os ventos alísios também intensificam proporcionalmente, sendo então as águas oceânicas anormalmente frias, ocorrendo o fenômeno La Niña (CPC/NOAA, 2012). Nesta situação, a termoclina se mostra com maior inclinação, sendo relacionada com os alísios mais pronunciados, promovendo uma ressurgência mais intensa. A Figura 2.3 ilustra o fenômeno.

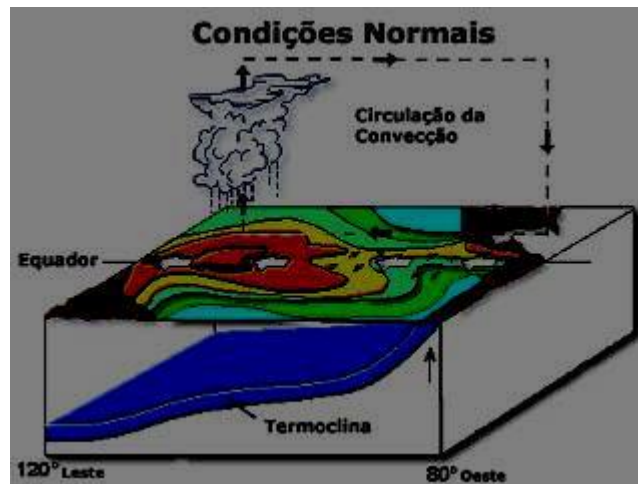


Figura 2.1 - Fase neutra do fenômeno ENSO (Fonte: <http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt>).

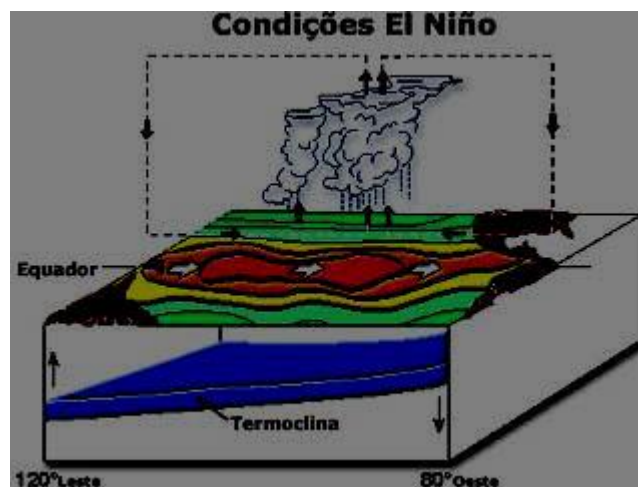


Figura 2.2- Fase El Niño do fenômeno ENSO (Fonte: <http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt>).

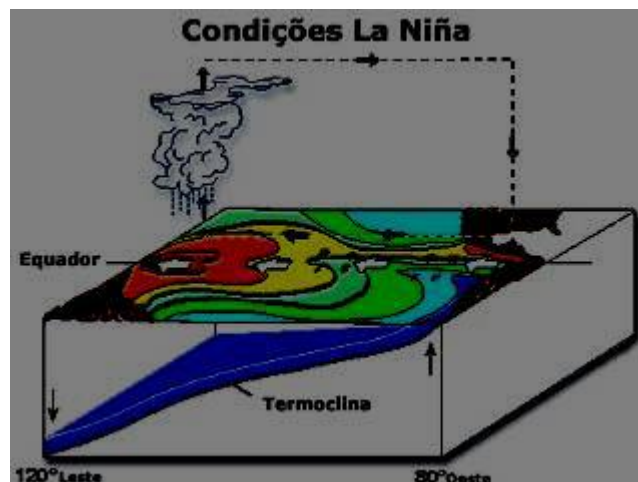


Figura 2.3– Fase La Niña do fenômeno ENSO (Fonte: <http://enos.cptec.inpe.br/lanina/pt>).

O ENSO é relacionado diretamente com a célula de Walker, que é uma célula de circulação atmosférica no eixo leste-oeste localizada sobre o oceano Pacífico tropical, na qual a elevação do ar ocorre sobre as áreas mais quentes – comumente a oeste, e movimento subsidente nas porções mais frias – comumente a leste (AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY, 2005). Essa circulação é causada pela força do gradiente de pressão, resultando em maiores valores de pressão a leste e menores a oeste, sobre a Indonésia (AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY, 2008).

Durante as condições não-El Niño, a circulação de Walker é vista na superfície através dos ventos alísios orientais que movem a água e o ar aquecido pelo sol em direção ao oeste. Isso também cria ressurgência oceânica ao largo das costas do Peru e do Equador e traz água fria e rica em nutrientes à superfície, aumentando os estoques pesqueiros (JENNINGS et al., 2009). Em condições de El Niño, o sistema muda: vê-se ventos alísios mais fracos sobre o Pacífico, menos chuva que o normal sobre a Indonésia e mais chuvas que o habitual sobre o Pacífico central ou oriental. Durante alguns eventos de El Niño, os alísios ao longo do equador até invertem, o que é possível observar pelo comportamento dos ventos de baixos níveis (BECKER, 2014).

2.3 Variabilidade climática e dengue

A transmissão de dengue pode ser influenciada por diversos fatores de variabilidade climática. Simulações feitas a partir de modelos numéricos com o intuito de observar a resposta do mosquito *Aedes aegypti* às variações climáticas indicaram que variações no clima podem induzir grandes variações na propagação da dengue em escala global, além de estarem fortemente correlacionadas com casos históricos registrados, especialmente na América Central e Sudeste Asiático (HOPP E FOLEY, 2003).

Um aspecto importante na avaliação da ocorrência de dengue no México é referente à relação positiva entre o aumento na TSM do Oceano Pacífico tropical e o aumento no número de casos de dengue (HURTADO-DIAZ et al., 2007). Adicionalmente, o risco de infecção por febre de dengue se mostra 2,77 vezes maior durante os eventos de El Niño em comparação com a sua fase neutra em doze províncias com predominância de condições quentes e úmidas, sendo o valor do risco diretamente influenciado pelos eventos de variabilidade mais intensos (COLÓN-GONZÁLEZ et al., 2011).

Ciclos de proliferação da doença de 1 e 3-4 anos foram detectados em duas regiões norte-centrais da Venezuela, que correspondiam ao clima local e à variação do ENSO nas escalas sazonal e interanual (a cada 2–3 anos). Essas regiões são conhecidas por terem as maiores quantidades de casos registrados de dengue no país. Uma característica a ser destacada é que a prevalência dos picos de incidência de dengue ocorreu durante os anos mais quentes e secos do El Niño, indicando a influência climática exercida pelo ENSO através de mudanças locais de temperatura e precipitação (VICENTINI-GONZALEZ et al., 2018).

A relação entre a dengue e fenômenos de variabilidade climática também foi estudada em países asiáticos. Liao et al. (2015) constataram que surtos de dengue ocorridos em áreas urbanas densamente povoadas do sul de Taiwan durante 2006 e 2009 foram fortemente associados com anomalias positivas de TSM na região do Oceano Pacífico tropical (região Niño 3). Esse resultado sugere que um aumento na temperatura regional rege a influência do ENSO sobre a taxa de incidência da dengue.

A dengue tem relação, no Paquistão, com o Dipolo do Oceano Índico - DOI, um outro modo de variabilidade interanual. O surto de dengue ocorrido de 2010 a 2012 se mostrou correlacionado ao DOI. Um efeito moderado de La Niña ocorreu no mesmo período. A interação entre o DOI e La Niña foi observada após 2007, e acredita-se que sua intensificação desencadeou inundações no país e pode ter causado o surto de dengue em 2011 (ATIQUE et al., 2016). Em Bangladesh, sudeste da

Ásia, há uma fraca associação entre ENSO, DOI e incidência de dengue. Entretanto, essa conexão pode ser impulsionada pelos efeitos mais fortes de variáveis climáticas locais, como temperatura e precipitação (BANU et al., 2015). Por outro lado, a transmissão de dengue nessa localidade é significativamente relacionada com o período de monções, no qual são registrados altos valores médios de precipitação e umidade (ISLAM et al., 2018). Isso pode ser relacionado à sua proximidade com a Índia, cujo clima é regulado diretamente pelo regime de monções.

2.4 Transformada de ondeleta

A transformada de ondeleta (TO) se mostrou ao longo dos anos uma ferramenta de grande utilidade no estudo de transmissão de doenças epidêmicas como a dengue por permitir a decomposição de sinais não estacionários, tendo entre suas vantagens as variações em frequência e a detecção de estruturas temporal e/ou espacialmente localizadas (DOMINGUES et al., 2003).

A nomenclatura ondeleta (em inglês, *wavelet*) se refere ao conjunto de pequenas ondas formadas por dilatação e translação de uma função $\psi(t)$, quadraticamente integrável no intervalo dos números reais, ou seja, deve possuir energia finita (REBOITA, 2004). Esta função é denominada ondeleta mãe, e as funções geradas através dela são as ondeletas filhas (WENG E LAU, 1994).

A TO permite analisar periodicidade de ventos em diferentes escalas de variabilidade temporal e não necessita de série estacionária (SANTOS et al., 2013). Sendo assim, pode ser utilizada para analisar séries temporais com potência não estacionária em diferentes frequências (DAUBECHIES, 1990). Para ser admissível como ondeleta, a função deve ter média zero e localizada em ambos espaços de tempo e frequência (FARGE, 1992). Uma função que satisfaz essa condição é a ondeleta de Morlet, que consiste em uma onda exponencial complexa (onda seno) multiplicada por um envelope gaussiano:

$$\psi_0(t) = \pi^{-1/4} e^{i\omega t} e^{-1/2t^2} \quad (2.1)$$

onde t é um parâmetro de tempo adimensional e ω é a frequência adimensional ou parâmetro da ondeleta de Morlet e deve ser escolhido de forma a garantir que a condição de admissibilidade seja

mantida. Aqui o valor utilizado é $\omega=6$, a fim de satisfazer essa propriedade (TORRENCE E COMPO, 1998). A função se mostra adequada para a análise de sinais geofísicos e séries temporais por sua quantidade grande de oscilações.

A TO contínua é obtida pela convolução entre a série temporal da variável de estudo com a função ondeleta $\psi(t)$ dilatada e transladada:

$$W(\tau, s) = \sum_t X_t \frac{1}{\sqrt{s}} \psi * \left[\frac{t - \tau}{s} \right] \quad (2.2)$$

Onde X_t representa a função da série temporal, $\frac{1}{\sqrt{s}}$ é o fator normalizador de energia das ondeletas, (*) representa o conjugado complexo, τ é o parâmetro de translação e s é o parâmetro de dilatação (escala). A convolução deve ser feita, para cada escala, de acordo com o número total de pontos da série temporal.

O espectro de potência da ondeleta, representa a densidade de energia da ondeleta em tempo e frequência e é obtido pelo quadrado do módulo (ou amplitude) da transformada, já corrigida com o parâmetro de dilatação $\frac{1}{s}$ para evitar resultados subestimados para altas frequências (LIU et al., 2007):

$$P(\tau, s) = \frac{1}{s} |W(\tau, s)|^2 \quad (2.3)$$

A transformada de ondeleta cruzada (TOC), do inglês *crosswavelet transform*, é uma ferramenta útil para testar conexões propostas entre diferentes variáveis/séries temporais. De acordo com a versão retificada de Veleza et al. (2012), a TOC para duas séries temporais distintas x e y é dada por:

$$W_{x,y}(\tau, s) = \frac{1}{s} W_x(\tau, s) W_y(\tau, s) \quad (2.4)$$

onde W_x e W_y são as TOs das variáveis x e y , respectivamente, que são obtidas pela equação 2.2, e $\frac{1}{s}$ é o parâmetro de dilatação utilizado para correção. A TOC é considerada um análogo da covariância, indicando a interdependência numérica entre duas variáveis.

A potência da ondeleta cruzada é obtida pelo módulo da equação 2.4, sendo uma avaliação da potência das duas séries nos domínios do tempo e frequência:

$$P_{x,y}(\tau, s) = |W_{x,y}(\tau, s)| \quad (2.5)$$

A diferença de fase de uma série x em relação a uma outra série y é dada pelo argumento da TOC, que é o ângulo entre o eixo positivo da parte real da função complexa e o seu módulo (amplitude):

$$Ang_{x,y}(\tau, s) = Arg(W_{x,y}(\tau, s)) \quad (2.6)$$

Essa fórmula é equivalente à diferença de fases individuais convertida para um ângulo dentro do intervalo $[-\pi, \pi]$. Valores absolutos menores que $\pi/2$ caracterizam séries em fase, sendo o sinal um indicativo da série x liderando na região positiva e y na negativa. As séries se encontram defasadas para valores absolutos maiores que $\pi/2$, podendo estar em antifase.

O espectro de ondeleta global é uma forma de representar graficamente o comportamento da variância na ondeleta, exibindo os períodos com maior energia dentro da série, isto é, a potência média ao longo do tempo.

2.5 Visualização gráfica da transformada de ondeleta

Tendo como base a apostila guiada de Rösch e Schmidbauer (2014) para o pacote WaveletComp, são apresentados nesta seção exemplos de séries periódicas e suas saídas gráficas dos espectros de potência uni e bivariado, além dos espectros globais.

i) Série periódica simples com espectro de potência de ondeleta univariada

O primeiro exemplo é uma função periódica com valores estabelecidos de período igual a 50, amplitude igual a 1 e comprimento igual a 1000. A função é representada na figura 2.4.

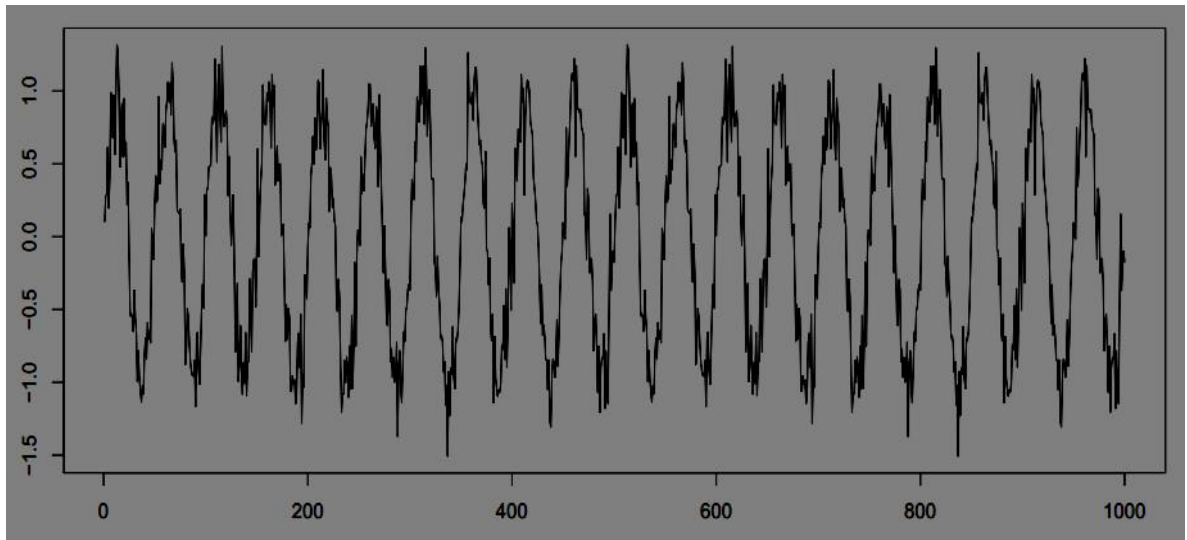


Figura 2.4– Série de período igual a 50, amplitude igual a 1 e comprimento igual a 1000 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014).

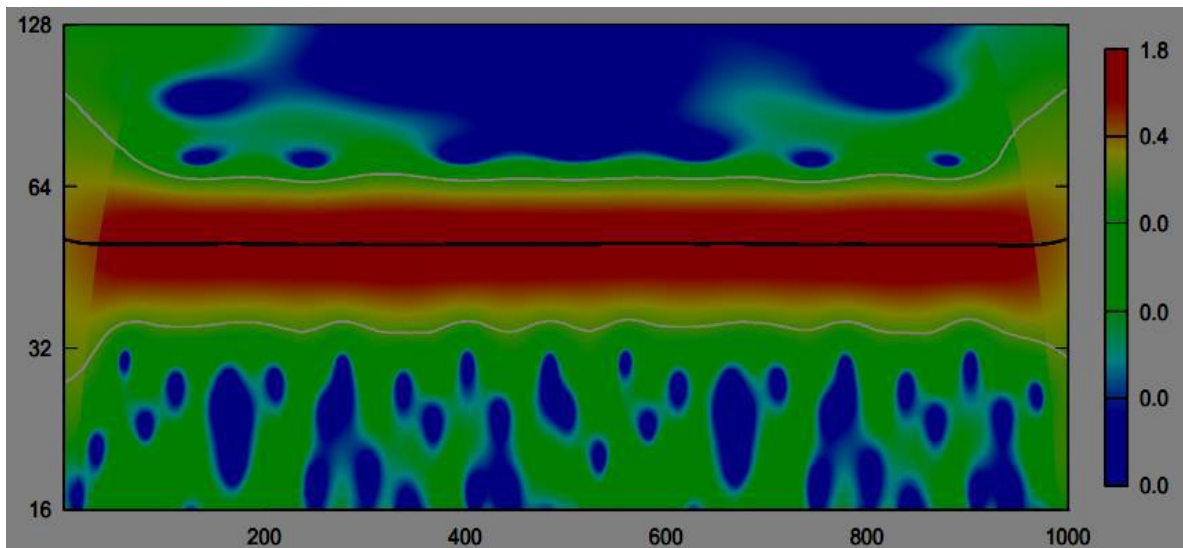


Figura 2.5- Espectro de potência de ondeleta da função periódica com período igual a 50, amplitude igual a 1 e comprimento igual a 1000 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014).

Por conta da função ter um valor constante de período atribuído, isto se traduz no seu espectro de potência (Figura 2.5). O valor máximo de potência, caracterizado pela cor vermelha de acordo com a escala posicionada à direita, se localiza em uma única região do gráfico de forma horizontal

ao longo de toda a série, abrangendo a reta correspondente ao período igual a 50, de acordo com a escala vertical. É importante ressaltar que há um cone de influência representado pelo sombreado branco nas bordas, indicando que as transformadas que estão inseridas nele não são influenciadas por efeitos de borda e possuem significância estatística. Adicionalmente, tem-se contornos em linhas brancas sólidas que ressaltam onde há maior significância dentro o que se encontra no cone, com valor padrão igual a 0,1.

ii) Duas séries periódicas com espectros de ondeleta global

O segundo exemplo retrata duas séries distintas x e y . Ambas possuem o comprimento igual a 1000 e subséries de períodos iguais a 60 e 100, porém distribuídos de formas diferentes (Figura 2.6). A série x possui o período maior (100) somente na sua primeira parte, com a menor periodicidade (60) na segunda parte. Em contrapartida, a série y apresenta as duas subséries de forma distribuída por todo seu comprimento.

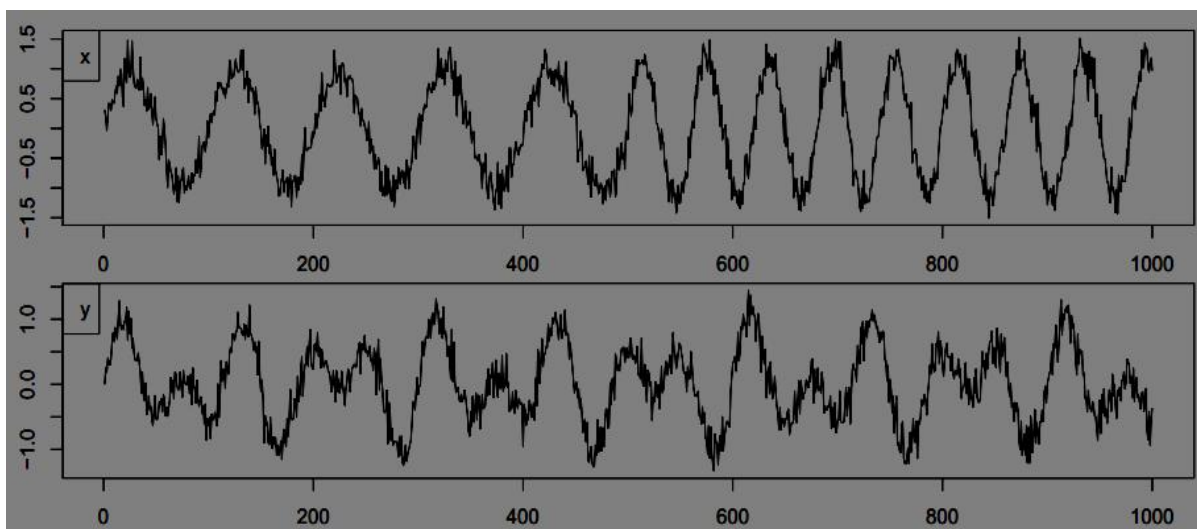


Figura 2.6 - Séries temporais das funções x e y de subperíodos igual a 60 e 100 e comprimento igual a 1000 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014).

O espectro de ondeleta global representa a média da potência da série ao longo do tempo (Figura 2.7). O seu eixo horizontal representa a potência média e o eixo vertical representa o período. Existem pontos azuis e vermelhos associados a níveis de significância estatística de 0,01 e 0,05 (99 e 95%), respectivamente, indicando onde estão as seções mais potentes da série ao todo.

O que se pode notar é que as duas funções possuem a potência média mais intensa associada aos subperíodos de 60 e 100, apesar das diferenças de distribuição em cada série.

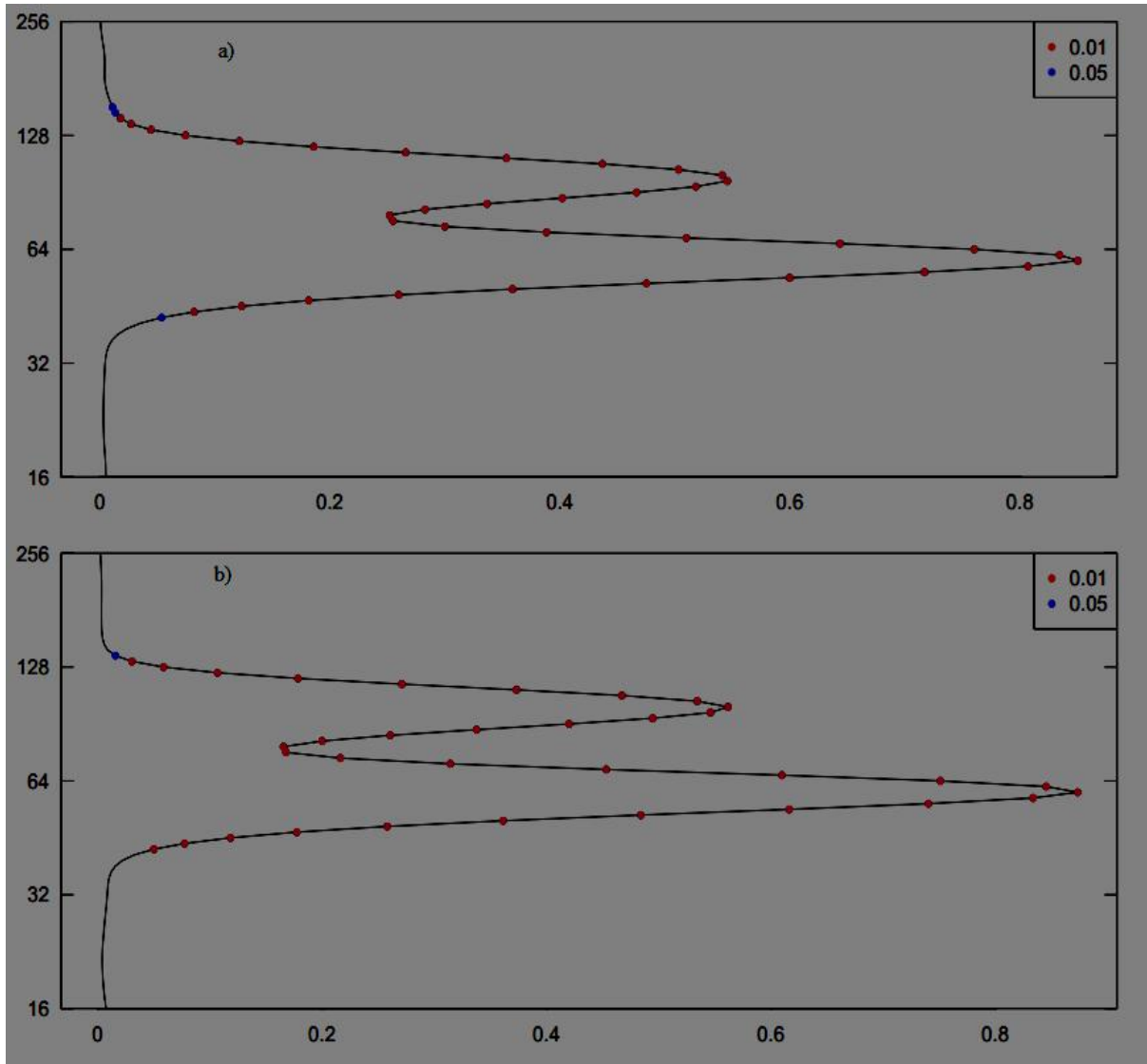


Figura 2.7 - Espectro de ondeleta global relativo a (a) função x e (b) função y (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014 – adaptado).

iii) Duas séries periódicas distintas com espectro de potência bivariada e espectro global

Este terceiro exemplo diz respeito a um outro par de funções x e y. Ambas representam observações horárias de um intervalo de 96 dias e possuem períodos 1, 2, 4, 8 e 16 iguais, sendo o período igual a 4 de maior amplitude para ambas as funções. O que difere as séries é a aplicação

de maior amplitude para o período igual a 16 somente para a série y de forma adicional (Figura 2.8).

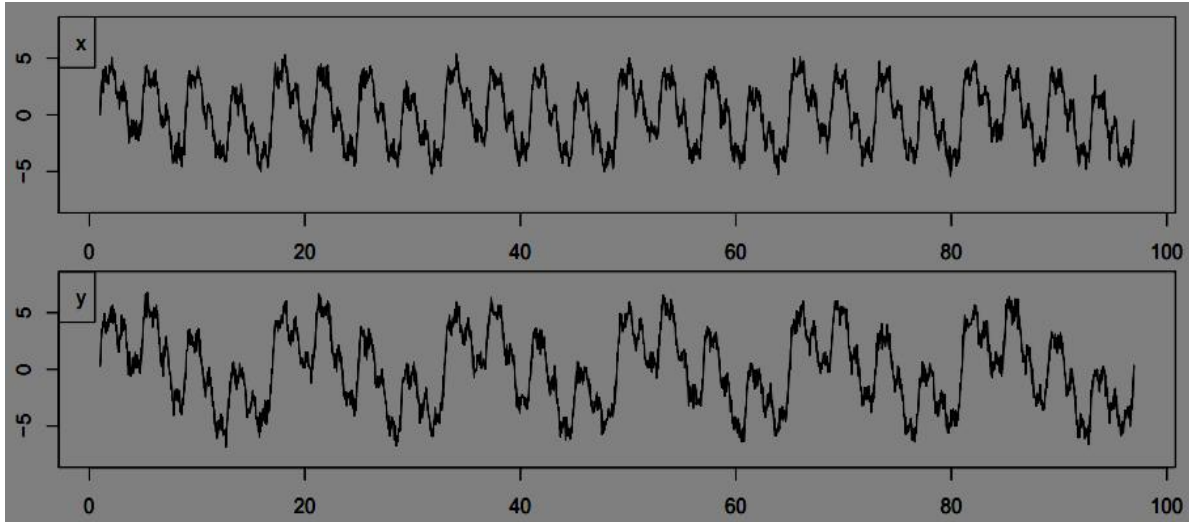


Figura 2.8 - Séries temporais das funções x e y de subperíodos 1, 2, 4, 8 e 16 e comprimento igual a 96 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014).

O espectro de potência bivariado mostra o nível de covariância entre as séries que se quer avaliar (Figura 2.5.6). Aqui são utilizados os mesmos critérios e valores de significância estatística do primeiro exemplo desta seção. É possível observar dentro do cone de influência que os períodos fixados (1, 2, 4, 8 e 16) para as duas funções são os que possuem maiores valores no espectro. Os que mais se destacam são os períodos iguais a 4 e 16; o primeiro se repete mais intenso nas duas funções, apresentando então maior potência cruzada, enquanto que o segundo valor é bem mais intenso somente para a função y, o que torna evidente a ligeira diferença no sinal de potência.

Esta análise bivariada traz, além do espectro de potência de ondeleta, a análise das possíveis diferenças de fase, representadas pelos vetores pretos. É notável que neste caso, eles estão posicionados exatamente para a direita em todas as faixas dos períodos fixos. De acordo com a abordagem apresentada na seção 2.4 sobre este item, isto significa que as funções estão em fase, ou seja, sem atrasos ou adiantos entre si.

O espectro de ondeleta global do cruzamento das funções x e y (Figura 2.9) reforça o significado da saída de potência anterior, mostrando o retorno para todos os períodos fixos, além de mostrar os períodos 4 e 16 como os mais potentes, respectivamente, dentro da significância estatística de 0,1 e 0,05 (90 e 95%).

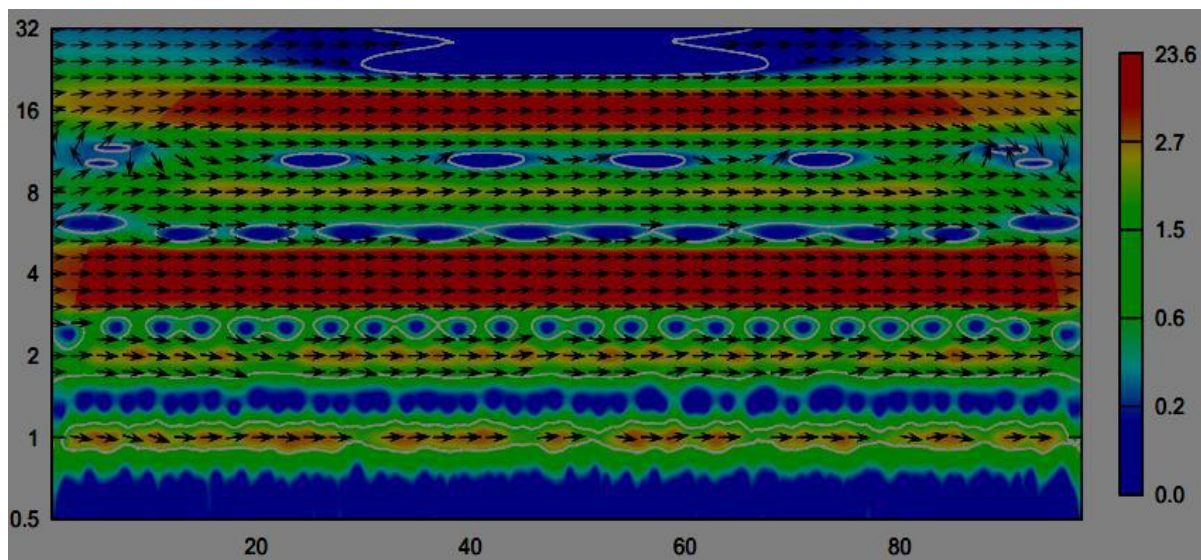


Figura 2.9 – Espectro de potência bivariado das funções x e y de subperíodos 1, 2, 4, 8 e 16 e comprimento igual a 96 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014 – adaptado).

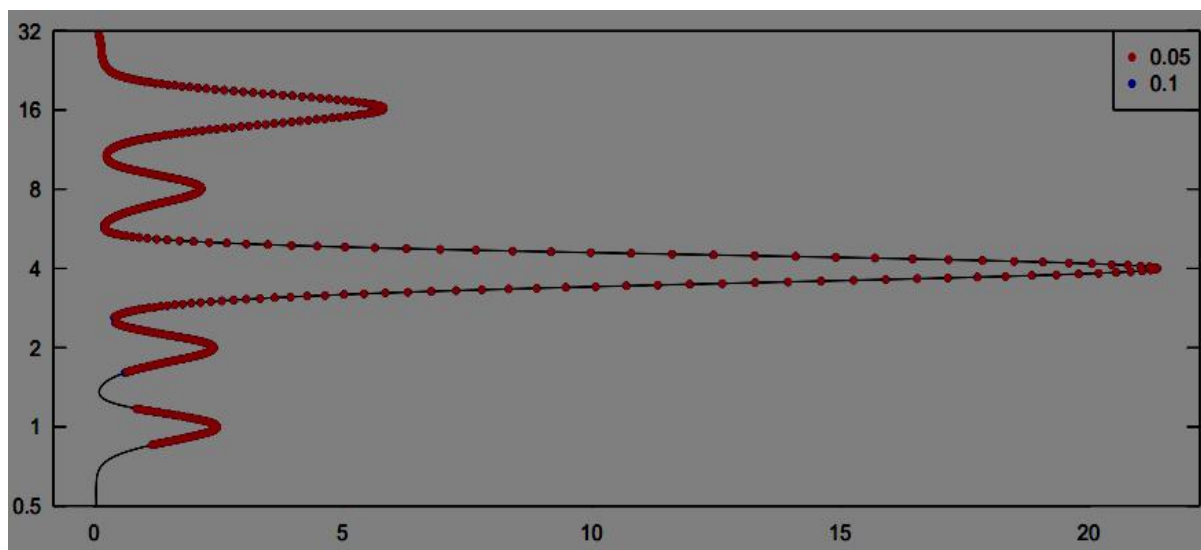


Figura 2.10 - Espectro de ondeleta global do cruzamento das funções x e y de subperíodos 1, 2, 4, 8 e 16 e comprimento igual a 96 (Fonte: Rösch e Schmidbauer, 2014 - adaptado).

2.6 Aplicação da transformada de ondeleta no estudo da dengue

Esta ferramenta se mostrou muito útil ao longo das últimas décadas, sendo aplicada primeiramente nas análises de sinais geofísicos. A possibilidade de avaliação dos sinais nos domínios de tempo e frequência e de forma local deu início a diversos estudos atmosféricos, como por exemplo: análise de eventos de frente fria, mudanças seculares nas variabilidades anual e interanual nos trópicos e análise da estrutura temporal da Oscilação Sul (GAMAGE E BLUMEN, 1993; GU E PHILANDER, 1995; WANG E WANG, 1996).

Nos últimos anos, a TO tem sido aplicada para estudar a periodicidade das ocorrências de dengue associada com diversos fenômenos de variabilidade existentes em diversas regiões do globo. Johansson et al. (2009), por exemplo, estudaram a transmissão da dengue em Porto Rico, México e Tailândia utilizando a TO e concluíram que nas áreas tropicais e subtropicais ela tipicamente segue um padrão sazonal pontuado por intervalos de alguns anos por uma grande epidemia. Essas áreas geralmente possuem características climáticas de temperaturas altas e grandes volumes de precipitação, sendo assim ambientes propícios para o crescimento da doença. O estudo da associação entre ENSO e dengue neste trabalho mostrou que a variabilidade climática multianual pode ter um papel na dinâmica endêmica interanual da dengue.

Talagala e Lokupitiya (2015), utilizaram o método de TO para analisar as notificações semanais de dengue entre 2009 e 2014 e tentar identificar os padrões de surtos epidêmicos em 25 distritos no Sri Lanka. A dinâmica da dengue mostrou padrões periódicos de 2-8 semanas (aproximadamente mensal/bimestral), 26-32 semanas (aproximadamente semestral) e 52 semanas (aproximadamente anual). O primeiro padrão mostrou uma característica intermitente, enquanto que os outros apresentaram uma significância inconsistente apesar do espectro de potência indicar altos valores.

Chuang et al. (2017) avaliaram dados históricos de séries temporais sobre surtos de dengue no sul de Taiwan de 1998 a 2015. A abordagem de coerência com a TOC foi usada para avaliar a oscilação regional do ENSO e efeitos do DOI sobre a incidência da dengue e variáveis climáticas locais. Ambos foram associados à padrões interanuais não-estacionários de transmissão de dengue. O DOI teve um impacto maior na sazonalidade das condições climáticas locais. Dentre os índices representativos do ENSO, o que teve melhor resposta local foi o Niño 3.4 pela alta coerência com casos de pico de dengue.

Enduri e Jolad (2017) analisaram os surtos de dengue pós-monsoão na cidade de Ahmedabad, no oeste da Índia, de 2005 a 2012. A correlação cruzada da dengue com a precipitação e a temperatura foi estudada e descobriu-se que há uma defasagem de 9 semanas (20 semanas) entre o pico de precipitação (temperatura média) e o pico das incidências de dengue. A análise de coerência de ondeleta das incidências de dengue e

precipitação revelou uma faixa de 16 a 32 semanas entre 2008 e 2012 com alta coerência. A análise para incidências de temperatura e dengue mostra uma coincidência de fase e, em seguida, uma pequena liderança de casos de dengue sobre a temperatura entre 2008 e 2012 na faixa de 16 a 32 semanas.

Xiao et al. (2018) investigaram a periodicidade da dengue e a relação entre variáveis climáticas, ENSO e incidência de dengue na província de Guangdong, China, utilizando dados mensais de incidências e dados meteorológicos de dengue em Guangdong e dados do índice El Niño na região 3.4 do Oceano Pacífico tropical entre 1988 e 2015. A análise de ondeleta foi utilizada para investigar a periodicidade da dengue e as fases de coerência e atraso entre as variáveis meteorológicas, dengue e o ENSO. A dengue em Guangdong apresentou uma periodicidade anual dominante em todo o período. A temperatura média mínima, a precipitação total e a umidade relativa média estavam positivamente relacionadas à incidência de dengue por 2, 3 e 4 meses, respectivamente. O ENSO pode ter impulsionado as epidemias de dengue em 1995, 2002, 2006 e 2010. Os autores, citando Cai et al. (2014), complementam que eventos de super El Niño poderiam dobrar e o ciclo ENSO pode se tornar mais intenso no futuro devido às mudanças climáticas.

Iguchi et al. (2018) utilizaram a análise de coerência das TO de fatores meteorológicos e ocorrências semanais de dengue para estudar as possíveis relações não estacionárias entre as variáveis em Davao, Filipinas, entre 2011 e 2015. Foi detectada periodicidade significativa na faixa de 7 a 14 semanas entre o ano de 2011-2012 e uma periodicidade de 26 semanas a partir do ano 2013-2014. Para temperatura do ponto de orvalho e incidências de dengue, os resultados da TO revelaram periodicidade de 20 a 26 semanas de 2012 a 2013, bem como faixa de 50 a 60 semanas de 2011 a 2015. Eles enfatizaram que embora alguns estudos tenham notado que a atividade do *Aedes aegypti* seria alta nos períodos chuvosos, há indícios de que mesmo na estação seca a atividade do mosquito pode ser aumentada.

Um estudo recente no Brasil, feito por Gabriel et al. (2018) para a cidade de Ribeirão Preto, São Paulo, relacionou o índice de precipitação local com as incidências de dengue registradas entre 2000 e 2016. Nesse artigo é destacada a ocorrência da crise hídrica a partir de 2014, fato este que pode ter contribuído para a proliferação da dengue devido ao estocamento de água feito pela população. Com relação à precipitação, foi visto que essa possui influência mais significativa nos casos de dengue até no máximo cinco meses após a ocorrência em um determinado mês. Ela também apresentou correlação razoável nas defasagens de dois a três meses.

Capítulo 3

3 Materiais e Métodos

A metodologia deste estudo tem como base a análise de dados de ocorrência de dengue e diversos índices representativos da variabilidade do ENSO, no domínio do tempo e no domínio da frequência, de forma simples e cruzada, frisando os padrões interanuais e suas oscilações durante o período de estudo. Adicionalmente, tem-se os métodos de análise estatística dos índices ENSO, a fim de verificar quais são mais representativos para a região de estudo.

3.1 Índices ENSO

Os índices representativos da variabilidade ENSO são disponibilizados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA* através de um painel de controle disponível em link online (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/dashboard.html>). Esses índices auxiliam na caracterização do fenômeno em diversas regiões, relacionando-as a aspectos atmosféricos ou oceânicos. Alguns deles são resultado da junção entre diferentes índices, passando por processos de normalização de dados. Todos os índices possuem amostragem mensal, sendo utilizado o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2017.

i) Niño 4:

Anomalias de TSM (°C) calculadas sobre a região 5 ° S - 5 ° N; 150° W - 160 ° E . Calculado a partir do conjunto de dados da temperatura da superfície do mar reconstruída, do inglês *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST)*, com frequência mensal.

ii) Niño 3.4:

Anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) calculadas sobre a região $5^{\circ}\text{S} - 5^{\circ}\text{N}$ e $170^{\circ}\text{W} - 120^{\circ}\text{W}$. Correlaciona bem com teleconexões para a América do Norte. Calculado a partir do conjunto de dados *ERSST*, com frequência mensal.

iii) Niño 3:

Anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) calculadas sobre a região $5^{\circ}\text{S} - 5^{\circ}\text{N}$; $150^{\circ}\text{W} - 90^{\circ}\text{W}$. Calculado a partir do conjunto de dados *ERSST*, com frequência mensal.

iv) Niño 1+2:

Anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) calculadas sobre as regiões NINO1 e NINO2 $10^{\circ}\text{S} - 0^{\circ}$; $90^{\circ}\text{W} - 80^{\circ}\text{W}$, estando a leste da maioria dos índices Niño. Calculado a partir do conjunto de dados *ERSST* com frequência mensal.

ERSST é um conjunto de dados da temperatura da superfície do mar global mensal derivado do Conjunto de Dados Internacional Compreensivos de Oceano-Atmosfera, do inglês *International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS)*. A versão disponível no período de dados é a quatro, sendo referida como v4 pela instituição. Os quatro índices acima possuem totais de TSM disponíveis. A Figura 3.11 apresenta as regiões de abrangência dos índices Niño no Oceano Pacífico tropical.

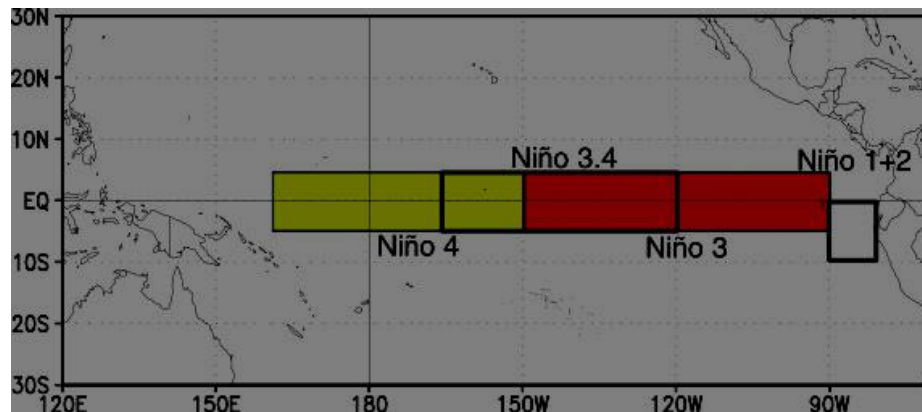


Figura 3.11 - Regiões de medição de TSM para os índices Niño 4, Niño 3.4, Niño 3 e Niño 1+2 (Fonte: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml).

v) Índice de Niño Oceânico - *Oceanic Niño Index (ONI)*:

Resultado do cálculo da média de 3 meses de anomalias de TSM (°C) na região de medição do índice Niño 3.4 (5 ° S - 5 ° N, 170 ° W - 120 ° W). A média é feita a partir dos dados do ERSST V4.

vi) Índice de Oscilação Sul – *South Oscillation Index (SOI)*:

O SOI é descrito como um índice padronizado que relaciona as diferenças de pressão ao nível do mar observadas entre os oceanos Pacífico oeste e leste (Darwin, Austrália e Tahiti, Polinésia Francesa, respectivamente) na região tropical próxima ao continente australiano. Esse índice representa o componente atmosférico do ENSO. O sinal é oposto ao dos índices Niño anteriores, ou seja, valores negativos indicam anos de El Niño enquanto que valores positivos indicam anos de La Niña. Outra característica do SOI é de ser um índice mais ruidoso em comparação aos outros disponíveis.

A fase negativa do SOI indica valores de pressão atmosférica abaixo do normal em Tahiti e acima do normal em Darwin. Quando essa fase se prolonga, as águas do Pacífico leste tropical coincidentemente mostram uma anomalia positiva de temperatura, característico de períodos de El Niño. Já na fase positiva do SOI ocorre o oposto, invertendo-se os padrões de pressão e tendo águas anormalmente frias no Pacífico leste tropical, definindo a fase La Niña do ENSO.

vii) Índice de ENSO Bivariado – *El Niño-Southern Oscillation Index (BEST)*:

O Niño 3.4 e SOI são normalizados e combinados, sendo este processo detalhado ao decorrer da descrição do índice BEST. A TSM é proveniente do *Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature Data Set (HadISST)* na versão 1.1. O SOI é o mesmo disponibilizado pelo Centro de Previsão Climática - *Climate Prediction Center (CPC)* da NOAA. O BEST é produzido pela Divisão de Ciências Físicas - *Physical Sciences Division (PSD)*, uma divisão do Laboratório de Pesquisas do Sistema Terrestre - *Earth System Research Laboratory (ESRL)*, também pertencente à NOAA. O índice BEST é dado em graus Celsius.

O índice BEST é calculado da forma descrita a seguir. A climatologia média mensal para o período 1898-2000 é removida para todos os dados. Em seguida, os valores são padronizados mensalmente, para que cada mês tenha uma média igual a 0 e um desvio padrão igual a 1 para todos os anos durante o período de tempo de saída. Os valores de TSM e SOI resultantes são

calculados para cada mês da série temporal. Então, uma média de 3 ou 5 meses corridos é aplicada a ambas as séries temporais.

O Niño 3.4 é geralmente usado como uma medida da intensidade do ENSO no Pacífico tropical. No entanto, o seu uso sozinho negligencia processos atmosféricos explícitos por utilizar somente dados relacionados ao oceano. Adicionando o SOI, esses processos são mais diretamente incluídos.

viii) Índice Trans-Niño – *Trans-Niño Index (TNI)*:

Diferença entre o Niño 1 + 2 padronizado e o Niño 4 com média de 5 meses consecutivos, que é então padronizada usando o período 1950-1979. Representa o gradiente de TSM na região ENSO do Pacífico tropical. Calculado a partir do conjunto de dados mensais HadISST1.1.

ix) Oscilação Decadal do Pacífico – *Pacific Decadal Oscillation (PDO)*:

Principal componente das anomalias mensais de TSM (°C) no Oceano Pacífico Norte, ao norte de 20° N, possuindo variabilidade interdecadal, com flutuações de TSM dentro do intervalo de 20 a 30 anos (MANTUA *et al.*, 1997). O índice PDO é obtido pelo método de função ortogonal empírica (FOE), após a remoção da temperatura média global da superfície do mar. Esse método consiste na decomposição de um conjunto de dados em termos de funções de base ortogonal, determinadas a partir dos dados. As análises de FOEs são então calculadas a partir da TSM mensal com base na matriz de covariância temporal do período de 1900-1993. Calculado a partir do *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST)*, cujos dados são provenientes do banco de dados da *University of Washington*, nas versões V1 e V2. Esta interpolação possui médias semanais e mensais, com grade global de 1° de latitude por 1° de longitude, com cobertura de 89.5° S - 89.5° N e 0.5° E – 359.5° E.

x) Padrão Pacífico América do Norte - *Pacific North American Pattern (PNA)*:

O PNA é outro modo também baseado no método de FOE, sendo calculado a partir de anomalias mensais do campo de altura geopotencial em 500 hPa, vindas da reanálise do NCEP. Um PNA positivo consiste em alturas de geopotencial acima do normal sobre o oeste dos EUA e alturas de geopotencial abaixo do normal ao leste dos Estados Unidos, trazendo maiores (menores) temperaturas para a costa oeste (leste), ocorrendo o oposto para a fase negativa. Um PNA positivo

é frequentemente associado a eventos de El Niño e um negativo a eventos de La Niña (HOREL E WALLACE, 1981). Taschetto et al. (2016) abordam de forma mais profunda as diferentes relações entre PNA e ENSO tendo em conta as fases e posicionamentos de ambos os fenômenos. Levando em consideração a relação do ENSO com o PNA, além da interação do ENSO com a variabilidade climática na América do Sul (GRIMM *et al.* 2000; GRIMM, 2004), o PNA foi mantido neste trabalho apesar de ser um índice relativo ao hemisfério norte.

xi) Radiação de onda longa emitida - *Outgoing Longwave Radiation (OLR)*:

O OLR é composto pelas medidas padronizadas de radiação de onda longa emergente sobre a área do Pacífico Equatorial Central (160 ° E - 160 ° W). É uma boa medida de convecção. O OLR negativo representa uma convecção aumentada, enquanto que o OLR positivo indica a diminuição de convecção na área. É calculado no CPC/NOAA.

xii) Conteúdo de calor oceânico - *Heat Content (HEAT)*:

Índice composto pelas anomalias de temperaturas do oceano (°C) integradas a 300 metros de profundidade, na região do Pacífico Central (160° E-80° W), tendo como base a climatologia 1981-2010. Calculado no CPC/NOAA a partir do conjunto de dados pertencentes ao *Global Ocean Data Assimilation System - GODAS*.

3.2 Dados de dengue

Neste trabalho são utilizadas as notificações de casos de dengue disponibilizadas pela Secretaria Municipal de Saúde (SMS) do Município do Rio de Janeiro. Os dados são organizados em planilhas anuais a partir do ano 2000, algumas contendo os totais semanais e mensais e outras somente os totais mensais. As planilhas se encontram disponíveis em link online (<http://www.rio.rj.gov.br/web/sms/exibeconteudo?id=2815389>). Para este estudo, é empregada a amostragem mensal dos totais das ocorrências de dengue para o município, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2017. São utilizados tanto os dados semanais somados para cada mês (de 2000 até 2010) quanto os dados mensais já compilados pela instituição (de 2011 até 2017).

A série temporal do logaritmo de base 10 (\log_{10}) das notificações é calculada partir dos dados originais de notificação de início dos sintomas de dengue, tendo como objetivo manter todas as variáveis dentro da mesma escala de grandeza.

3.3 Aplicação da transformada de ondeleta

Todas as variáveis apresentadas neste trabalho possuem saídas gráficas relacionadas a TO, denominadas: espectro de potência de ondeleta e espectro global. Uma breve descrição de cada um é dada a seguir.

i) Espectro de potência de ondeleta:

É apresentado tanto na versão uni quanto na bivariada. Para ambas, o eixo vertical mostra os períodos em meses, o horizontal mostra a contagem de tempo, também em meses. O espectro de potência apresenta cone de influência, indicando que os resultados plotados na área externa (sombreado branco) estão suscetíveis a efeitos de borda e não possuem significância estatística. Há também linhas brancas de significância da potência da ondeleta a um nível específico (*default* 0,1). A barra de cores representa o nível de potência do sinal; cores mais quentes indicam maiores valores, cores mais frias indicam menores valores. A versão bivariada apresenta a diferença de fase entre as séries como diferencial, representada por vetores.

ii) Espectro de ondeleta global:

Possui a mesma estrutura para os dois tipos de TO abordadas. O eixo vertical mostra os períodos em meses. O eixo horizontal mostra as potências médias. Este espectro possui demarcações de significância das médias feitas no tempo, sendo os valores de 0,05 (95%) e 0,1 (90%) representado por pontos vermelhos e azuis, respectivamente.

As transformadas descritas acima são obtidas a partir do pacote WaveletComp do software R versão 3.4.3, tendo uma apostila guiada para cada etapa e saída gráfica (RÖSCH e SCHMIDBAUER, 2014).

3.4 Análise estatística dos índices e dengue

Além da análise de TO uni e bivariada, também é feita uma análise estatística a partir da construção de equações de regressão linear múltipla, tendo o \log_{10} da dengue como variável dependente e os índices ENSO como as variáveis que explicam a incidência da dengue.

O método de regressão linear múltipla (RLM) é utilizado neste estudo com o objetivo de investigar o nível de relação entre os índices ENSO e a transmissão da dengue para o município do Rio de Janeiro e, assim, verificar quais índices se mostram mais relevantes para o local e que exercem maior influência na transmissão da doença neste local. O método é subdividido em duas formas:

i) RLM completa:

Todos os índices ENSO são inclusos na equação RLM, obtendo-se então o coeficiente de cada um deles.

ii) Regressão *stepwise*:

Otimização da RLM completa, tendo menor quantidade de índices. Obtida através do método *backward*, que se inicia a partir da RLM completa e então, consiste na retirada de índices que mostram menor influência estatística no resultado da equação que representa a variável dependente, a dengue.

Sequencialmente, é feita a análise da estatística descritiva e da variância através de diversas medidas: resíduos, erro padrão residual, erro padrão, valor t, valor p, $\Pr(>|t|)$, R^2 , teste F, soma dos quadrados, valor F, $\Pr(>F)$, RSS (*Residual Sum of Squares*), AIC (*Akaike Information Criterion*). A variância é avaliada com o objetivo de averiguar quais índices possuem uma relação de maior significância estatística com a dengue, para cada forma de RLM abordada. A seguir, são listadas as medidas estatísticas utilizadas para a análise dos resultados.

a) Resíduos: são as diferenças entre a previsão do modelo e o resultado real da variável dependente. Valores pequenos são considerados melhores para o resultado do modelo. A sua saída na sumarização do modelo RLM apresenta os valores dos quantis e mediana, representando como esses resíduos estão distribuídos.

b) Erro padrão residual: é um dos resultados obtidos na estatística descritiva aplicada ao modelo de regressão linear, que consiste na divisão entre a soma dos quadrados dos resíduos e um fator $N - (K+1)$, onde N é o total de variáveis e K é o número total de variáveis subtraído de 1, devido à constante de interceptação. Representa o desvio padrão dos resíduos. Quanto menor seu valor, melhor o modelo de regressão linear. Ele é utilizado na obtenção dos resultados da coluna “Erro padrão” na seção 4.3. Sua fórmula é representada na equação 3.1:

$$EPR = \frac{\sqrt{\sum(y - \hat{y})^2}}{(N - (K + 1))} \quad (3.1)$$

onde y é o valor previsto pelo modelo e \hat{y} é o valor observado.

c) Erro padrão: é feito para cada índice a partir da razão entre o erro padrão residual e a raiz quadrada da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) de cada um deles. Indica o quão bem foram estimados os coeficientes de regressão. Utilizado para calcular o valor t de cada variável da regressão. A equação 3.2 mostra como essa medida é obtida.

$$EP = EPR / \sqrt{SQR} \quad (3.2)$$

d) Valor t: cada coeficiente estimado é dividido pelo seu respectivo erro padrão. Com esse valor, é possível verificar se os coeficientes possuem valores próximos de zero. Quanto maior em módulo, mais distante de zero está o coeficiente.

e) Valor p: conhecido como probabilidade de significância, é definido como a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, sob a hipótese nula. O seu limiar é fixado em 0,05. Quando o valor obtido pelo modelo for menor que este limiar, indica significância estatística. Amostras maiores geram menores valores p, enquanto que amostras menores geram valores p grandes. Seu valor final na sumarização da RLM é utilizado em conjunto com o F teste para a verificação do nível de significância das variáveis predictoras do modelo RLM.

f) $\Pr(>|t|)$: indica o nível de significância do valor t para cada variável. Em outras palavras, é o valor p para cada valor t obtido por coeficiente. O módulo de t é utilizado pois o valor t pode ser negativo. O seu limiar é fixado em 0,05. Sendo $\Pr(>|t|)$ menor que esse limiar, maior a significância da variável para o modelo.

g) R^2 : conhecida como coeficiente de determinação, essa medida mostra o quanto a variância é explicada pelo modelo ou, em outras palavras, o quão bem o modelo se ajusta aos dados

observados. Varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, melhor o desempenho do modelo com relação aos dados. Sua fórmula é dada pela equação 3.3:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y - \hat{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \quad (3.3)$$

onde y é o valor previsto pelo modelo, \hat{y} é o valor observado e \bar{y} é a média das observações.

h) Teste F: teste de análise global para auxiliar na análise do modelo. O teste F avalia os diversos coeficientes de forma simultânea, comparando o modelo de RLM com um modelo baseado somente na constante de interceptação, ou seja, sem variáveis preditoras. Esse modelo é a hipótese nula H_0 do teste. Com isso, tenta-se estimar se a inserção dessas variáveis é significativa para o modelo. Caso a hipótese nula H_0 seja verdadeira, elas não fazem diferença em conjunto no resultado do modelo RLM. Caso contrário, o modelo exibe melhor ajuste com a adição de variáveis preditoras. Nesse teste, o R^2 do modelo obtido anteriormente é utilizado (equação 3.4).

$$F = \frac{R^2/(K - 1)}{(1 - R^2)/(N - K)} \quad (3.4)$$

onde N representa o número total de observações e K , o número de variáveis do modelo+1 para o interceptador. Neste trabalho, $N=216$ e $K=13$ (12 índices+1 interceptador).

O número de graus de liberdade (GL) para o numerador é representado pelo fator $k-1$, enquanto que para o denominador ele é representado pelo fator $N-K$. Esses valores de GL são associados ao próprio resultado do teste F, sendo úteis para a análise em conjunto com o valor p do modelo, para rejeitar ou não a hipótese nula H_0 . Caso o valor p para os GL do teste F seja muito pequeno em comparação ao limiar de 0,05, H_0 é rejeitada, demonstrando que diferentes variáveis influenciam na qualidade do modelo de regressão.

i) Soma dos quadrados explicados (SQE): é a soma do quadrado da diferença entre o valor previsto pelo modelo e a média das observações (equação 3.5). Quanto maior seu valor, melhor a performance do modelo. Esta medida estatística faz parte da saída de resultados presentes na tabela de variância (tabela ANOVA).

$$SQE = \sum(\hat{y} - \bar{y})^2 \quad (3.5)$$

onde \hat{y} é o valor previsto e \bar{y} é a média dos valores observados.

j) Valor F: definido pela razão entre a variação das médias amostrais e a variação dentro do próprio grupo da variável em questão. Sendo o valor F grande, a hipótese nula H_0 de que as médias sejam

iguais é descartada, ou seja, as variáveis preditoras conseguem descrever a variável dependente. Esta medida é utilizada na análise de variância do modelo linear (tabela ANOVA).

k) $\Pr(>F)$: indica o nível de significância do valor F para cada variável (ou seja, é o valor p para cada valor F na análise de variância). O seu limiar é fixado em 0,05. Sendo $\Pr(>|t|)$ menor que este limiar, maior a sua significância para o modelo.

l) Soma dos quadrados dos resíduos (SQR): A soma dos quadrados dos resíduos é considerada uma medida da discrepância entre o modelo e os dados observados (equação 3.6). Esse valor é calculado para cada um dos índices e é utilizado na obtenção do erro padrão dos coeficientes da RLM completa e como resultado na saída do passo final da regressão *stepwise*. Quanto menor o seu valor, melhor o ajuste do modelo com relação ao dados.

$$SQR = \Sigma(y - \hat{y})^2 \quad (3.6)$$

m) AIC: É um estimador da qualidade relativa de modelos estatísticos para um dado conjunto de dados, além de ser um estimador da quantidade de informação perdida durante a estimativa de um modelo. Em outras palavras, menores valores indicam menor perda de informação e, conseqüentemente, melhor qualidade de modelo. Ele é obtido através da equação 3.7:

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (3.7)$$

onde k é o número de parâmetros explicativos no modelo mais 1 (interceptador) e L é o valor maximizado da função de verossimilhança. Essa função utiliza a média e a variância como parâmetros de análise do modelo. A equação 3.8 descreve L para uma distribuição de dados:

$$L(\hat{\mu}, \hat{\sigma}) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}\right)^n \exp\left(-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{((x_i - \mu)^2)}{\sigma_i^2}\right) \quad (3.8)$$

AIC é o critério utilizado na regressão *stepwise* para decidir quais variáveis do modelo inicial serão descartadas, já que a obtenção do modelo estatístico otimizado é feita no sentido *backward* (de trás para frente), eliminando variáveis preditoras em vez de acrescentar. Quando o AIC da variável preditora do modelo é menor que o AIC obtido para o passo do modelo em questão, a variável será eliminada da equação RLM. O valor de AIC para o próximo passo do modelo é então substituído pelo valor do AIC correspondente à variável preditora eliminada. Quanto menor o AIC obtido para a RLM *stepwise* final, melhor será o modelo.

Por fim, é feita a comparação gráfica entre a série temporal dos dados \log_{10} da dengue e a série gerada a partir de cada uma das regressões. Todas as análises e saídas gráficas desta seção foram feitas com o software R versão 3.4.3.

Capítulo 4

4 Resultados

Neste capítulo apresenta-se a análise de ondeleta para a dengue e os índices ENSO, das formas uni e bivariada, além da análise estatística de regressão linear múltipla da forma completa e com o recurso *stepwise*.

4.1 Transformada de ondeleta univariada

Nesta seção, são analisadas as séries temporais dos índices ENSO com as melhores respostas no sinal de potência univariada, bem como da série temporal da dengue. Inicialmente, é possível notar que os anos de epidemia de dengue – 2002, 2008, 2012 e 2016 - se destacam na série temporal do \log_{10} da dengue devido ao grande número de registros de adoecimento, chegando a mais de quarenta mil casos notificados nas epidemias de 2002 e 2008 (Figura 4.12a). É possível notar que logo após a ocorrências das epidemias de 2002 e 2008 houve uma queda considerável no número de casos. Isso pode ser explicado pelas campanhas de saúde públicas nacionais promovidas na segunda metade desses anos, meses após os picos epidêmicos (FUNASA, 2002; FIOCRUZ, 2008).

O espectro de potência de ondeleta para a dengue (Figura 4.12b) mostra um dos seus sinais mais intensos no período de doze meses, tendo destaque nos anos de epidemia com os tons avermelhados, indicando maior número de ocorrências. Além disso, é notável que a dengue se faz presente ao longo de toda a série, isto é, ela ocorre anualmente independente do número de casos em registro. Outro ponto a ser destacado é o sinal no período de sessenta e quatro meses (aproximadamente cinco anos), que se desloca em direção a um período de aproximadamente quarenta e oito meses (quatro anos) a partir da segunda metade da série – é possível acompanhar esse perfil pelo declínio da sombra vermelha no canto superior direito dentro do cone de influência. Isso caracteriza os intervalos entre as grandes epidemias registradas, que apresentam uma tendência

de diminuição ao longo do tempo. Os períodos aqui detectados vão de encontro ao que foi obtido por Johansson et al. (2009) para a ocorrência de dengue em países tropicais.

O espectro de ondeleta global (Figura 4.12c) enfatiza esses períodos encontrados anteriormente no espectro de potência, mostrando que são mais energéticos em relação aos períodos restantes, além de possuírem significância. Um pico menor no período de cento e vinte e oito meses (aproximadamente dez anos) também é exibido, porém se localiza fora do cone de influência do espectro de potência, tendo então baixa significância estatística.

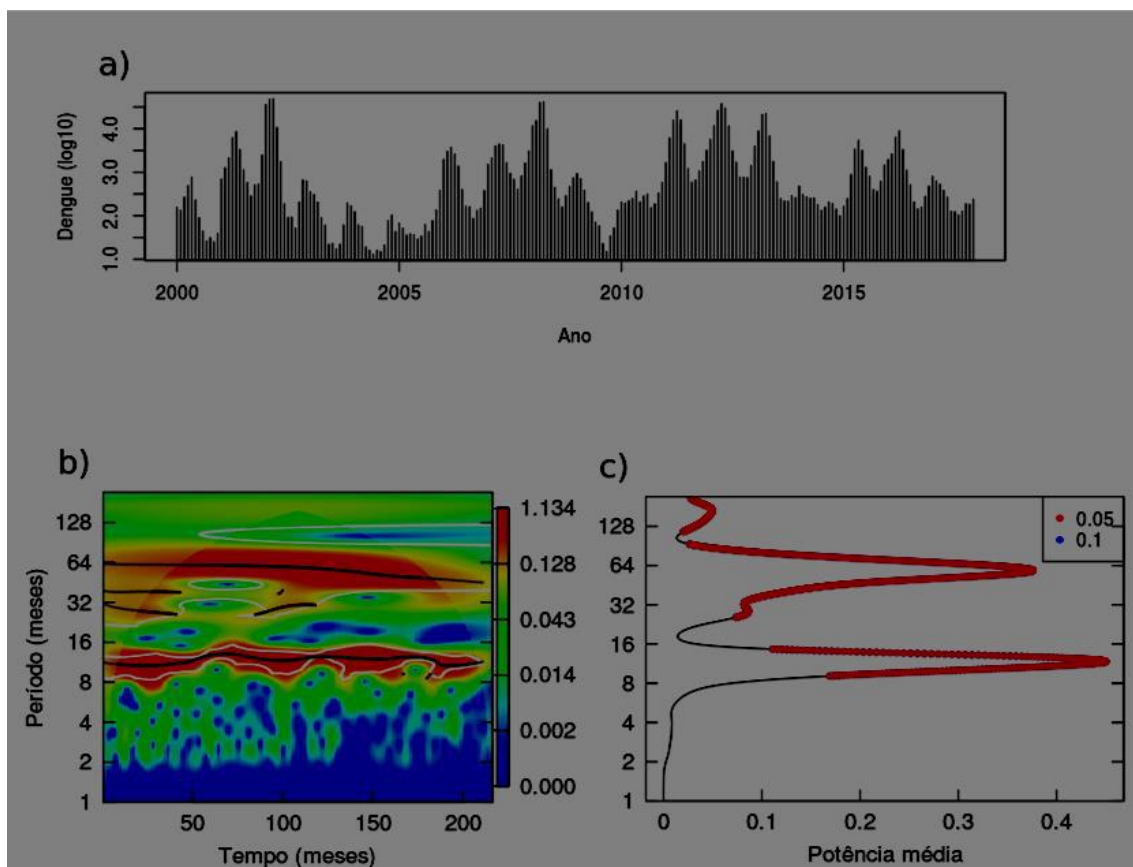


Figura 4.12 – (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do log₁₀ das notificações mensais de dengue no município do Rio de Janeiro, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2017. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

Os índices ENSO aqui destacados para a análise univariada são: Niño 3, TNI, OLR e SOI. De acordo com os índices Niño 3 e TNI (Figuras 4.13a, 4.14a), sinais positivos indicam El Niño e sinais negativos indicam La Niña. Em contrapartida, os índices OLR e SOI possuem sinais invertidos dos demais (Figuras 4.15a, 4.16a). Tendo em vista os anos de epidemia de dengue citados anteriormente, é possível observar com as séries temporais dos índices que os surtos aconteceram em diferentes condições de variabilidade climática ENSO. Em 2002, houve uma condição de La Niña fraca; em 2008 e 2012, também ocorreu La Niña, porém com intensidade leve a moderada; por fim, em 2016, a condição foi de El Niño mais vigoroso. Um aspecto importante a ser notado é que, de forma geral, esses surtos foram precedidos por breves eventos de El Niño mais brandos ou situações próximas da neutralidade.

Com relação às periodicidades, todos os índices possuem sinais significativos no espectro de potência nas faixas próximas a doze meses, demarcando um ciclo aproximadamente anual. Adicionalmente há um outro ciclo cuja duração é em torno de trinta e seis meses (três anos), que se mostra conectado com o ciclo anual, indicando a influência da variabilidade interanual sobre as ocorrências anuais (Figuras 4.13b, 4.14b, 4.15b, 4.16b). Deve ser destacado que, para o período anual, os sinais principais nos índices TNI e SOI ocorrem durante os anos de surtos epidêmicos de dengue, sendo mais evidentes em 2008 e 2012.

Os espectros globais se mostram condizentes com os de potência, indicando alta significância para os períodos anual e trienal (Figuras 4.13c, 4.14c, 4.15c, 4.16c). Adicionalmente, o período de cento e vinte e oito meses (aproximadamente dez anos) também é significativo para a análise de potência média, porém ele está posicionado majoritariamente fora do cone de influência em todos os espectros de potência de ondeleta. Isso pode ser justificado pelo fato da série temporal das variáveis de estudo ter somente dezessete anos disponíveis, o que dificulta o seu uso para explorar e avaliar casos de variabilidade de maiores intervalos - decadal, por exemplo.

O SOI apresenta também sinais de potência para o período de dois meses, porém ele não se mostra significativo dentro do seu espectro global (Figura 4.16c), podendo ser uma característica associada ao seu perfil mais ruidoso. Os resultados dos demais índices na forma univariada (APÊNDICE A) possuem perfis similares aos apresentados nesta seção. Em sua maioria, eles tem ciclos anuais e trienais predominantes nos espectros contínuo e global, chegando também à escala quinquenal com alta significância estatística. O índice de maior valor de potência no espectro contínuo é o HEAT (Figura A-8), com seu máximo na escala de cores em 1,235.

Por outro lado, os índices PDO (Figura A-6) e PNA (Figura A-7) diferem dos demais. O primeiro não apresenta um sinal anual como o principal, sendo então posicionado na escala decadal. O PDO é bem acentuado no espectro global, porém está fora do cone de influência em quase sua totalidade. Além desse, também há um máximo secundário na escala quinquenal que pode ser considerado estatisticamente em ambos os espectros. Já o PNA se apresenta como o único índice com a maior parte dos máximos de potência centrados em períodos mensais, principalmente no trimestral. Entretanto, esses máximos não apresentam alta significância na média global; em vez disso, os períodos anual, trienal e quinquenal são os principais no espectro de média global.

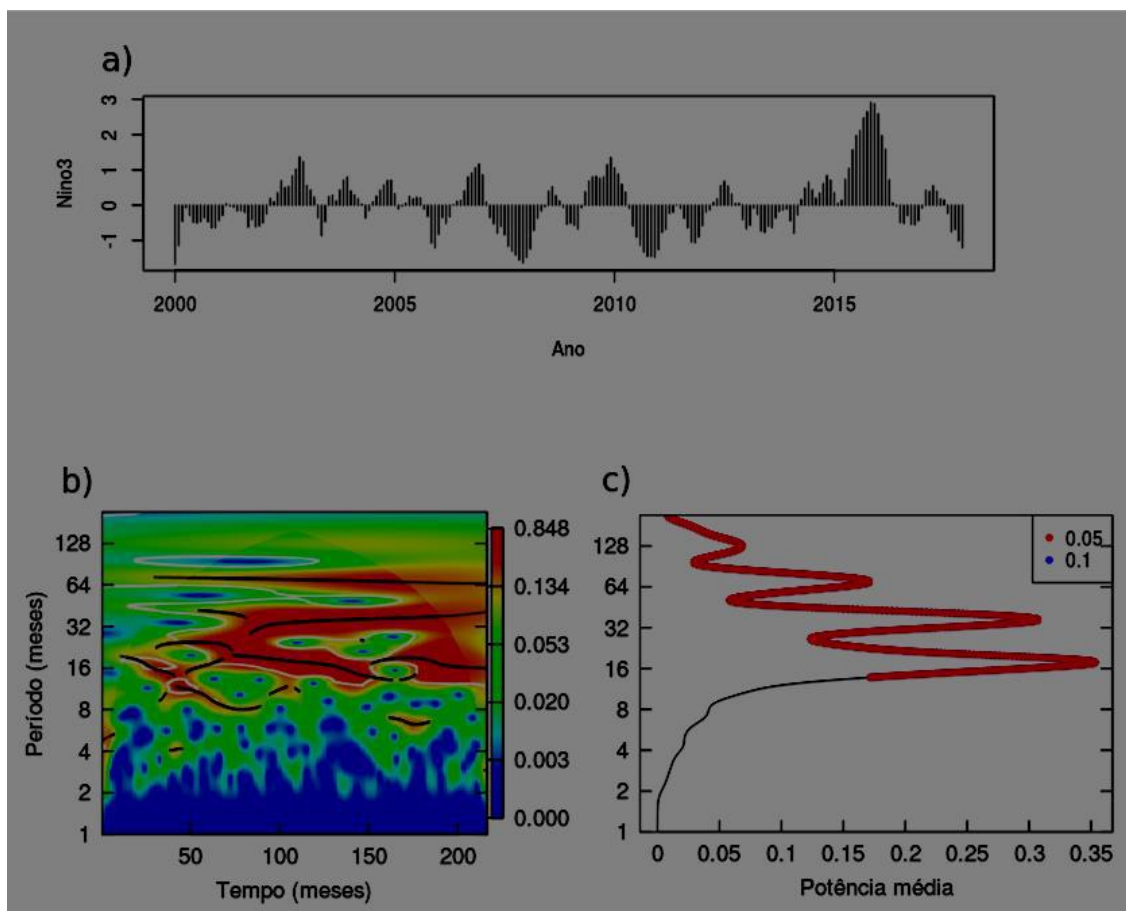


Figura 4.13 - (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice Niño 3. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam

o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

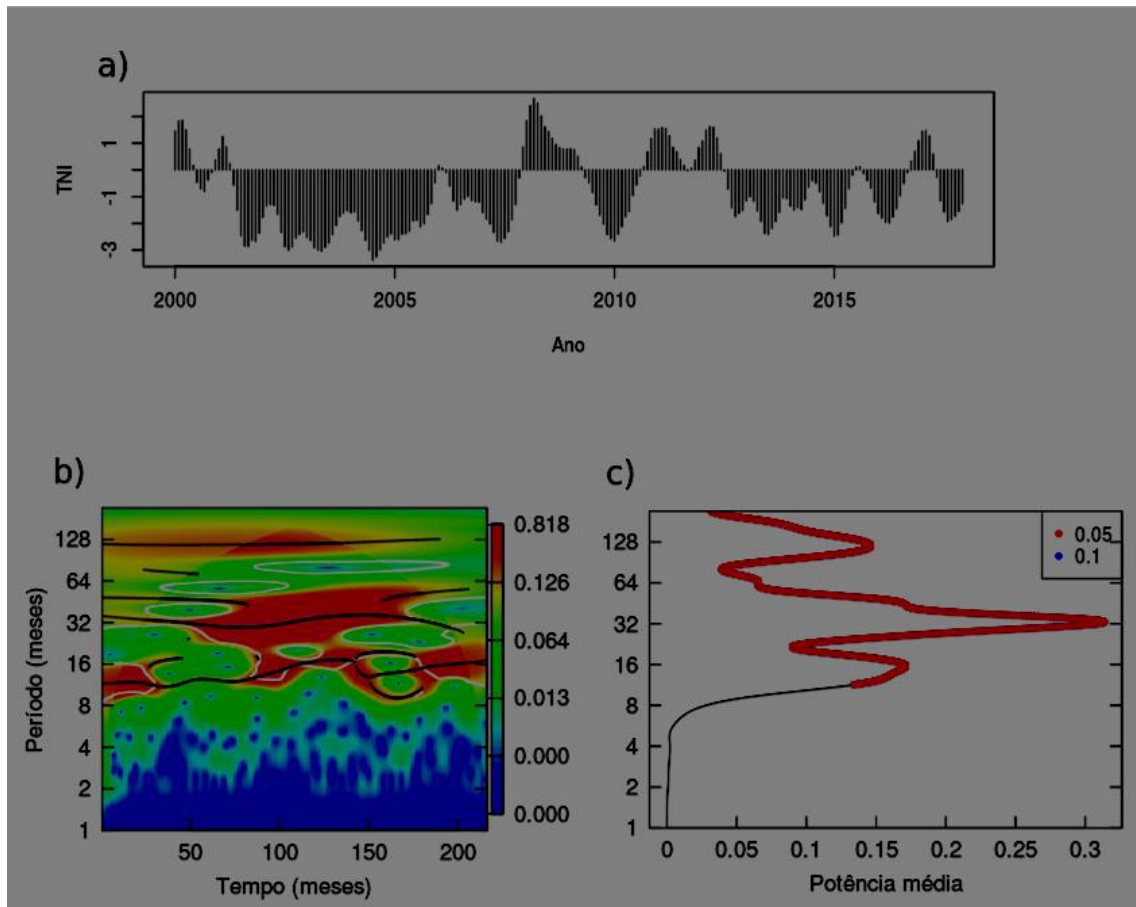


Figura 4.14- (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice TNI. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

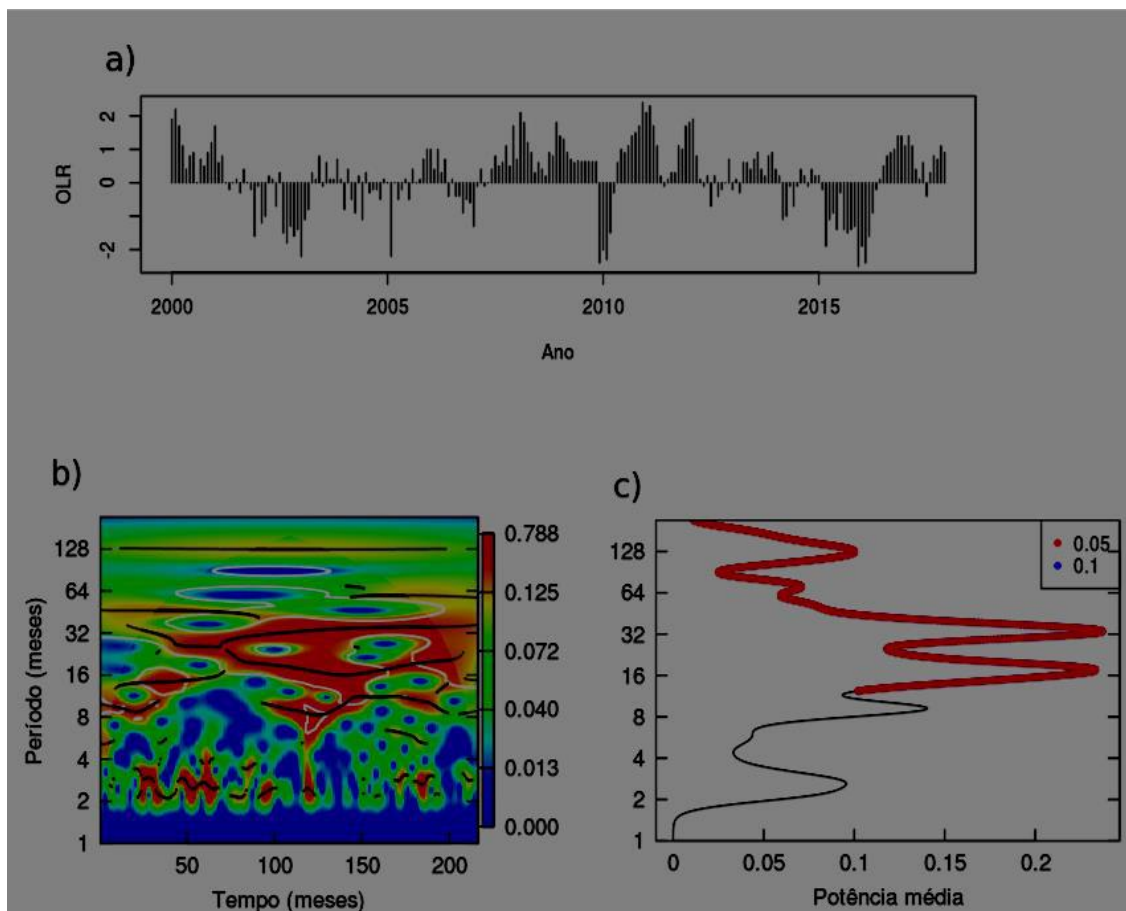


Figura 4.15 – (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice OLR. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

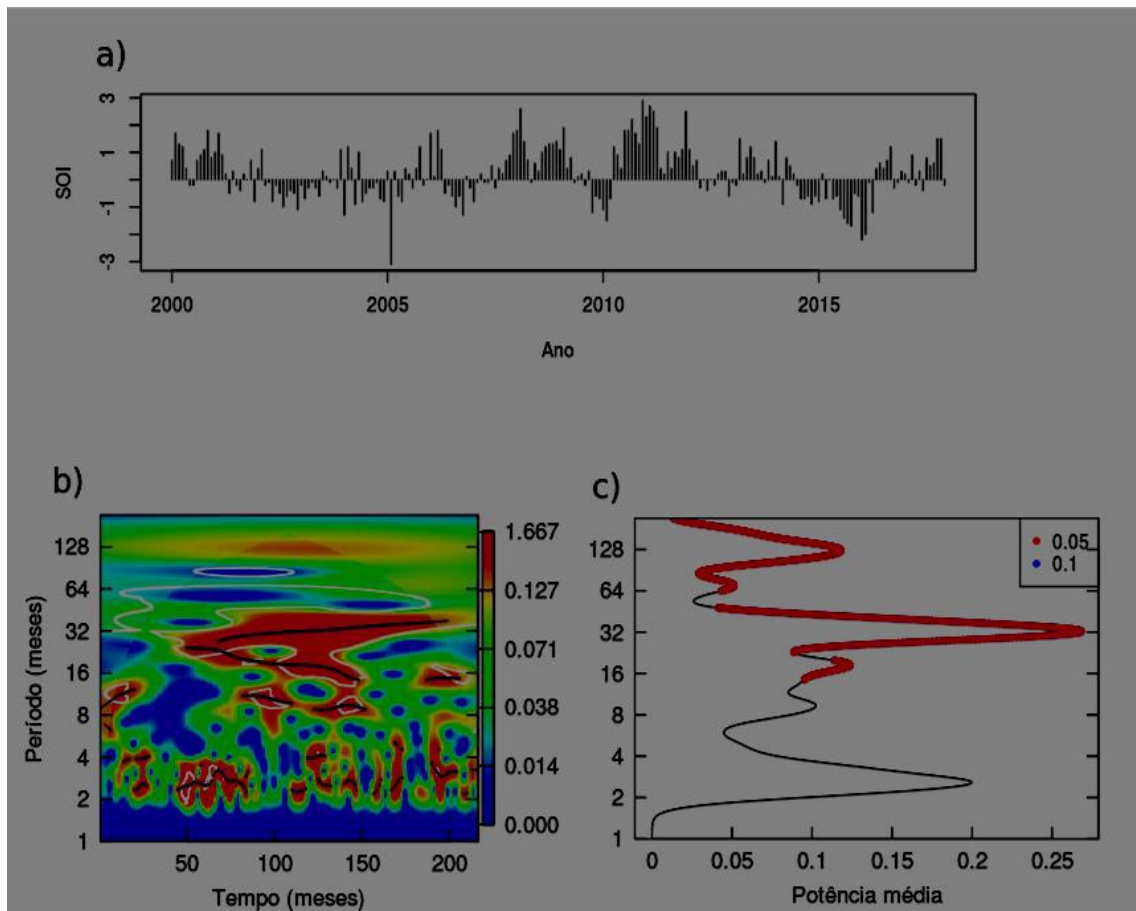


Figura 4.16 – (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice SOI. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1(90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%) .

4.2 Transformada de ondeleta bivariada

O espectro de potência bivariada apresenta dois aspectos importantes: a potência do sinal do cruzamento entre as duas variáveis, representada pela barra de cores e a diferença de fase, representada por vetores.

Em uma primeira análise, é notável que todas as TOCs geradas e aqui apresentadas exibem potências mais significativas nos seguintes períodos aproximados: anual, trienal e quinquenal

(Figuras 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20), sendo reforçados pela linha cheia branca, de significância estatística igual a 10 por cento, em seu entorno. O período quinquenal se mostra um diferencial em comparação às análises univariadas dos índices ENSO, já que não esteve em evidência nessa seção de resultados. Sua presença, no entanto, é notável no espectro do \log_{10} das notificações de dengue. Um outro aspecto importante é que na maioria dos casos, existe uma conexão entre os períodos quinquenal e trienal, passando por uma periodicidade quadrienal.

Ao se analisar o posicionamento dos vetores nas regiões com destaque no espectro de potência e dentro das áreas de significância estatística, deve ser lembrado que, para os casos bivariados, a variável x é relacionada aos índices ENSO, um por vez em cada cruzamento, enquanto que a variável y é relacionada às notificações de dengue. Isso é importante na verificação de fase para cada cruzamento.

Na Figura 4.17a observa-se para o Niño 3, no período de variabilidade ENSO (aproximadamente trienal), o posicionamento dos vetores entre $-\pi$ e $-\pi/2$ durante praticamente toda a série, indicando que o índice está fora de fase com relação à dengue. Ao final da série, entretanto, os vetores se redirecionam para um posicionamento em torno do zero trigonométrico, indicando que as variáveis estão em fase nessa porção do espectro. Esse caso, porém, corresponde a um ano de epidemia de dengue sob condições de El Niño fraco de acordo com esse índice (Figura 4.13a).

O período quinquenal apresenta configuração de vetores majoritariamente em orientação de antifase, isto é, próximo a π . Isso indica que nesta periodicidade, o El Niño se mostra em situação de atraso com relação à dengue, em conjunto com o adiantamento da fase La Niña marcando o início das epidemias nessa periodicidade.

Os outros índices ENSO representativos das anomalias de TSM (Figuras B-1a, B-2a e B-3a) apresentam configurações similares ao Niño 3 no final do período anual com vetores próximos ao zero trigonométrico e também no período quinquenal, com situações majoritárias de antifase.

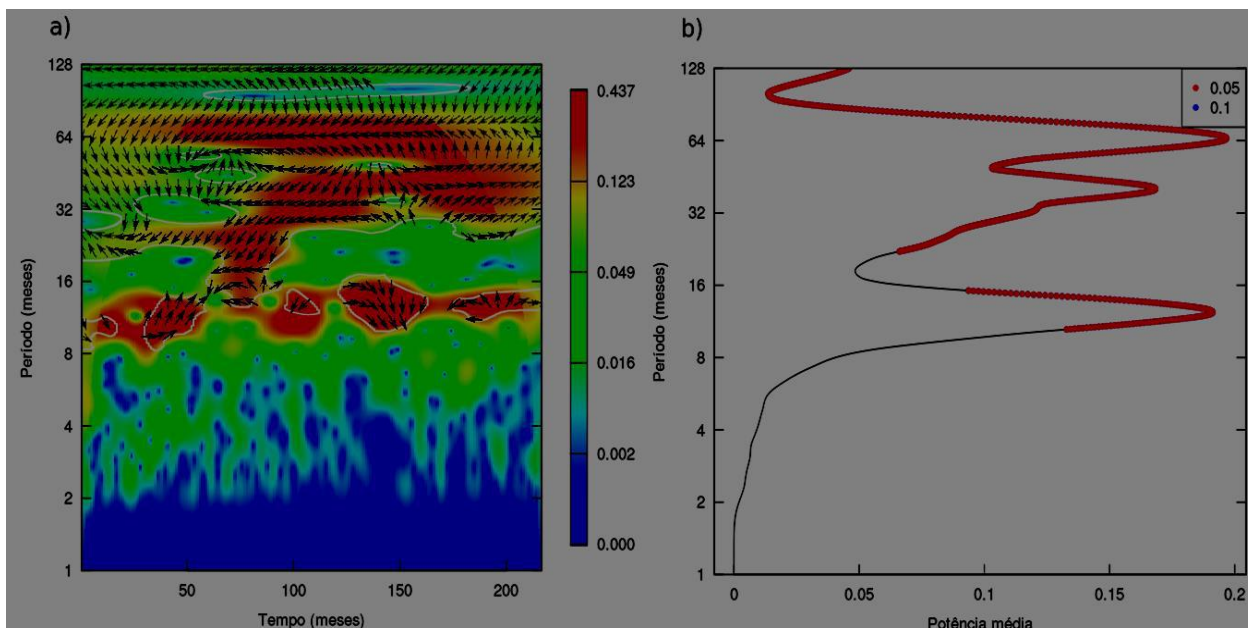


Figura 4.17 – Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice Niño 3 com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

A Tabela 4.1 sumariza os sinais do índice Niño 3 durante as fases de início, máximo e final dos picos epidêmicos de dengue, auxiliando na análise das diferenças de fase do índice com relação ao \log_{10} da dengue. Durante o anos de 2002, 2008 e 2012, o índice apresentou inicialmente sinais negativos indicativos de La Niña, que progrediram em direção a maiores valores próximos a zero durante o ápice das crises, evoluindo ao final para sinais positivos indicativos de El Niño. Esses panoramas mostram uma transição da fase La Niña para a fase El Niño entre os máximos de casos registrados. Entretanto, no ano de 2016, a situação é oposta. No início da epidemia, o sinal apresentado foi referente a um episódio de El Niño intenso, que diminuiu de intensidade durante a epidemia, indo em direção a sinais negativos referentes a um episódio de La Niña. Nesse ano epidêmico o número de casos contabilizados não foi tão grande em comparação aos com condições opostas.

Tabela 4.1 - Sinais aproximados do índice Niño 3 (°C) em cada fase das epidemias registradas

Fase da epidemia	Epidemia 2002	Epidemia 2008	Epidemia 2012	Epidemia 2016
Início	-1,0	-2,0	-1,0	3,0
Máximo	0	$\approx 0,0$	0,0	$\approx 0,0$
Final	1,0	1,0	0,5	-1,0

No cruzamento entre o índice TNI e a dengue (Figura 4.18a), para o período trienal é possível perceber inicialmente os vetores entre $-\pi$ e $-\pi/2$, o que indica uma defasagem do máximo da variabilidade ENSO, com epidemia ocorrendo na diminuição da intensidade da La Niña. Em seguida, os vetores ficam entre $-\pi/2$ e zero na seção de maiores ocorrências de dengue na região central da série, com epidemia ocorrendo após o crescimento do El Niño. Ao final, os vetores ficam organizados em torno de $-\pi$, indicando uma antifase da variabilidade ENSO na última epidemia da série de dados.

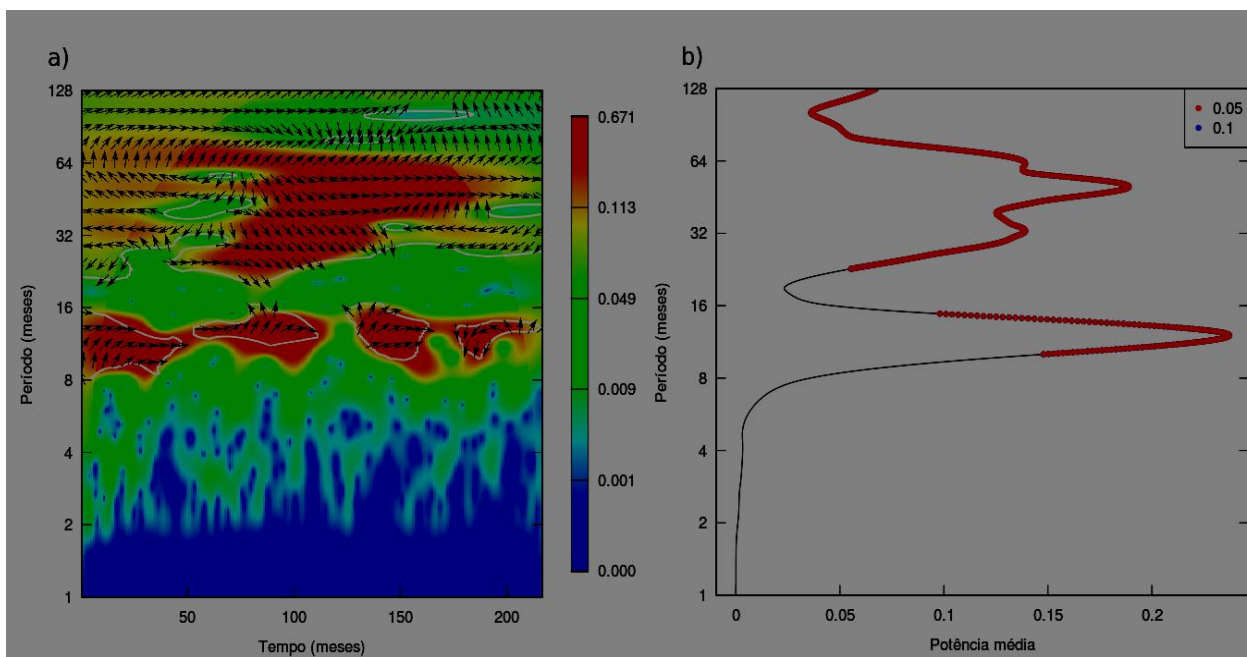


Figura 4.18– Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice TNI com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

Já o período quinquenal, por sua vez, se inicia defasado (vetores entre $-\pi$ e $-\pi/2$) e tende a um equilíbrio entre as fases das variáveis, apontando para o zero trigonométrico. As análises de fase do índice TNI se mostram diferentes em relação às do índice Niño 3, apesar de ambos terem a mesma escala de sinal para o ENSO. Isso pode ser atribuído ao fato do índice TNI ser formado por composição estatística de diversos índices marítimos com medidas em localizações diferentes ao longo do Pacífico equatorial, sendo então representativo do gradiente de TSM da área do Pacífico equatorial, enquanto que o Niño 3 é constituído por medidas diretas de anomalia de TSM em somente uma área específica do Pacífico equatorial, como descrito no Capítulo 3.

Ao se analisar os índices OLR e SOI (Figuras 4.19a e 4.20a) durante o período trienal, nota-se os vetores em posição próxima a $\pi/2$, indicando a ocorrência de epidemia após um aumento dos valores do índice, saindo de uma fase La Niña ou neutra em direção à fase El Niño. Progredindo ao longo da série, os vetores se organizam em direções entre $-\pi/2$ e zero no caso do OLR. Isto sinaliza que o máximo destas variabilidades ENSO ocorre antecipadamente ao máximo da dengue. Para o SOI, os vetores ficam mais centrados em zero, indicando que os máximos das variáveis coincidem nesta porção da série referente à terceira epidemia. Ao final, os vetores tendem a uma posição de antifase, mostrando que o máximo destes índices ocorre depois do máximo epidêmico.

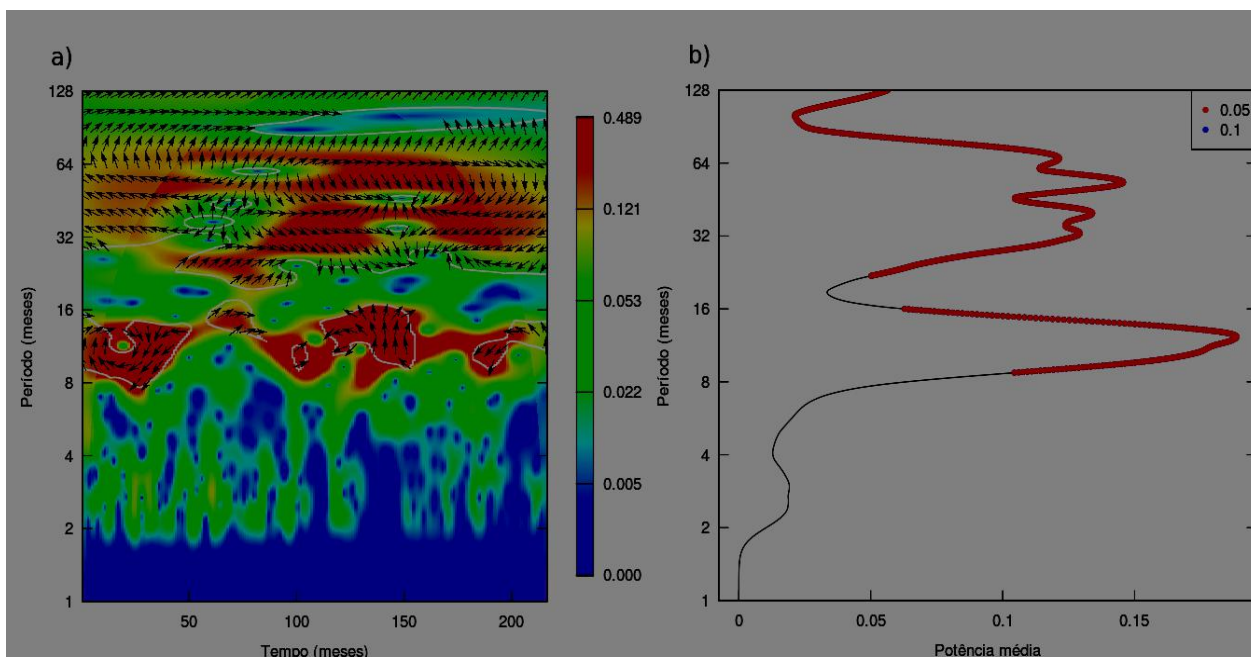


Figura 4.19 – Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice OLR com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado

branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (90%).

No período quinquenal, as variáveis encontram-se em fase de forma geral, sendo isso enfatizado pela posição dos vetores próximas ao zero trigonométrico, apontando aproximada ou exatamente para a direita. Isso indica que durante as grandes epidemias, o sinal crescente da dengue acompanha o sinal positivo do ENSO para estes índices, a La Niña.

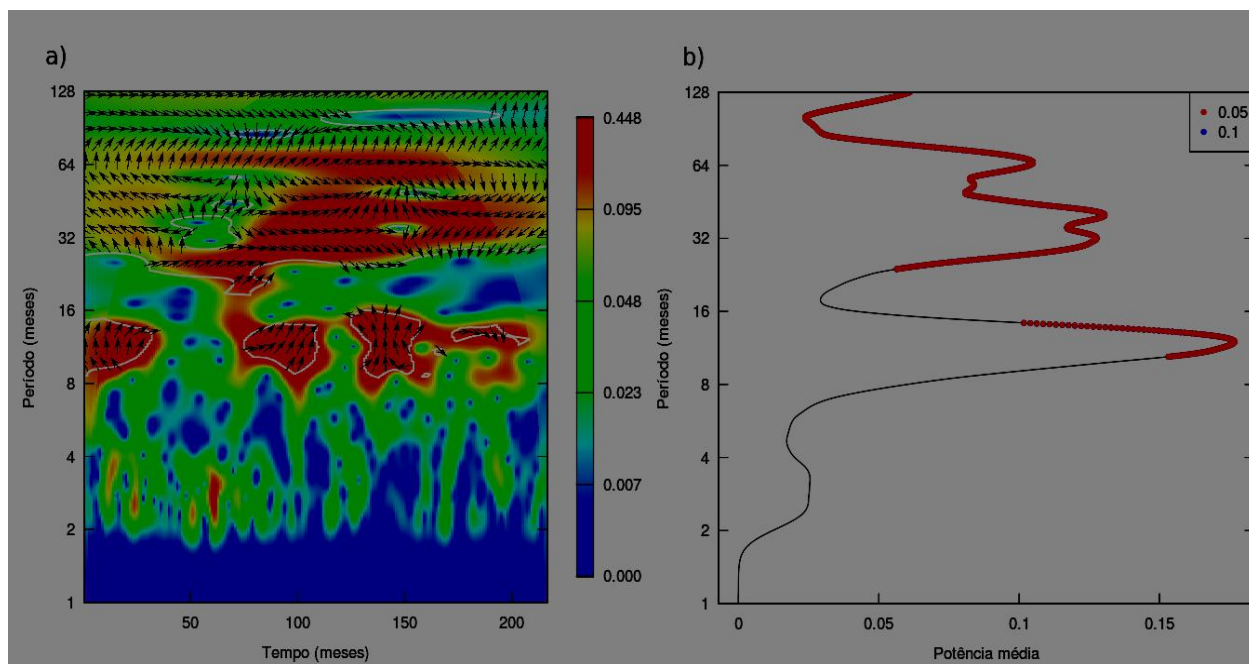


Figura 4.20– Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice SOI com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

Os índices ONI, BEST e HEAT, presentes no APÊNDICE B (Figuras B-4a, B-5a e B-8a, respectivamente), apresentam configurações similares às do Niño 3 no que diz respeito aos vetores de fase. O índice HEAT, em particular, é o que demonstra maior semelhança com o Niño 3 de forma geral. Isso pode ser associado ao fato desse índice também ser relacionado a medidas diretas de anomalias de temperatura na região do Pacífico equatorial, porém numa profundidade de 300

metros (vide Seção 3.1). Além disso, ele exibe um dos maiores valores na escala de potência de ondeleta (0,724).

Os índices PDO e PNA (Figuras B-6a e B-7a) são os que exibem os perfis de vetores de fase mais discrepantes em relação aos demais índices. Eles apresentam os vetores de diferença de fase em posições entre $\pi/2$ e π em praticamente todos os núcleos principais de potência nos períodos de variabilidade interanual (trienal e quinquenal).

Estes resultados mostram que as situações favoráveis para epidemias de dengue no município do Rio de Janeiro, num panorama geral, diferem do que foi encontrado por Vicentini-Gonzalez et al. (2018) para a Venezuela. O aumento da TSM do Pacífico equatorial, que é característico da fase El Niño, também foi apontado como um possível agravador do número de casos de dengue para o México (COLÓN-GONZÁLEZ et al., 2011; HURTADO-DIAZ et al., 2007). Isso evidencia o fato de que o ENSO afeta cada localidade no globo de forma diferente, para cada uma de suas fases. Conseqüentemente, isso traz diversos efeitos sobre as variáveis climáticas locais, que podem atenuar ou intensificar o desenvolvimento do mosquito vetor e, portanto, as incidências de dengue.

Os espectros globais das TO bivariadas (Figuras 4.17b, 4.18b, 4.19b, 4.20b), assim como nos casos univariados, apresentam a predominância dos períodos anual, trienal e quinquenal para todos os cruzamentos. Na maioria deles, o principal período no espectro de média é o anual, revezando entre os períodos trienal e quinquenal como secundários. Em contrapartida, outros índices cuja periodicidade principal é a de aproximadamente cinco anos são Niño 4, Niño 3.4 e ONI (Figuras B-1, B-2 e B-4, respectivamente), presentes no APÊNDICE B, além do índice Niño 3 (Figura 4.17b).

4.3 Análise estatística dos índices preditores da dengue

4.3.1 RLM completa

Esta seção contém as informações obtidas para todos os índices ENSO, cada um com seu respectivo valor de coeficiente linear. A partir dos resultados dos coeficientes lineares obtidos, é construída então a equação de RLM completa (equação 4.1), tendo todos os índices ENSO como variáveis preditoras para a dengue.

$$\log_{10}\text{dengue}=3,19052+(0,8851*\text{Niño4})+(0,30496*\text{Niño3.4})+ \quad (4.1)$$

$$(-1,16753*\text{Niño3})+(0,16387*\text{Niño1+2})+(0,53640*\text{ONI})+(0,53640*\text{BEST})+(0,48140*$$

$$\text{TNI})+(-0,06868*\text{PDO})+(-0,11940*\text{PNA})+(-0,41308*\text{OLR})+$$

$$(-0,08515*\text{HEAT})+(0,13004*\text{SOD})$$

onde 3,19052 é o valor da constante de interceptação da reta com o eixo das ordenadas.

Os valores dos resíduos para modelo de RLM são exibidos na Tabela 4.2; eles possuem um intervalo pequeno (-1,5258 a 1,9548) e a sua mediana está próxima de zero. Esses valores são um primeiro indício de que o desempenho do modelo pode se mostrar satisfatório.

As principais medidas estatísticas obtidas na sumarização da RLM completa são apresentadas na Tabela 4.3. O erro padrão residual é igual a 0,6941, sendo este utilizado para calcular os valores-t na próxima etapa. Em seguida, tem-se o valor de uma das medidas mais utilizadas para mensurar a eficiência de um modelo RLM, o R^2 . Seu valor obtido indica uma relação de 34,8% entre os regressores e a variável dependente. Esse valor se mostrou abaixo do esperado para o estudo. Entretanto, não deve ser analisado isoladamente para concluir se o desempenho do modelo é satisfatório ou não. Então, verifica-se o teste F para complementar a análise.

O valor obtido neste teste é aplicado na análise para os GL encontrados para o modelo, com suas metodologias explicitadas anteriormente na seção 3.4. Em outras palavras, o teste F de resultado 9,027 se aplica aos GL 12 e 203 do modelo. A sua relevância é testada pelo valor-p associado ($8,95 \times 10^{-14}$). Por ele estar bem abaixo do limiar de 0,05 usado no seu critério de avaliação, pode-se dizer que há significância estatística no teste e, conseqüentemente, a hipótese nula H_0 é rejeitada e considera-se que a adição de variáveis ao modelo RLM gera melhorias na sua resposta final.

Tabela 4.2 - Resultado obtidos para os resíduos associados a RLM completa.

Resíduo	Valor obtido
Mínimo	-1,5258
Quartil 1	-0,4931
Mediana	-0,1157
Quartil 3	0,4735

Máximo

1,9548

Tabela 4.3 - Medidas estatísticas auxiliares obtidas para a RLM completa.

Medida estatística	Valor obtido
Erro padrão residual	0,6941
R ²	0,348
Teste F	9,027 nos GL 12 e 203
Valor p	8,95x10 ⁻¹⁴

A Tabela 4.4 mostra os coeficientes da equação RLM completa, relacionados aos seus níveis de significância estatística. Nessa primeira etapa dos resultados, os índices que se destacam dentre todos os abordados são Niño 3, TNI, PNA e OLR, que estão em negrito para facilitar a visualização. Avaliando a tabela, é notável que eles possuem os maiores valores de significância, de no mínimo 95% para esta regressão. Esses índices apresentam pequenos valores de erro padrão – menores ou iguais a 0,1, com exceção do índice Niño 3, que teve o valor igual a 0,40922, ligeiramente maior em comparação aos outros três em destaque. Os valores-t de cada um deles são os mais distantes de zero dentre todos, em módulo. Além disto, os Pr ($>|t|$) associados ficam consideravelmente abaixo de 0,05, alcançando inclusive valores da ordem de 10^{-6} para TNI e OLR, o que reforça a validade e dos valores dos coeficientes obtidos na regressão.

Tabela 4.4 - Coeficientes lineares e significância estatística de todos os índices ENSO na RLM completa.

Índice ENSO	Coeficiente linear	Erro padrão	Valor-t	Pr (> t)	Intervalo de significância (%)
Niño 4	0,8851	0,32662	0,557	0,56448	0 - 90
Niño 3.4	0,30496	0,66806	0,456	0,64854	0 - 90
Niño 3	-1,16753	0,40922	-2,853	0,00478	99 - 99,9
Niño 1+2	0,16387	0,15720	1,042	0,29843	0 - 90
ONI	0,53640	0,55638	0,964	0,33615	0 - 90
BEST	0,05291	0,25436	0,208	0,83542	0 - 90
TNI	0,48140	0,10004	4,812	2,91*10 ⁻⁶	99,9 - 100
PDO	-0,06868	0,06031	-1,139	0,25612	0 - 90
PNA	-0,11940	0,05416	-2,204	0,02861	95 - 99
OLR	-0,41308	0,08967	-4,606	7,23*10 ⁻⁶	99,9 - 100
HEAT	-0,08515	0,12349	0,690	0,49128	0 - 90
SOI	0,13004	0,18848	0,690	0,49103	0 - 90

A Tabela 4.5 exibe os resultados da análise de variância para os índices do modelo RLM completo. Os índices Niño 4, Niño 1+2, TNI e OLR se mostram como os mais significativos dentro da regressão. Eles apresentam os maiores valores de SQE, sendo esses valores no mínimo cinco vezes maiores que os outros índices de intervalo de significância entre 95 e 99%.

Os índices destacados também tem altos valores F; quanto maior for um valor F, maior a chance da variação de médias dos índices ser significativa e, conseqüentemente, a relevância que

o próprio índice tem para explicar a variável dependente – o \log_{10} da dengue. Adicionalmente, os valores-p associados aos índices mais expressivos no modelo são muito menores que o limiar de 0,05, na ordem de 10^{-6} . Isso, juntamente com os altos valores F, mostra que esses índices possuem uma relação considerável com as ocorrências de dengue.

Tabela 4.5 - Análise de variância para todos os índices ENSO na RLM completa.

Índice ENSO	SQE	Valor F	Pr(>F)	Intervalo de significância (%)
Niño 4	10,734	22,2776	$4,391 \cdot 10^{-6}$	99,9 - 100
Niño 3.4	1,471	3,0535	0,08207	90 - 95
Niño 3	2,427	5,0365	0,02590	95 - 99
Niño 1+2	12,069	25,0490	$1,209 \cdot 10^{-6}$	99,9 - 100
ONI	2,702	5,6074	0,01882	95 - 99
BEST	0,365	0,7565	0,38545	0 - 90
TNI	8,501	17,6430	$3,989 \cdot 10^{-5}$	99,9 - 100
PDO	1,808	3,7516	0,05414	90 - 95
PNA	1,819	3,7751	0,05340	90 - 95
OLR	9,869	20,4830	$1,024 \cdot 10^{-5}$	99,9 - 100
HEAT	0,203	0,4206	0,51737	0 - 90
SOI	0,229	0,4760	0,49103	0 - 90

4.3.2 Regressão *stepwise*

Após a implementação do método *stepwise* sobre o modelo RLM completo (modo *backward*), ele se reduz a somente cinco variáveis preditoras: ONI, PNA, Niño 3, OLR e TNI. A equação fica, então, com a seguinte configuração:

$$\log_{10} \text{ dengue} = 3,2157 + (-0,8830 * \text{ONI}) + (0,7191 * \text{PNA}) + (0,4819 * \text{Niño3}) + (-0,1331 * \text{OLR}) + (-0,3880 * \text{TNI}) \quad (4.2)$$

onde 3,2157 é o valor da constante de interceptação da reta com o eixo das ordenadas.

O AIC do modelo, na última etapa, é de -153,63. Tendo isso, é possível notar pela Tabela 4.5 que os valores de AIC dos índices se mantêm ligeiramente maiores que o do modelo final, satisfazendo o critério de eliminação de variáveis preditoras.

Durante a etapa anterior, os índices de maior significância na Tabela 4.3 foram Niño 3, TNI, PNA e OLR. Já na Tabela 4.4, foram Niño 4, Niño 1+2, TNI e OLR. Dentre os índices remanescentes, OLR e TNI são os que apresentam os maiores valores de SQR e AIC. Analisando somente a SQR na Tabela 4.5, estes índices deveriam ter um menor desempenho como variáveis preditoras em comparação aos outros, tendo em vista que quanto menor a SQR, melhor. Entretanto, ao se observar a Tabela 4.6, é notável que esses índices são altamente representativos e que demonstram uma relação expressiva com a variável dependente da regressão. Isso é visto pelos altos valores F, com o do TNI sendo quase o triplo do valor F correspondente ao índice OLR. Seus $\text{Pr}(>F)$ resultantes são visivelmente baixos, na ordem de no mínimo 10^{-6} , sendo muito menores que o limiar de 0,05. Adicionalmente, pode ser visto que eles possuem alta significância estatística, com valores entre 99,9 e 100%.

Os índices Niño 3 e ONI também merecem destaque nesta análise. Ambos possuem persistência na estrutura do modelo de RLM após a redução via *stepwise*. O índice ONI também apresenta significância entre 99,9 e 100% na análise de variância, enquanto que o Niño 3 possui significância entre 95 e 99%. Ambos possuem bons valores F e seus $\text{Pr}(>F)$ são menores que 0,05, porém não na mesma dimensão que os índices TNI e OLR.

Tabela 4.6 - Resultados obtidos para os índices ENSO remanescentes no último passo da regressão *stepwise*.

Índice ENSO	Coefficiente linear	SQR	AIC
ONI	-0,8830	103,06	-149,830
PNA	0,7191	103,60	-148,704
Niño 3	0,4819	105,92	-143,920
OLR	-0,1331	110,26	-135,239
TNI	-0,3880	131,19	-97,712

Tabela 4.7 - Análise de variância para os índices ENSO remanescentes no último passo da regressão *stepwise*.

Índice ENSO	SQE	Valor F	Pr(>F)	Intervalo de significância (%)
ONI	6,906	14,4545	0,0001882	99,9 - 100
PNA	2,860	5,9868	0,0152357	95 - 99
Niño 3	2,104	4,4039	0,0370524	95 - 99
OLR	9,933	20,7912	$8,696 \cdot 10^{-6}$	99,9 - 100
TNI	27,873	58,3415	$7,680 \cdot 10^{-13}$	99,9 - 100

4.3.3 Comparação entre as duas regressões

A figura 4.21 exibe as dispersões entre o \log_{10} da dengue observada e os \log_{10} da dengue modelada, tanto com a RLM completa quanto com a regressão resultante do método *stepwise*. Inicialmente, é perceptível que ambos os resultados possuem um comportamento similar, com alguns poucos pontos mais longe da nuvem principal em posicionamentos diferentes. Um exemplo é o ponto logo acima da reta azul, na região de casos extremos epidêmicos (direita superior); ele fica mais próximo da reta na dispersão com o modelo *stepwise* (Figura 4.21b) em comparação com a dispersão do modelo RLM completo (Figura 4.21a).

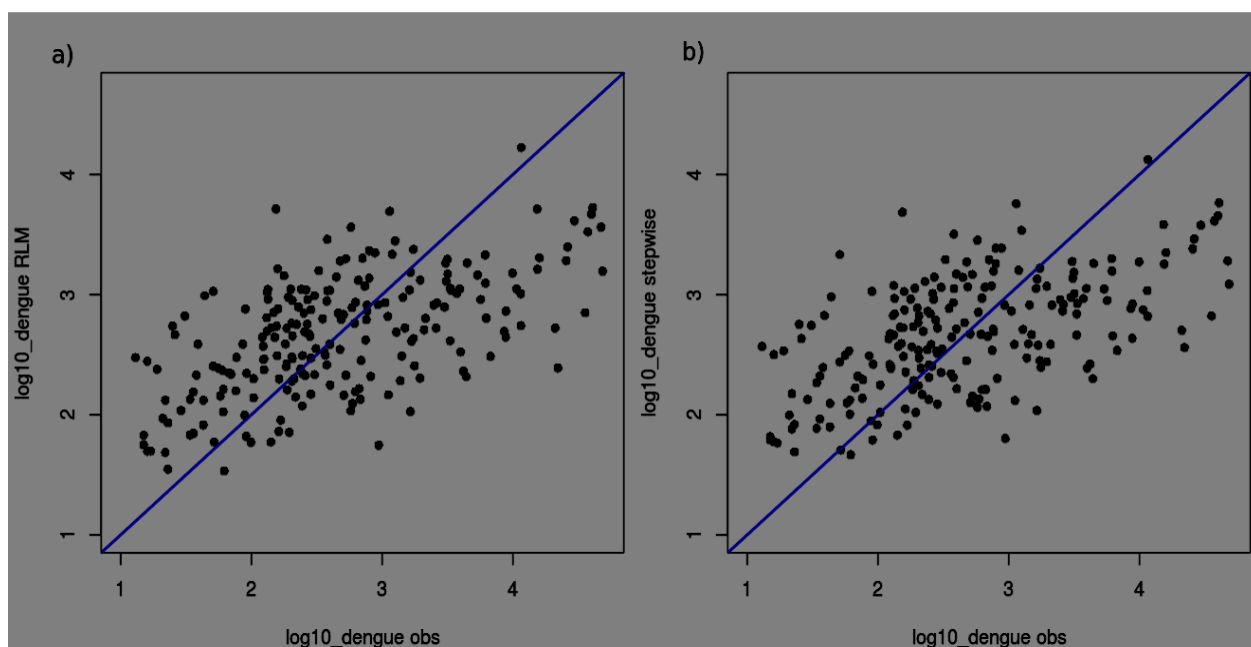


Figura 4.21 – Comparação entre as dispersões do \log_{10} da dengue observada (eixo horizontal) e \log_{10} da dengue modelada pela a) RLM completa e b) RLM *stepwise* (eixos verticais).

Ao analisar o padrão de comportamento das dispersões, a principal característica encontrada é a superestimativa dos casos de menor número de ocorrências, enquanto que também ocorre a subestimativa dos casos de grandes números de ocorrências. A figura 4.22 reforça esta constatação obtida através das dispersões. Nela, é possível ser visto que ambos os modelos conseguem acompanhar o fluxo dos ciclos dos casos observados, de forma geral. Por outro lado, os anos de altas e baixas de dengue podem ser verificados separadamente. Nos intervalos 2004 - 2005, 2009 - 2011 e 2014 - 2015 são observados os menores valores de \log_{10} da dengue, principalmente no primeiro intervalo citado. As curvas vermelhas, correspondentes aos resultados das séries

temporais previstas pelos modelos de RLM completa (Figura 4.22a) e *stepwise* (Figura 4.22b) ficam acima das curvas azuis correspondentes aos valores observados, indicando um padrão de superestimativa destes valores mais baixos. Em contrapartida, nos anos epidêmicos apontados na seção 4.1 (2002, 2008, 2012 e 2016), a situação é oposta: as curvas dos modelos ficam abaixo das curvas dos dados observados. Isto indica um padrão de subestimativa dos anos com maior número de casos de dengue.

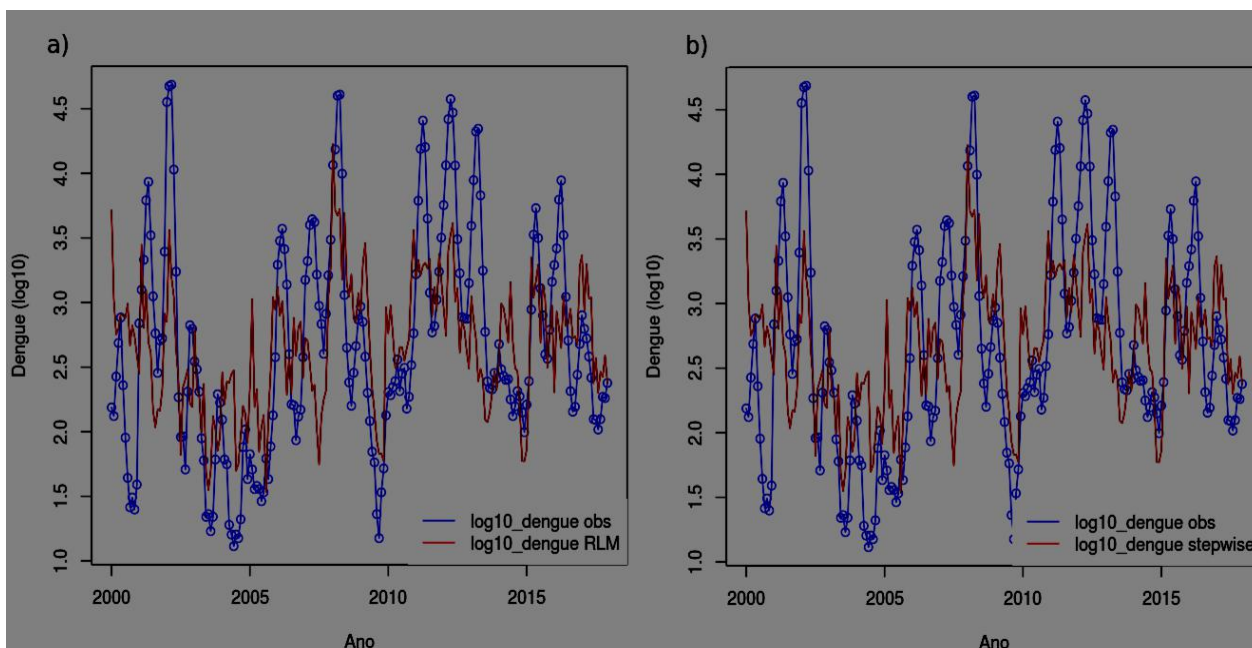


Figura 4.22 – Comparação entre as séries temporais do \log_{10} da dengue observada (linha cheia azul com pontos) e \log_{10} da dengue modelada pela a) RLM completa e b) RLM *stepwise* (linhas cheias vermelhas).

Capítulo 5

5 Conclusões

A dengue é uma doença viral de grande destaque nas localidades tropicais, sendo bem expressiva na cidade do Rio de Janeiro, que é uma das mais importantes metrópoles do Brasil. Existem diversos estudos na literatura que enfatizam a relação entre a dengue e seus fatores influenciadores, como por exemplo variáveis meteorológicas medidas na localidade de investigação ou até fenômenos de variabilidade em diversas escalas temporais. Neste estudo, é abordada a variabilidade interanual associada ao ENSO, sendo este fenômeno comumente utilizado em abordagens de detecção de fenômenos como secas e excessos de precipitação. O ENSO aqui é representado pelos índices disponibilizados online pela NOAA.

O estudo das ocorrências de dengue e sua relação com fenômenos de variabilidade interanual como o ENSO se mostra importante por conta da necessidade de se fazer uma gestão geral da epidemia, bem como sua previsão. Para isto, deve ser levada em conta a influência das diferentes condições que possam caracterizar e/ou afetar a transmissão da doença.

Com relação à variabilidade, a dengue e os índices têm o período anual como principal sinal de potência na análise univariada, tanto nos espectros de potência quanto nos globais. Para os índices, o período trienal também se destaca, enquanto que a dengue apresenta uma periodicidade quinquenal que tende para quadrienal ao longo da série. A análise bivariada tem como resultado os períodos anual, trienal e quinquenal como principais para os cruzamentos de variáveis, podendo ter o período quinquenal como principal em alguns casos nos espectros globais.

Com relação às fases, é possível notar que o ciclo trienal possui diferentes situações de defasagem para cada índice – podendo encontrar seções em fase ou antifase, enquanto que o quinquenal se mostra, em geral, em antifase (fase) com os índices de El Niño positivo (negativo) e La Niña negativa (positiva). Uma característica relevante encontrada é a ocorrência da maior parte das grandes epidemias registradas em associação com sinais de La Niña em enfraquecimento ou em transição para El Niño. As TOC indicam covariâncias que variam de 0,35 até aproximadamente

0,79 entre os diversos índices e a dengue. Assim como nas TO na análise univariada, os principais períodos para a análise bivariada são o anual, trienal e quinquenal.

Com relação ao aspecto de previsibilidade do estudo, é visto que os modelos possuem significância estatística satisfatória. No modelo RLM completo, a resposta do teste F indica que as variáveis predictoras se mostram úteis para a previsão da variável dependente, apesar do seu valor de R^2 estar abaixo de 40%. A análise de variância exhibe metade dos índices preditores com significância acima de 95%, sendo Niño 4, Niño 3, Niño 1+2, ONI, TNI e OLR acima de 99,9%. O modelo *stepwise* retorna um valor baixo de AIC, indicando um bom desempenho. Além disto, ele traz a redução de doze preditores para cinco: Niño 3, ONI, TNI, PNA e OLR. Todos possuem significância acima de 95%, tendo destaque os índices TNI e OLR, com altos indicativos de associação com a variável dependente (valor F alto e Pr (>F) muito baixo), sendo assim bastante significativos estatisticamente (acima de 99,9%). A partir de uma verificação geral de todas as etapas das RLM, pode-se dizer que os índices Niño 3, ONI, TNI e OLR são os que explicam melhor a dengue com relação à variância.

Outro aspecto importante obtido neste estudo é ambos os modelos se mostrarem bem ajustados no que diz respeito à posição no tempo e seguirem os padrões cíclicos de endemia e epidemia presentes na série de dados observados. Entretanto, com relação à dimensão, ambos superestimam o número de casos nos anos com menos ocorrências e subestimam nos anos de epidemia, ou seja, com números alarmantes de ocorrências.

A partir das metodologias então apresentadas, pode-se dizer que a variabilidade interanual ENSO exerce controle sobre a dengue no município do Rio de Janeiro, principalmente sobre os casos de epidemia.

Nos últimos anos vem sendo feitos diversos estudos sobre a dengue, incluindo efeitos do risco de epidemia na saúde humana, que podem estar crescendo por conta de fatores como aquecimento global, ilhas de calor e episódios de ondas de calor, bem como a forma de organização da população. Aliado ao esforço de buscas de vacinas e numerosos estudos epidemiológicos, na tentativa de entender a dengue em diferentes aspectos, como por exemplo na proliferação da dengue em cidades de porte médio, como Ribeirão Preto, este trabalho se mostra relevante por discutir a questão da variabilidade epidêmica da dengue, o que pode auxiliar outras pesquisas que tentam obter uma compreensão ampliada da doença. Além disso, os resultados apresentados podem

ser utilizados em programas futuros focados no maior controle do vetor e da sua propagação e assim, possibilitar o acompanhamento dos próximos casos.

5.1 Recomendações de trabalhos futuros:

- ⑩ A ampliação do período de estudo a fim de obter a melhora nas respostas entre a dengue e a variabilidade climática.
- ⑩ A aplicação do método de análise de ondeleta univariada e ondeleta cruzada para os bairros da cidade do Rio de Janeiro separadamente, em vez de aplicar para o município como um todo, trazendo uma avaliação na concentração de casos de dengue por região.
- ⑩ O desenvolvimento do modelo de previsão de dengue associado à variabilidade climática e variáveis climatológicas locais através de melhorias no modelo atual e/ou possível uso de outras técnicas como, por exemplo, mineração de dados.

Referências Bibliográficas

ATIQUE, Suleman et al. Meteorological influences on dengue transmission in Pakistan. Asian Pacific journal of tropical medicine, v. 9, n. 10, p. 954-961, 2016.

AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY. El Niño, La Niña and Australia's Climate. 2005. Disponível em <<http://www.bom.gov.au/info/leaflets/nino-nina.pdf>>. Acesso em 26 set. 2018.

AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY. El Niño Southern Oscillation (ENSO). 2008. Disponível em <<http://www.bom.gov.au/climate/about/australian-climate-influences.shtml?bookmark=enso>>. Acesso em 26 set. 2018.

AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY. The Walker Circulation. 2008. Disponível em <<http://www.bom.gov.au/watl/about-weather-and-climate/australian-climate-influences.shtml?bookmark=walkercirculation>>. Acesso em 29 set. 2018.

BANU, Shahera et al. Impacts of El Niño southern oscillation and Indian Ocean dipole on dengue incidence in Bangladesh. Scientific reports, v. 5, p. 16105, 2015.

BARROS, Vicente R.; GRIMM, Alice M.; DOYLE, Moira E. Relationship between Temperature and Circulation in Southeastern South America and its Influence from El Niño and La Niña Events. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, v. 80, n. 1, p. 21-32, 2002.

BARCELLOS, C. D. C., PUSTAI, A. K., WEBER, M. A., BRITO, M. R. V. Identificação de locais com potencial de transmissão de dengue em Porto Alegre através de técnicas de geoprocessamento. 2005.

BECKER, Emily. EN...SO?. 2014. Disponível em <<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/en-so>> Acesso em: 29 de out. 2018.

CAI, Wenju et al. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature climate change*, v. 4, n. 2, p. 111, 2014.

CAMPBELL, L. P., LUTHER, C., MOO-LLANES, D., RAMSEY, J. M., DANIS-LOZANO, R., PETERSON, A. T. . Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 370, n. 1665, p. 20140135, 2015.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC. El Niño. 2016. Disponível em <<http://enos.cptec.inpe.br/elnino/pt>>. Acesso em 29 set. 2018.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC. La Niña. 2016. Disponível em <<http://enos.cptec.inpe.br/lanina/pt>>. Acesso em 29 set. 2018.

COLÓN-GONZÁLEZ, Felipe J.; LAKE, Iain R.; BENTHAM, Graham. Climate variability and dengue fever in warm and humid Mexico. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, v. 84, n. 5, p. 757-763, 2011.

CLIMATE PREDICTION CENTER - CPC. El Niño Regions. 2005. Disponível em <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml>. Acesso em 28 jan. 2019.

CLIMATE PREDICTION CENTER - CPC. Frequently Asked Questions about El Niño and La Niña. 2012. Disponível em <http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#DIFFER>. Acesso em 26 set. 2018.

DERECZYNSKI, C. P.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, p. 24-38, 2009.

DOMINGUES, M. O., MENDES JR, O., DA COSTA, A. M. Algumas aplicações wavelet na análise de sinais atmosféricos. 2003. *Série Arquimedes, Volume 2, Anais do DINCON 2003*. 2º

Congresso Temático de Aplicações de Dinâmica e Controle da Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional (SBMAC). Disponível em <<http://www.lac.inpe.br/~margarete/Dincon2003Wavelet.pdf>>. Acesso em Mai. 2017.

FIOCRUZ. Lançamento da campanha Brasil unido contra a Dengue. Disponível em <<https://www.canalsaude.fiocruz.br/canal/videoAberto/Lancamento-da-campanha-Brasil-unido-contra-a-Dengue>>. Acesso em Dez. 2020.

FUNASA. Programa Nacional de Controle da Dengue. Disponível em <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/pncd_2002.pdf>. Acesso em Dez. 2020.

GABRIEL, A. F. B. et al. Health impact assessment of the incidence of dengue associated with precipitation in the city of Ribeirão Preto, São Paulo. *Cadernos Saúde Coletiva*, n. AHEAD, 2018.

GAMAGE, N.; BLUMEN, W. Comparative analysis of low-level cold fronts: Wavelet, Fourier, and empirical orthogonal function decompositions. *Monthly weather review*, v. 121, n. 10, p. 2867-2878, 1993.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of climate*, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.

GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil?. *Climate Dynamics*, v. 22, n. 2, p. 123-138, 2004.

GU, D.; PHILANDER, S. G. H. Secular changes of annual and interannual variability in the tropics during the past century. *Journal of Climate*, v. 8, n. 4, p. 864-876, 1995.

HOPP, M. J.; FOLEY, J. A. Worldwide fluctuations in dengue fever cases related to climate variability. *Climate Research*, v. 25, n. 1, p. 85-94, 2003.

HOREL, John D.; WALLACE, John M. Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, v. 109, n. 4, p. 813-829, 1981.

HURTADO- DÍAZ, M. et al. Impact of climate variability on the incidence of dengue in Mexico. *Tropical medicine & international health*, v. 12, n. 11, p. 1327-1337, 2007.

IGUCHI, J. A.; SEPOSO, X. T.; HONDA, Y. Meteorological factors affecting dengue incidence in Davao, Philippines. *BMC public health*, v. 18, n. 1, p. 629, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Estimativa da população 2018. Disponível em <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2018/estimativa_TCU_2018_2019_0213.pdf>. Acesso em Abril/2019.

JOHANSSON, M. A.; CUMMINGS, D. AT; GLASS, G. E. Multiyear climate variability and dengue—El Nino southern oscillation, weather, and dengue incidence in Puerto Rico, Mexico, and Thailand: a longitudinal data analysis. *PLoS medicine*, v. 6, n. 11, p. e1000168, 2009.

ISLAM, Zahirul et al. Correlates of Climate Variability and Dengue Fever in Two Metropolitan Cities in Bangladesh. *Cureus*, v. 10, n. 10, 2018.

JENNINGS, S., KAISER, M., REYNOLDS, J. D. *Marine fisheries ecology*. John Wiley & Sons, 2009.

LIAO, Chung-Min et al. Regional response of dengue fever epidemics to interannual variation and related climate variability. *Stochastic environmental research and risk assessment*, v. 29, n. 3, p. 947-958, 2015.

LIU Y., LIANG X.S., WEISBERG R.H. Rectification of the Bias in the Wavelet Power Spectrum. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 24, p. 2093–2102, 2007.

L'HEUREUX, Michelle. What is the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) in a nutshell?. NOAA Climate. Gov, 2014.

LUCENA, A., JUNIOR, J. F. O., GOIS, G., MIRANDA, V. EVENTOS INTENSOS DE EL NIÑO E A SUA INFLUÊNCIA NAS CHUVAS DA ZONA OESTE DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO/RJ. Revista Brasileira de Climatologia, v. 27, 2020.

MANTUA, N. J., HARE, S. R., ZHANG, Y., WALLACE, J. M., & FRANCIS, R. C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 78, n. 6, p. 1069-1080, 1997).

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. ENSO Index Dashboard. Disponível em <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/dashboard.lanina.html>>. Acesso em Julho/2017.

REBOITA, M. S, Elementos da Variabilidade Climática no Extremo Sul do Brasil, no Período de 1990 a 2001. Dissertação, Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2004.

RÖSCH, Angi; SCHMIDTBAUER, H. WaveletComp: Computational Wavelet Analysis. R package version 1.0. Disponível em <http://www.hs-stat.com/projects/WaveletComp/WaveletComp_guided_tour.pdf>. 2014. Acesso em Julho/2017.

SANTOS, S. A. F.; KARAM, H. A. 2017. Análise de ondeleta da incidência de febre de dengue e variáveis meteorológicas na cidade do Rio de Janeiro. VI Prêmio Crea-RJ de Trabalhos Científicos e Tecnológicos 2017, Rio de Janeiro. Anais de trabalhos premiados: VI Prêmio Crea-RJ de Trabalhos Científicos e Tecnológicos 2017. Disponível em <<https://drive.google.com/file/d/1wSIcM0DZnAYWXspXvRIae9WIzcG8uhwL/view>> Acesso em Fevereiro/2018.

SECRETARIA MUNICIPAL DE SAÚDE - SMS. Dengue – dados epidemiológicos. Disponível em <<http://www.rio.rj.gov.br/web/sms/exibeconteudo?id=2815389>>. Acesso em Dezembro/2017.

SILVA, W. L.; DERECZYNSKI, C. P. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 37, n. 2, p. 123-138, 2014.

STOLERMAN, L. M.; MAIA, P. D.; KUTZ, J. N. Forecasting dengue fever in Brazil: An assessment of climate conditions. *PloS one*, v. 14, n. 8, p. e0220106, 2019.

TALAGALA, T.; LOKUPITIYA, R. Wavelet analysis of dengue transmission pattern in Sri Lanka. *International Journal of Mosquito Research*, v.2, p.13-18, 2015.

TASCHETTO, A. S., RODRIGUES, R. R., MEEHL, G. A., MCGREGOR, S., & ENGLAND, M. H. How sensitive are the Pacific–tropical North Atlantic teleconnections to the position and intensity of El Niño-related warming?. *Climate Dynamics*, v. 46, n. 5, p. 1841-1860, 2016.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to Wavelet analysis. *Bull. Amer.Meteor. Soc.*, v.79, p.61-78, 1998.

VELEDA, D.; MONTANGNE, R.; ARAUJO, M. Cross-wavelet bias corrected by normalizing scales. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 29, 1401–1408, 2012. doi:10.1175/JTECH-D-11-00140.1.

VINCENTI-GONZALEZ, M. F. et al. ENSO-driven climate variability promotes periodic major outbreaks of dengue in Venezuela. *Scientific reports*, v. 8, n. 1, p. 5727, 2018.

XIAO, J. et al. Weather variables and the El Niño Southern Oscillation may drive the epidemics of dengue in Guangdong Province, China. *Science of The Total Environment*, v. 624, p. 926-934, 2018.

WANDERLEY, H. S.; FERNANDES, R. C.; DE CARVALHO, A. L. Mudança térmica na cidade do Rio de Janeiro e o desvio ocasionado durante um evento de El Niño intenso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 04, p. 1291-1301, 2019.

WANG, B.; WANG, Y. Temporal structure of the Southern Oscillation as revealed by waveform and wavelet analysis. *Journal of Climate*, v. 9, n. 7, p. 1586-1598, 1996.

WENG, H., LAU, K. M. Wavelets, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the tropical western Pacific. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 51, n. 17, p. 2523-2541, 1994.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Dengue: Guidelines for Diagnosis, Treatment, Prevention and Control. 2009. pp. 1-160. Disponível em http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547871_eng.pdf. Acesso em 02/2018.

APÊNDICE A – RESULTADOS DAS TRANSFORMADAS DE ONDELETAS UNIVARIADAS DOS ÍNDICES ENSO

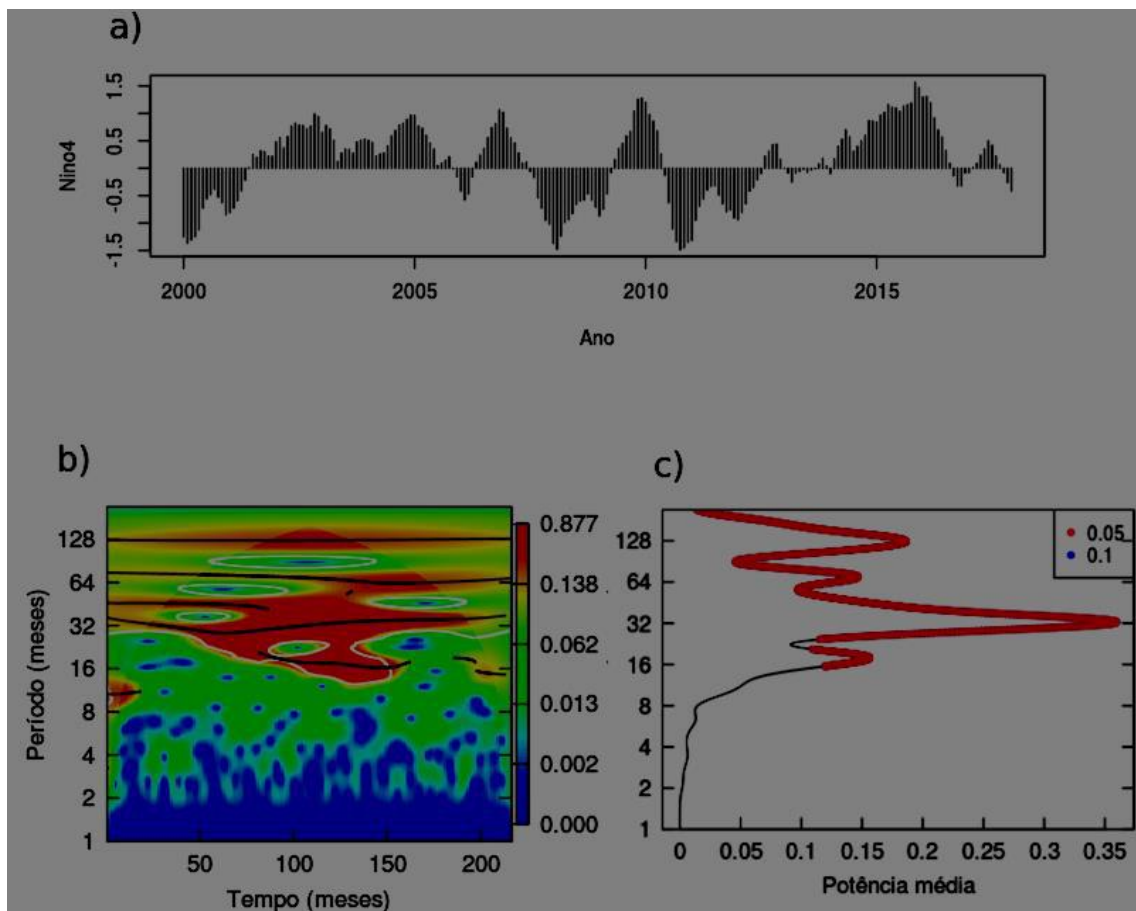


Figura A-1: (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice Niño 4. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

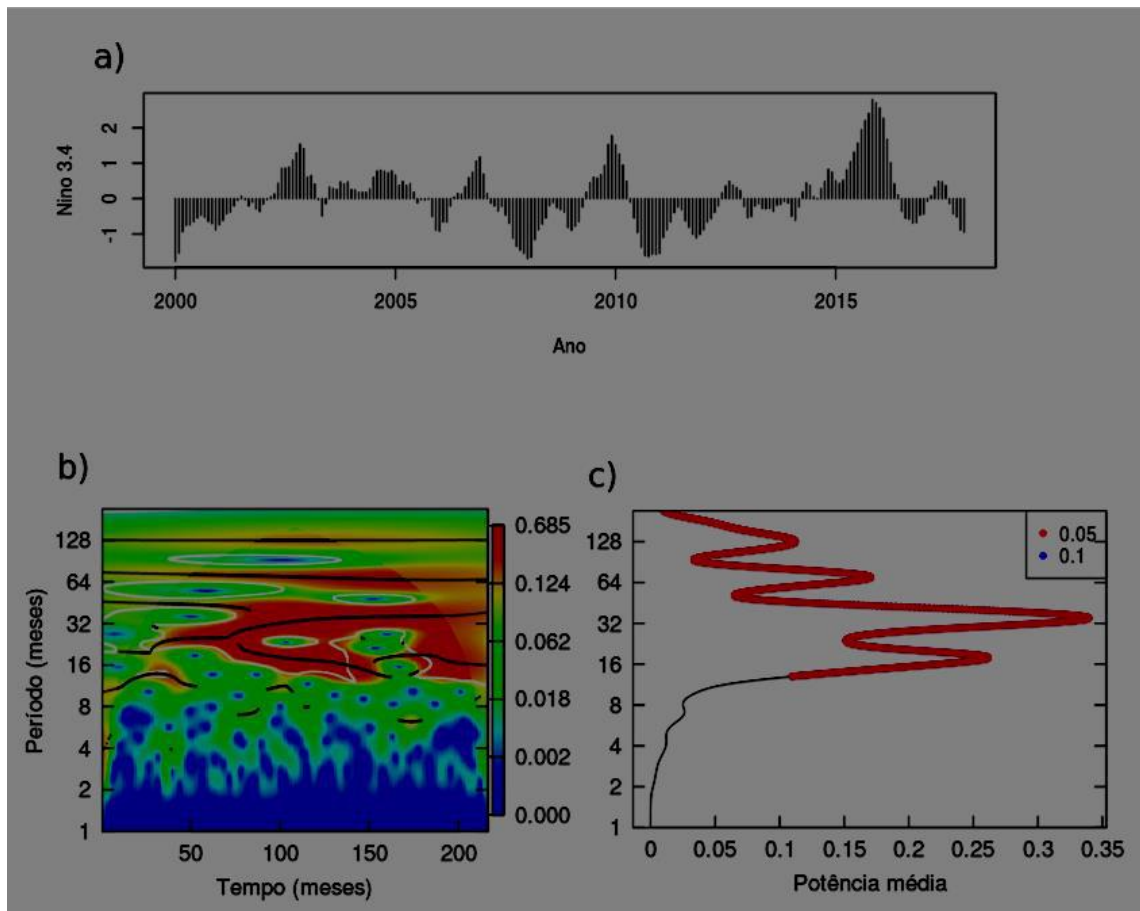


Figura A-2: (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice Niño 3.4. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

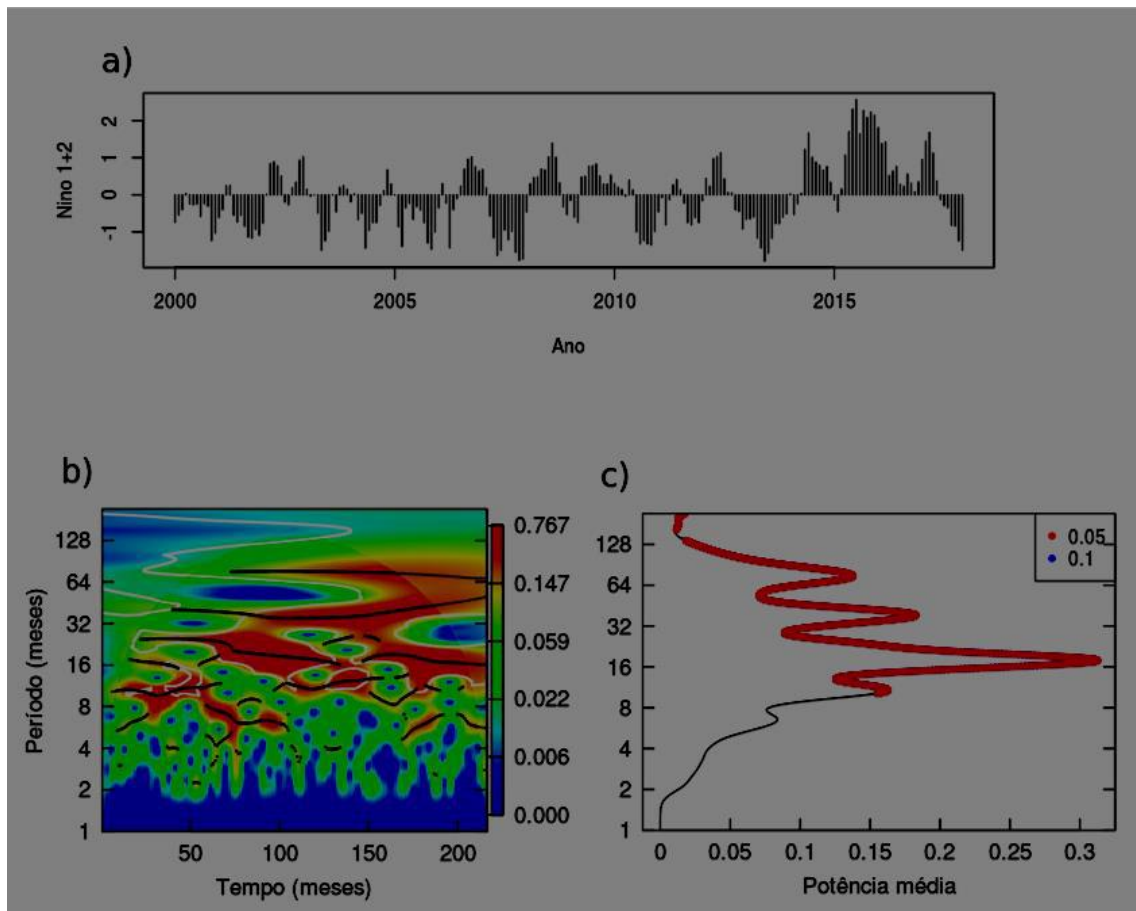


Figura A-3: (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice Niño 1+2. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

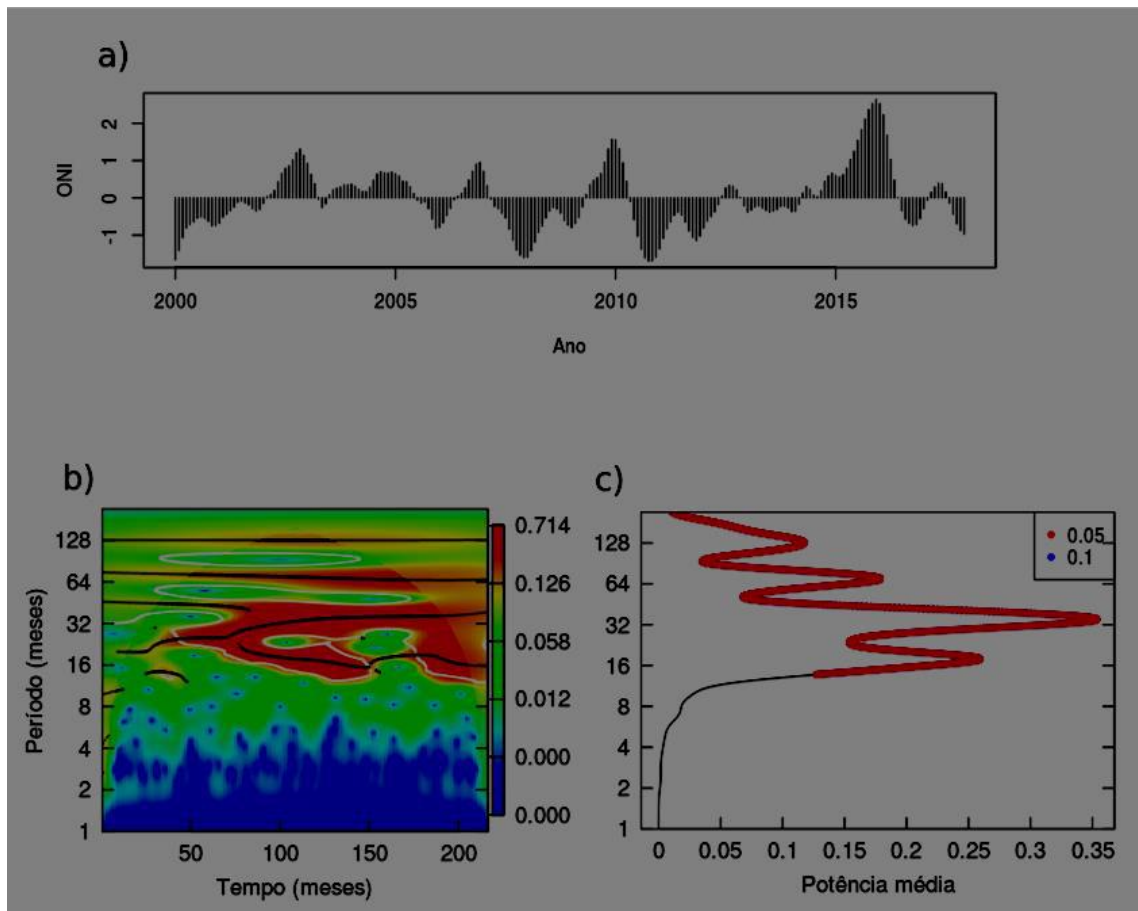


Figura A-4: (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice ONI. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

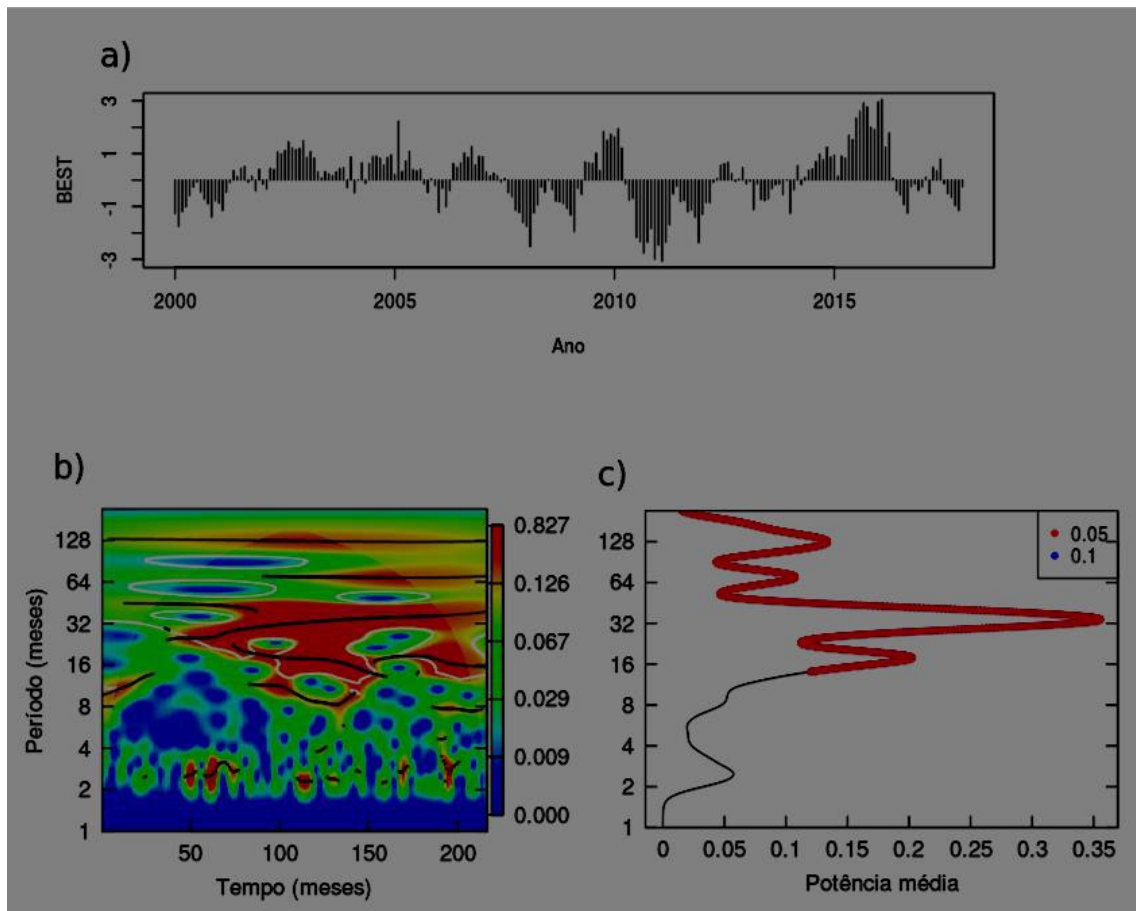


Figura A-5: (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice BEST. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

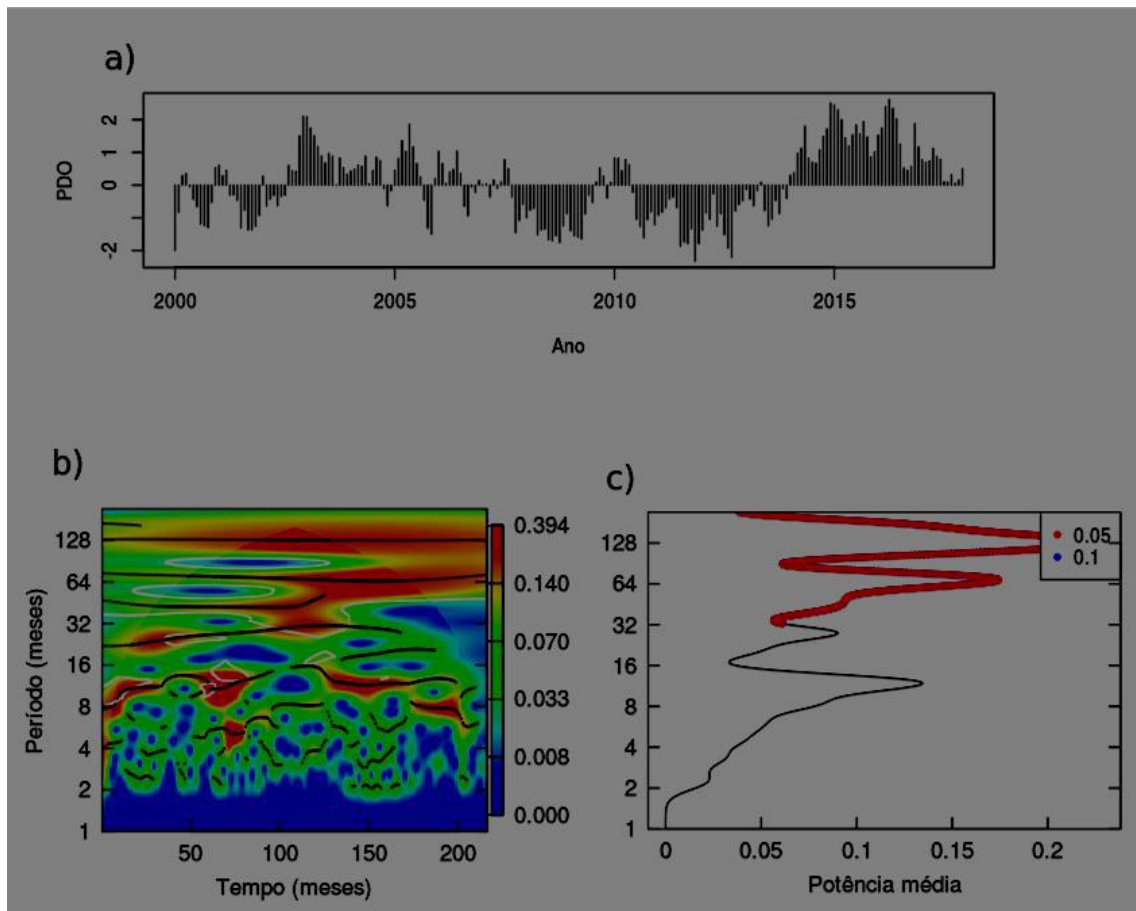


Figura A-6: (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice PDO. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

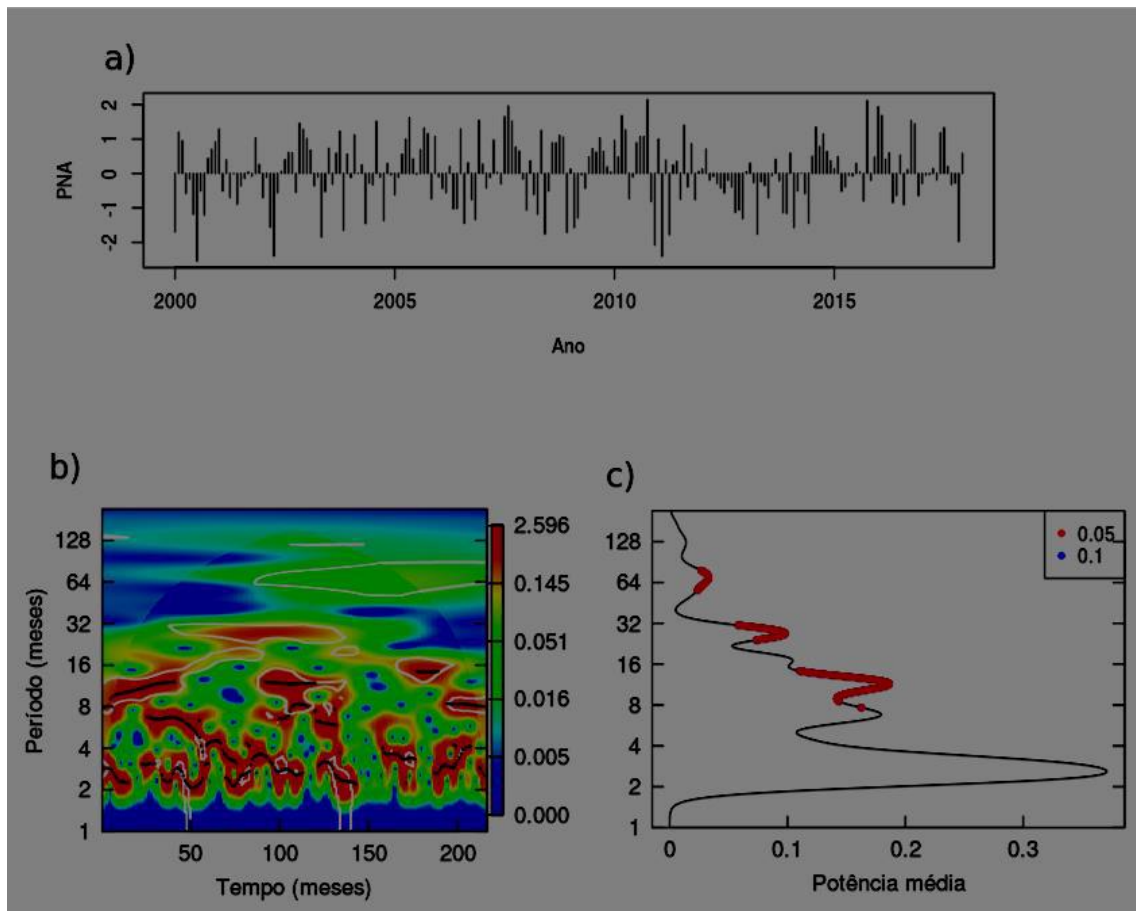


Figura A-7: (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice PNA. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

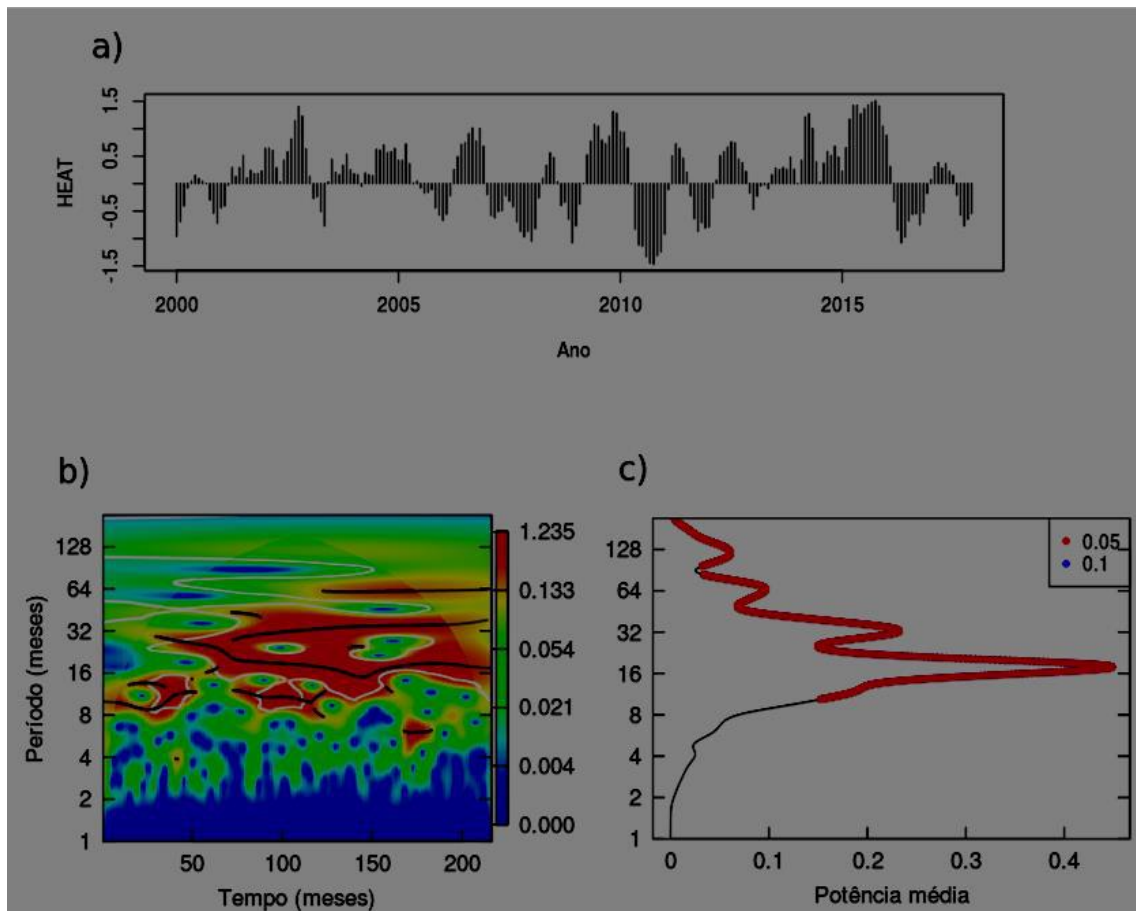


Figura A-8: (a) Série temporal, (b) espectro de potência de ondeleta contínua e (c) espectro de ondeleta global do índice HEAT. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

APÊNDICE B – RESULTADOS DAS TRANSFORMADAS DE ONDELETAS BIVARIADAS DOS ÍNDICES ENSO

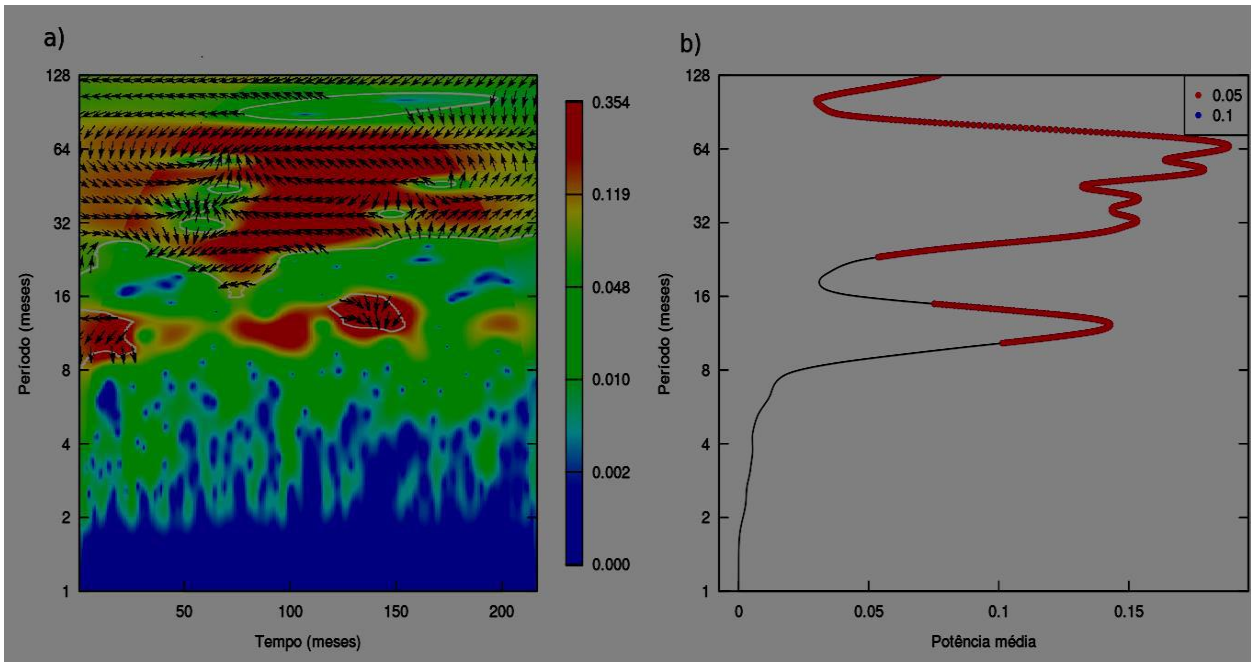


Figura B-1: Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice Niño 4 com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

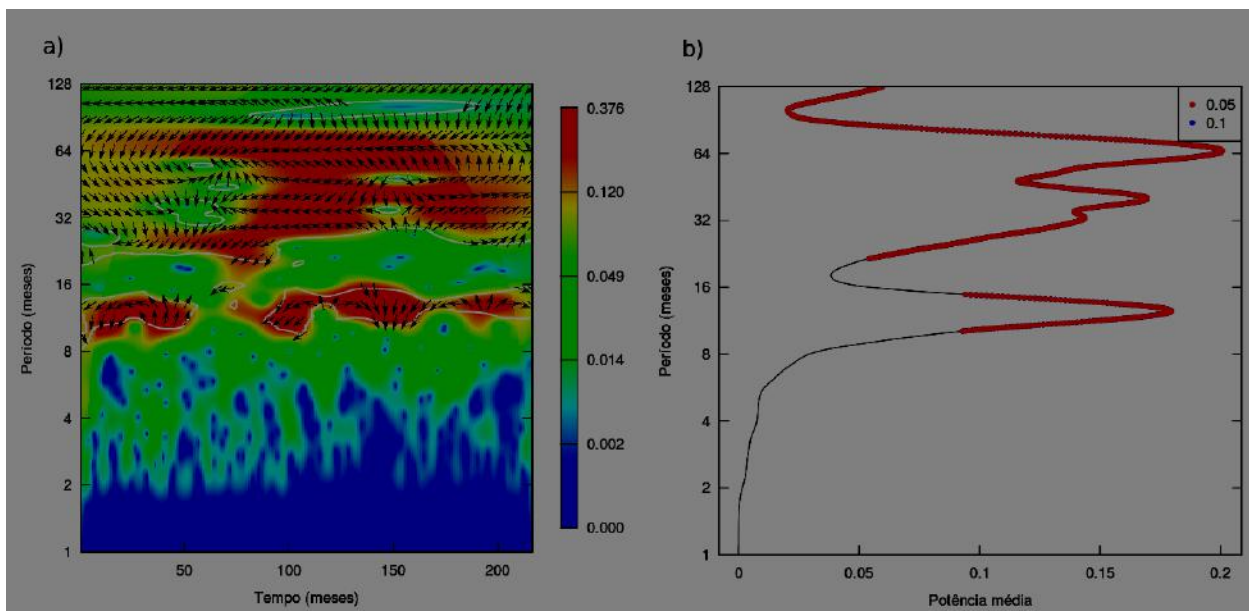


Figura B-2: Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice Niño 3.4 com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

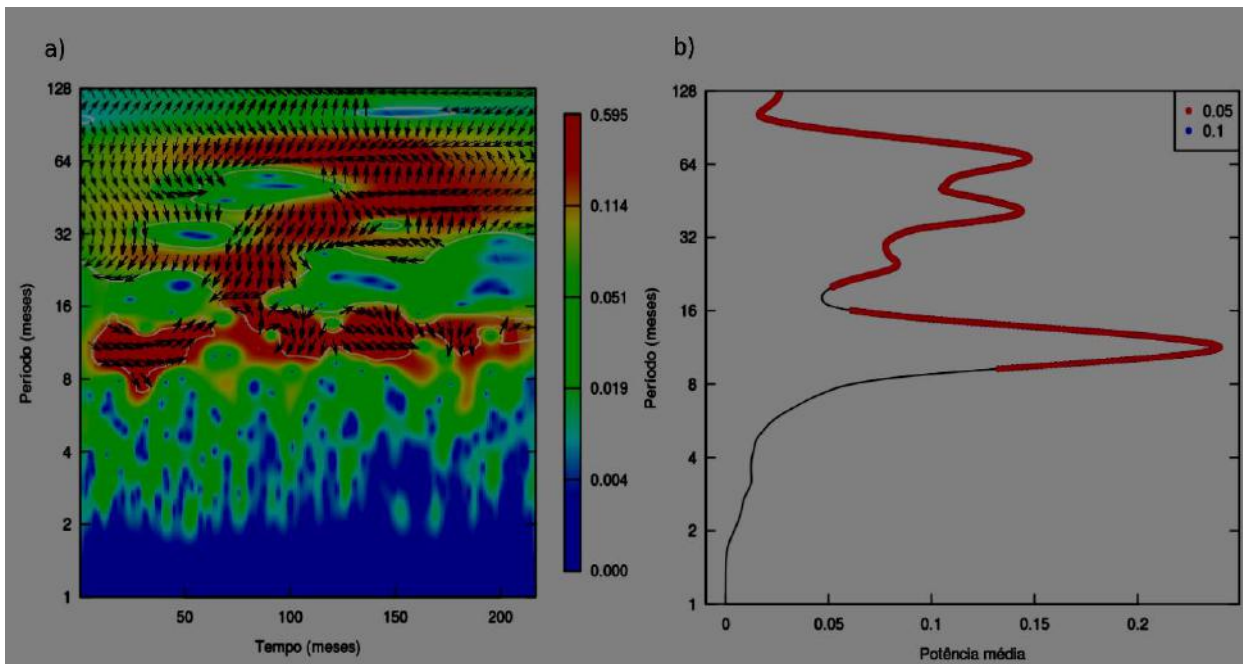


Figura B-3: Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice Niño 1+2 com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

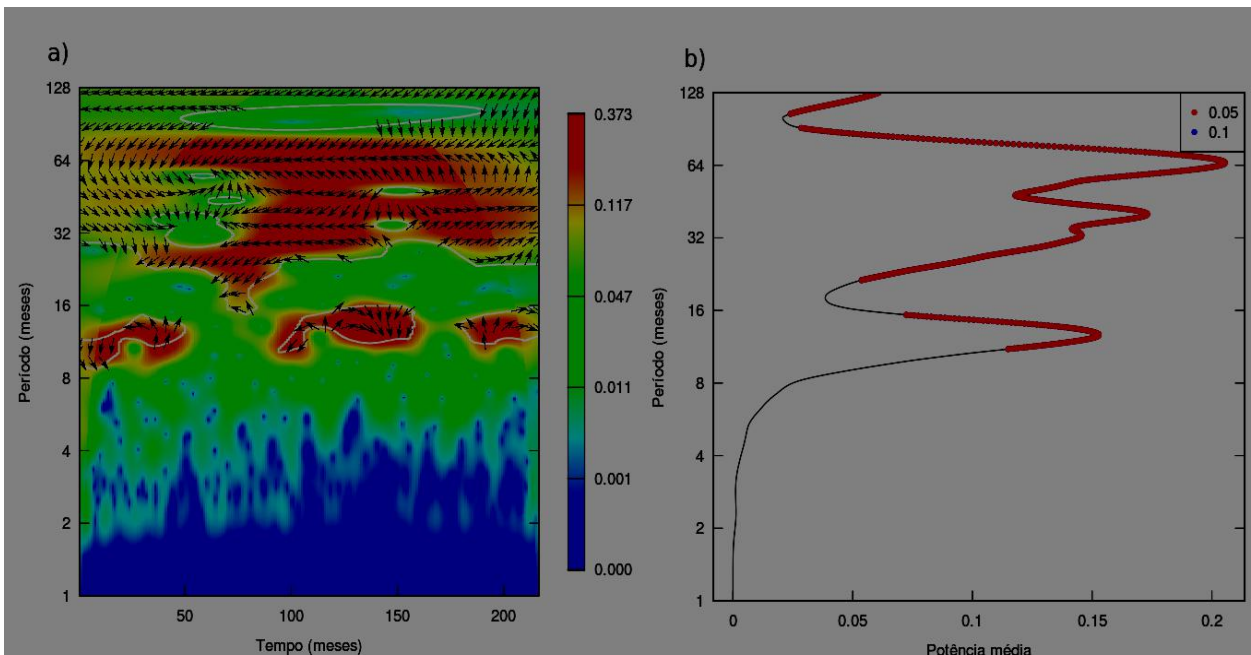


Figura B-4: Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice ONI com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

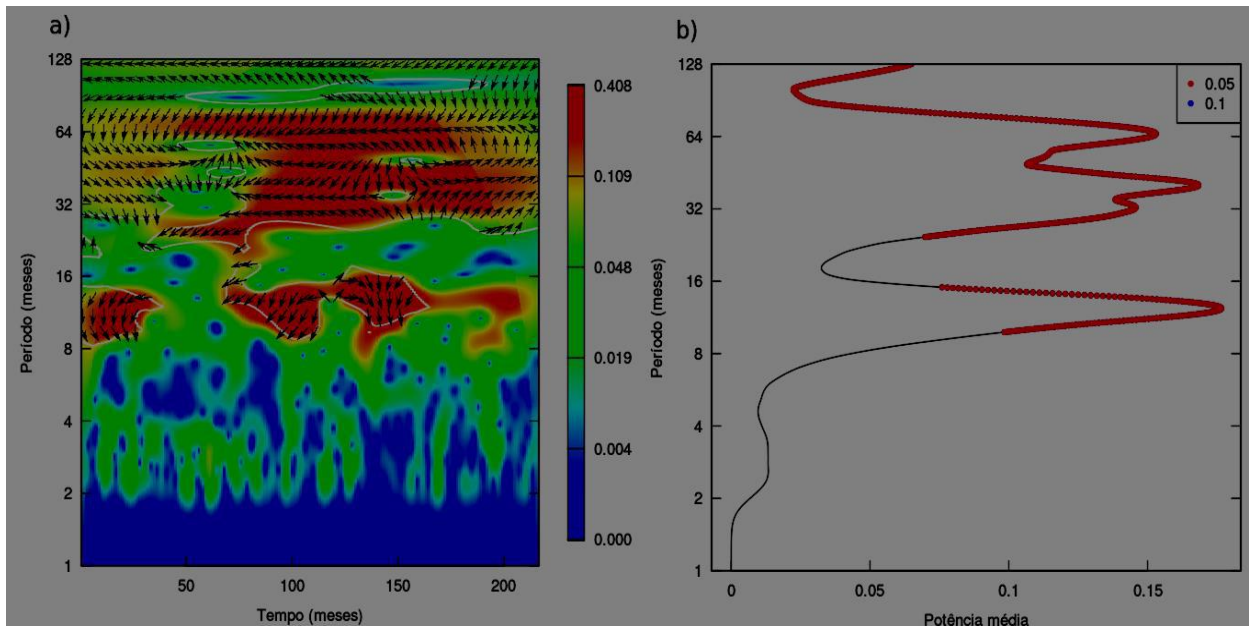


Figura B-5: Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice BEST com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

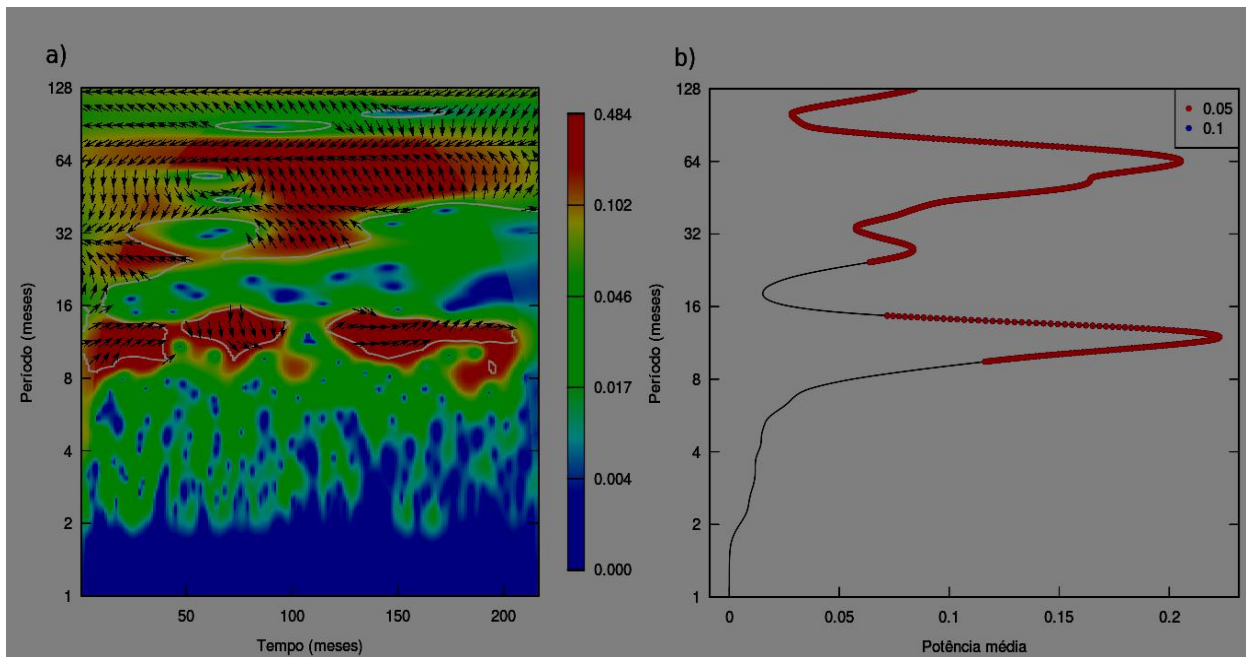


Figura B-6: Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice PDO com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

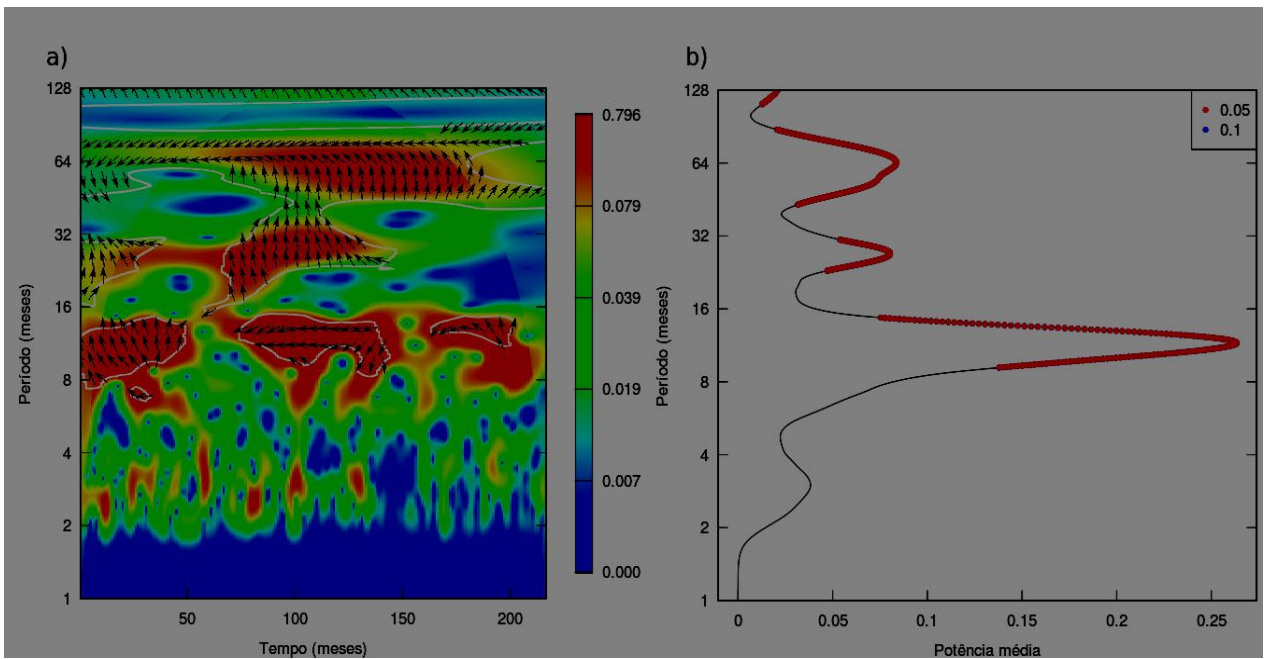


Figura B-7: Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice PNA com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).

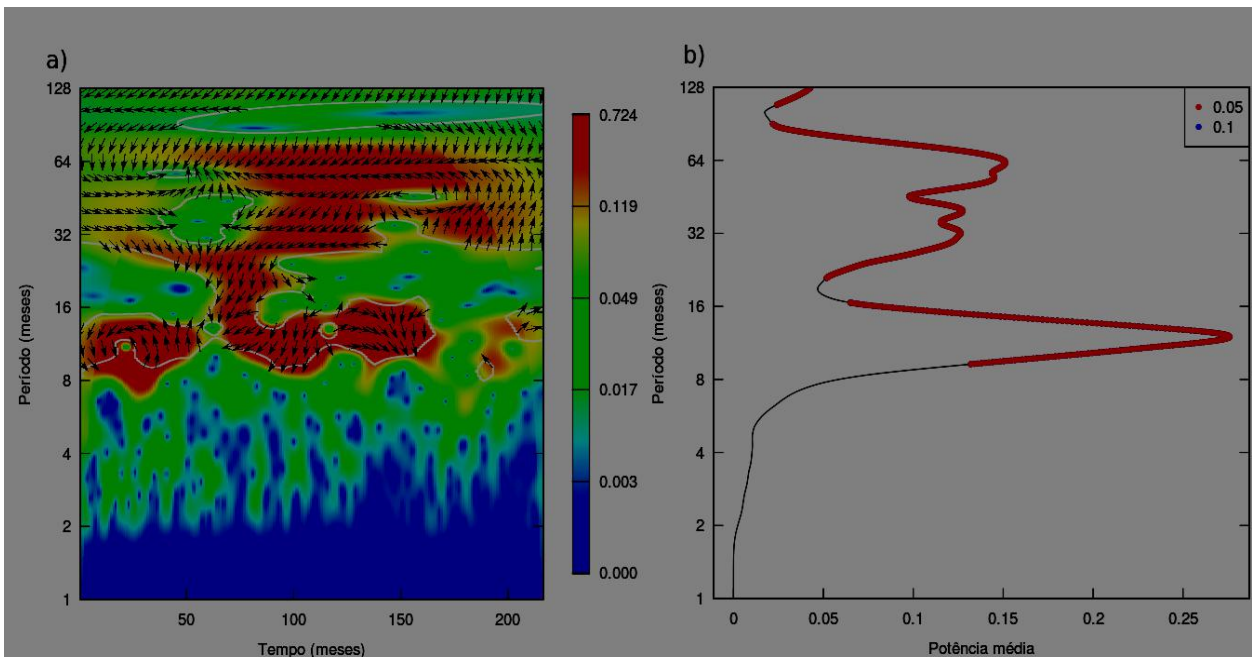


Figura B-8: Espectros bivariados de (a) potência de ondeleta contínua e (b) ondeleta global do índice HEAT com \log_{10} das notificações de dengue. As linhas cheias brancas no espectro contínuo representam o nível de confiança estatística de 0,1 (90%) e as regiões delimitadas pelo sombreado branco indicam o cone de influência. Os pontos vermelhos no espectro global representam o nível de significância estatística de 0,05 (95%).