

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ESPECTRO CRUZADO E COERÊNCIA WAVELET:
UM ESTUDO DE VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS
EM FRAÇÕES URBANAS NA CIDADE DE CUIABÁ, MT**

ÂNGELA FÁTIMA DA ROCHA

PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS

Cuiabá, MT
Julho de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ESPECTRO CRUZADO E COERÊNCIA WAVELET:
UM ESTUDO DE VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS EM
FRAÇÕES URBANAS NA CIDADE DE CUIABA, MT**

ÂNGELA FÁTIMA DA ROCHA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Física Ambiental.

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS

Cuiabá, MT
Julho de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

R672e Rocha, Ângela Fátima da.
ESPECTRO CRUZADO E COERÊNCIA WAVELET: UM ESTUDO DE
VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS EM FRAÇÕES URBANAS NA
CIDADE DE CUIABÁ, MT / Ângela Fátima da Rocha. -- 2018
xvi, 136 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Carlo Ralph De Musis.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Transforma Wavelet Cruzada. 2. Coerência Wavelet. 3. Temperatura do ar. 4.
Umidade relativa do ar. 5. Vento. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: ESPECTRO CRUZADO E COERÊNCIA WAVELET: UM
ESTUDO DE VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS EM
FRAÇÕES URBANA NA CIDADE DE CUIABÁ-MT**

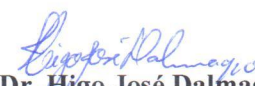
AUTORA: ÂNGELA FÁTIMA DA ROCHA

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 11 de julho de 2018, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis
Orientador
Universidade de Cuiabá - UNIC


Prof. Dr. Osvaldo Borges Pinto Junior
Examinador Interno
Universidade de Cuiabá/UNIC


Prof. Dr. Denilton Carlos Gaio
Examinador Interno
Instituto de Física - UFMT


Prof. Dr. Higo José Dalmagro
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá – UNIC/Cuiabá


Prof. Dr. Jonathan William Zangeski Novais
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá – UNIC/Cuiabá

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo e filhos,

A minha mãe.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente, a Deus, pela minha Vida, Ele fonte de toda a VIDA.
- A minha família, minha mãe Terezinha Baptista da Rocha, também pela vida e todo o Amor e carinho sempre dispensados; ao meu pai Pedro Vaz da Rocha (*in memorium*) também pela vida e exemplo de força e coragem; a minha tia Conceição Ap. B. Queiroz pela dedicação e apoio recebidos.
- Ao meu esposo Ernany Paranaguá da Silva pelo Amor compreensão e incentivos sempre recebidos, aos meus filhos Enzo Rocha Paranaguá e Raquel Rocha Paranaguá, minhas fontes de coragem e força.
- Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Cuiabá - Octayde Jorge da Silva (IFMT), instituição em que trabalho.
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, coordenador do PPGFA - UFMT e a Prof^a. Dr^a. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pela dedicação e empenho com a qual dirigem o PPGFA, e o fizeram, junto a todos os professores, um programa de Excelência em Mato Grosso.
- Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis, pela orientação e amizade em todos os momentos. Ao senhor, professor, meus sinceros agradecimentos e minha admiração.
- A todos os professores do PPGFA, em especial a Prof. Dr^a. Flávia M. M. Santos, Prof. Dr. Denilton C. Gaio, Prof. Dr. Raphael S. R. Gomes, Prof. Dr. Geraldo A. R. Neves.
- Aos secretários Cesário e Soilce, pela atenção sempre recebida.
- A Banca examinadora: pela leitura da tese e pelas importantes contribuições dadas ao trabalho.
- A todos os colegas que me ajudaram de uma forma ou de outra a ter mais coragem.

EPÍGRAFE

Entendamos

O objetivo da sua vida na Terra não constitui a autoridade, a beleza ou o conforto efêmero.
É o aperfeiçoamento espiritual.

A fraternidade pura não expressa faciosismo de classe ou crença, pátria ou partido.

É benção de amor e de entendimento.

A finalidade da educação não se resume no respeito cego a tradicionalismo e preconceito.

É disciplina aos impulsos próprios.

A máquina não existe para automatizar a experiência.

É recurso à prosperidade geral.

A evangelhização da infância não consiste em seu acondicionamento às nossas ideias.

É o processo da emancipação infantil para a compreensão da justiça e do bem.

O exercício profissional não consubstancia concorrência desonesta em louvor da ambição.

É ensejo de auxílio a todos.

O conhecimento maior não representa ingresso à felicidade contemplativa.

É libertação do erro com responsabilidade na consciência.

A caridade não exprime virtude, conforme a nossa inclinação afetiva.

É solução a qualquer problema.

A sua fé não significa exclusivo ideal para o futuro.

É força construtiva para hoje.

O seu estudo não se restringe à padronização da sua existência à existência dos outros.

É arma viva para a reforma de você mesmo.

A melhoria moral não transparece desse ou daquele título honroso alcançado entre os homens.

É luz manifesta em seu bom exemplo.

André Luis por Chico Xavier.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 - JUSTIFICATIVA.....	2
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 - SÉRIES TEMPORAIS.....	4
2.2 - TRANSFORMADA DE FOURIER.....	5
2.2.1 - Transformada de Fourier Janelada.....	6
2.3 - TRANSFORMADA WAVELET.....	7
2.3.1 - Modelo Tradicional TWC.....	9
2.3.2 - Modelo Transformada Wavelet Discreta TWD	15
2.4 - MODELO CRUZADO.....	19
2.5 - COERÊNCIA WAVELET.....	22
2.6 - MICROMETEOROLOGIA.....	24
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 - CARACTERIZAÇÃO DO LÓCUS	27
3.2 - ÁREA ESTUDO	28
3.3 - MÉTODOS.....	30
3.3.1 - Algoritmos trabalhados.....	31
3.3.2 - Transformada Wavelet Tradicional TWC	32
3.3.3 - Transformada Wavelet Cruzada TWX	33
3.3.4 - Coerência Wavelet CW	34
4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1 - ESTATÍSTICA EXPLORATÓRIA Frações Urbanas 1 e 2.....	36
4.2 - FRAÇÕES URBANAS.....	39
4.2.1 - Fração Urbana 1.....	39
4.2.2 - Fração Urbana 2.....	43
4.3 - ESCALOGRAMAS E ESPECTROGRAMAS WAVELETS....	45
4.3.1 - TWC Frações Urbanas1 e 2.....	45
4.3.2 - TWX Frações Urbanas 1 e 2.....	63
4.3.3 - CW Frações Urbanas 1 e 2.....	71
5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
6.1 - Bibliografias Citadas	80
6.2 - Bibliografias Consultadas	88

ANEXO - Algoritmos utilizados	100
APÊNDICE - Funções de chamada	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação das Wavelets Analíticas.	10
Figura 2	Wavelet Analítica de Morlet representando o sinal no plano tempo e frequência por meio dos parâmetros de escala “a” para contração e dilatação, sendo (a) Wavelet Analítica de Morlet com pacote Gaussiano e distorção de fase $\frac{\pi}{4}$, $a=1$; (b) espectro de energia contendo o número ondas sinusoidais, $a=1$; (c) ondas de baixa oscilação com frequência central próximas a f_0 , $a=1$; (d) sinal sintético wavelet; (e) Wavelet comprimindo, $a=0,5$; (f) Wavelet alongando, $a=2$	11
Figura 3	Característica espectral da dizimação por 2	16
Figura 4	Característica espectral da interpolação por 2	17
Figura 5	Seleção de estruturas coerentes	23
Figura 6	Corte esquemático do mapa físico de Cuiabá	27
Figura 7	Fração Urbana 1 - topoclima em período seco do ano de 2015	29
Figura 8	Fração Urbana 2 - topoclima em período seco do ano de 2016	29
Figura 9	Fluxograma do pré-processamento dados	30
Figura 10	Fluxograma representativo da metodologia wavelets adotada	31
Figura 11	Dispersão das médias diárias e histograma das médias horárias, Fração Urbana 1, (a) temperatura do ar e (b) umidade relativa do ar	37
Figura 12	Dispersão das médias diárias e histograma das média horárias, Fração Urbana 2, (a) vento	38
Figura 13	Dispersão das médias diárias e histograma das média horárias, Fração Urbana 2, (a) temperatura do ar e (b) umidade relativa do ar	38
Figura 14	Dispersão das médias diárias e histograma das média horárias, Fração Urbana 2, (a) vento	39
Figura 15	Séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento - Fração Urbana 1, médias horárias	40
Figura 16	Médias diárias de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento - Fração Urbana 1	42
Figura 17	Médias diárias de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento - Fração Urbana 2	43
Figura 18	Médias diárias de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento - Fração Urbana 2	45
Figura 19	(a) Escores Z das séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, e (b) variância anual móvel das variáveis - Fração Urbana 1	46

Figura 20	a) Escores Z das séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, e (b) variância anual móvel das variáveis - Fração Urbana 2	47
Figura 21	TWC de temperatura do ar original para Fração Urbana 1, com escalograma, espectrograma e linha do tempo	49
Figura 22	TWC de temperatura do ar original para Fração Urbana 2, com escalograma, espectrograma e linha do tempo	50
Figura 23	TWC para temperatura do ar e umidade relativa do ar recortadas, Fração Urbana 1	51
Figura 24	TWC de vento recortada, Fração Urbana 1	54
Figura 25a	TWC de temperatura do ar e umidade relativa do ar do período seco do ano de 2015, Fração Urbana 1	56
Figura 25b	TWC de vento do período seco do ano de 2015, Fração Urbana 1	57
Figura 25c	TWC de vento, segundo período seco da série da Fração Urbana 1, ano de 2016	57
Figura 26	TWC de temperatura do ar e umidade relativa do ar do período seco do ano de 2016, Fração Urbana 1	58
Figura 27	TWC de vento recortada, Fração Urbana 2	59
Figura 28	TWC para temperatura do ar e umidade relativa do ar recortadas, Fração Urbana 2	61
Figura 29	TWC de temperatura do ar e umidade relativa do ar, do período seco do ano de 2016, Fração Urbana 2	62
Figura 30	TWC de vento - período seco do ano de 2016, Fração Urbana 2	63
Figura 31	Séries de dados das variáveis de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, médias diárias em conjuntos - Fração Urbana 1	64
Figura 32a	TWX temperatura do ar e umidade relativa do ar, temperatura do ar e vento, em pares - Fração Urbana 1	66
Figura 32b	TWX temperatura do ar e vento - Fração Urbana 1	67
Figura 33a	TWX umidade relativa do ar e vento - Fração Urbana 2	68
Figura 33b	TWX de temperatura do ar e umidade relativa do ar, temperatura do ar e vento, em pares - Fração Urbana 2	69
Figura 34	Séries de dados das variáveis de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, médias diárias plotadas em conjunto - Fração Urbana 2	70
Figura 35a	CW de temperatura do ar e umidades relativa do ar - Fração Urbana 1	72
Figura 35b	CW de umidade relativa do ar e vento - Fração Urbana 1	72
Figura 36a	CW de temperatura do ar e umidades relativa do ar, temperatura do ar e vento - Fração Urbana 2	74
Figura 36b	CW de umidade relativa do ar e vento - Fração Urbana 2	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1^a	Estatística exploratória (testes de aderência): séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e séries de vento. Para período de abril/2015 a julho/2016 - Fração Urbana 1	36
Tabela 1b	Estatística exploratória: séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e séries de vento. Para período de abril/2015 a julho/2016 - Fração Urbana 1	36
Tabela 2	Estatística exploratória: séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e séries de vento. Para período de setembro/2015 a julho/2016 - Fração Urbana 2	37
Tabela 3	Estatística exploratória não paramétrica: séries de vento - Frações Urbanas 1 e 2	39

LISTA DE ABREVIACOES E SIMBOLOS

B	Varivel observada
T	Tempo contínuo (varivel real)
Y	Funo de t
Ω	Frequência
ω_o	Frequência central
A	Parmetro escala da transformada
B	Parmetro de translao da transformada
K	Deslocamentos no tempo
J	Localizao no domínio da frequência
N	Número de observao
$\int$	Integral
$\psi(x)$	Funo wavelet (analítica)
$\psi(t)$	Funo wavelet-me em tempo contínuo
f	Funo (sinal f)
f_o	Frequência central da wavelet-me
$f(t)$	Sinal de tempo contínuo t
$f(x)$	Campo vetorial
$g(t)$	Funo janela
D_x	Derivada em relao a x
D_t	Derivada em relao a t
TWC	Transformada wavelet contínua
TWX	Transformada wavelet cruzada
TWI	Transformada wavelet invertida
TWD	Transformada wavelet discreta
CW	Coerência wavelet
WT	Continuous Wavelet Transform
XWT	Cross Wavelet Transform
WC	Coherencie Wavelet
WTC	Coherence Wavelet Transform
COI	Cone de influência
EPG	Espectro de Potência Global
DP	Desvio padro
Erro P.	Erro padro
Md	Mediana
Ass	Assimetria
UR(%)	Umidade relativa em percentual
T(°C)	Temperatura em graus Celsius
V (m/s)	Velocidade do vento
P(kPa)	Presso atmosférica
L^2	Espao quadrado dos Reais
R	Conjunto dos números reais
Z	Conjunto dos número complexos

T	Período
Φ	Função wavelet-pai
$\hat{\psi}(f)$	Função wavelet conjugada complexa
$\hat{\psi}$	Transformada Fourier da função wavelet
$H(\omega)$	Filtro passa baixa
$G(\omega)$	Filtro passa alta
G	Filtro de síntese
H	Filtro de entrada
Z	Domínio z
s^{-1}	Fator de normalização da densidade de energia
X_1	Eixo coordenado
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
S	Operador de suavização na escala e no tempo
T	Parâmetro b transladado da wavelet-mãe
$W_x(s,t)$	Transformada wavelet no tempo e na escala em x
$W_y(s,t)$	Transformada wavelet no tempo e na escala em y
$\wedge$	Conjugado
Ξ	Frequência da wavelet-mãe em relação a frequência central
$/^{\wedge}g(f)^2$	Densidade de energia
σ^2	Variância móvel

RESUMO

ROCHA, A. F. **Espectro cruzado e coerência wavelet: um estudo de variáveis micrometeorológicas em frações urbanas na cidade de Cuiabá, MT.** Cuiabá, 2018, 126f. (Tese de Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

O clima é um exemplo de um sistema que pode ser caracterizado como complexo, sujeito às interferências humanas e de diversas variáveis naturais. Os microclimas e topoclimas urbanos necessitam de metodologias eficazes na localização de fenômenos coexistentes com abordagens multiescala que demonstrem seu caráter relacional. A temperatura do ar, a umidade relativa do ar e o vento são variáveis microclimáticas que podem ser avaliadas quanto a suas características qualitativas dos fluxos de energia. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar os espectros de potência das séries de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento por meio das ferramentas Transformada Wavelet de Morlet Tradicional, Transformada Wavelet Cruzada, com análise de Coerência Wavelet. As escalas diárias, mensais e anuais foram estudadas e os resultados demonstraram as inter-relações significantes entre as variáveis. As coerências wavelets encontradas foram validadas pelo Método de Monte Carlo, escalogramas e espectrogramas representando frequências sazonais e de ciclo diário. As frações urbanas apresentaram comportamento em conformidade com a sazonalidade dos climas tropicais de cerrado, bem como, das interferências da rugosidade urbana. As ferramentas Transformadas Wavelet Contínua TWC, Transformada Wavelet Cruzada TWX e Coerência Wavelet CW mostraram ser adequadas em análises de monitoramento e de planejamento urbanos, refletindo qualitativamente a dinâmica urbana dos microambientes.

Palavras-chaves: Transformada wavelet cruzada; Coerência Wavelet; Temperatura do ar; Umidade relativa do ar; Vento.

ABSTRACT

ROCHA, A. F. **Cross-spectrum and wavelet coherence: a study of micrometeorological variables in urban fractions in the city of, Cuiabá, MT.** Cuiabá, 2018. 126f. Thesis (Doctorate in Environmental Physics); Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

Climate is an example of a system that can be characterized as complex, subject to the various natural and human variables interferences. Urban microclimates and topoclimates need effective methodologies in locating phenomena coexisting with multiscale approaches that demonstrate their relational character. Air temperature and air relative humidity and wind are microclimatic variables which can be evaluated for their qualitative characteristics of energy flows. The aim of this work was to analyze the power spectra of the air temperature and air relative humidity data series using the Traditional Morlet Wavelet Transform, Wavelet Crossed Transform, and Wavelet Coherence Analysis. The daily, monthly and annual scales studied and the results demonstrated the significant interrelationships between the variables. The wavelet coherences found were validated by the Monte Carlo Method, scales and spectrograms representing seasonal and daily cycle frequencies. The urban fractions presented behavior in accordance with the seasonality of tropical climates of Cerrado, as well as, the interference of the urban roughness. WTC, WTX and WC tools are adequate in urban analysis, monitoring and planning, qualitatively reflecting the urban dynamics of microenvironments.

Keywords: Cross Wavelet Transform; Coherence Wavelet; Air temperature; Air relative humidity; Wind.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

A complexidade do clima é o que pode o tornar capaz de suportar as ações antrópicas ao longo do tempo, demonstrando seu comportamento aleatório, caracterizando sua linearidade ou não linearidade, sua dinâmica. Portanto, trabalhar com fenômenos ligados ao clima e ao tempo significa pensar em possibilidades, pois não existem certezas absolutas. As mudanças climáticas por si só propõem discussões de natureza científica, e possibilitam vários objetivos e conclusões específicas sobre suas causas, efeitos e consequências.

A temperatura do ar e a umidade relativa do ar, como variáveis ou parâmetros, são utilizadas comumente em análises de clima e tempo e possuem papéis importantes nos diversos processos físicos naturais, sendo valiosas para quaisquer estudos e modelos. Os microclimas e ou topoclimas urbanos e rurais no mundo devem ser cada vez mais explorados, buscando metodologias eficazes na localização de fenômenos coexistentes em várias escalas de tempo. No Brasil, isto não é diferente, e as análises do ambiente climático de um determinado local podem ser avaliadas pela periodicidade, pelo comportamento de suas variáveis mais comuns, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e o vento. O estudo pormenorizado de seus níveis energéticos em escalas temporais, caso das ferramentas matemáticas wavelets, e em específico das transformadas cruzadas e coerência wavelet, possibilitam uma abordagem científica difícil de ser alcançada por meio de outros métodos.

O Estado de Mato Grosso, por possuir três biomas (Cerrado, Pantanal e Floresta Amazônica) deve participar de forma atuante dessas pesquisas e análises. Por mais estudadas e verificadas que possam ser, o estudo das variáveis microclimáticas é complexo, e geram continuados desempenhos dentro dos ambientes urbanos que estão em constantes mudanças, aguçando a nossa sensatez e discernimento como pesquisadores.

O valor ambiental e econômico de uma porção urbana, ou de uma porção de floresta pode ser diferente, mas, a ação antrópica relacionada às mudanças no uso da terra acontece e é decisiva para compreender e determinar a interação entre o clima e a vulnerabilidade desse bioma. As ferramentas wavelets podem ajudar de duas

maneiras: como um núcleo de integração de análises para extrair informações sobre processos e ou como uma base de representação ou caracterização de processos. Tanto em bioma florestal, de cerrado ou pantaneiro, e até mesmo nos sistemas urbanos, esses fenômenos ocorrem e a sazonalidade e os padrões de ocorrências captados por meio das séries temporais de dados coletados nestes locais; levam a uma necessária preocupação quanto à mitigação das forçantes que induzem a todo ambiente, da influência imediata sobre o ser humano e seu habitat. Pois, a disponibilidade natural de água, por exemplo, aliada ao uso da terra, alimenta a dinâmica do uso dessa terra seja onde for.

O município de Cuiabá, por estar inserido nestes contextos, com área urbana em franca expansão, precisa ao longo de seus períodos “quente - úmido” e “quente - seco” de análises de monitoramento frequencial da temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, utilizando-se de ferramentas de análise no tempo e no espaço.

1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo do ambiente urbano é pautado de análises e modelagens microclimáticas dos próprios sistemas urbanos, onde a configuração do espaço e suas relações com o microclima e ou topoclima são analisadas conjuntamente. A temperatura do ar e a umidade relativa do ar são variáveis microclimáticas que podem ser avaliadas quanto a suas características qualitativas e quantitativas dos fluxos de energia. Os padrões temporais de alta e baixa frequência relacionados à dinâmica natural desses ecossistemas são complexos, e necessitam de variáveis que os representem adequadamente.

Como na natureza a transformação é fenômeno incessante, os ambientes urbanos não fogem dessa premissa. Séculos de conhecimento embasam e embalam os pesquisadores na atualidade. Os problemas ambientais seguem lado a lado com as novas teorias; forçando a sociedade, como um todo, a procurar caminhos sempre mais objetivos e viáveis.

O uso de ferramentas matemáticas e computacionais corroboram as análises climáticas de forma assistida, sem as quais não se poderia expressar o clima urbano. Por outro lado, essas mesmas análises, devem ser modeladas de forma pré e pós-processos físicos dos ambientes, ou frequentemente, em correlação com os mesmos,

ajudando a adequá-los a cada metodologia. As análises Wavelets nas regiões urbanas obtêm as características das séries de dados coletados pelas estações micrometeorológicas, fornecendo estudos em maior resolução espacial e temporal. Desta forma, os comportamentos das variáveis ficam minuciosamente descritos, e, a partir daí, pode-se mensurar, sugerir e monitora-los. Os estudos sobre temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, favorecem o entendimento do microclima urbano, bem como, da interação com as escalas de topoclima e mesoclima. Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi analisar séries de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento no domínio da frequência por meio de transformadas matemáticas Wavelets Cruzada. Para atingir esse objetivo foram desenvolvidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar as wavelets das variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento individualmente do ponto de vista espectral, através da Transformada Wavelet Contínua Tradicional TWC, para duas frações urbanas.
- Avaliar coerência estatística dos modelos obtidos por meio das Transformadas Wavelets Cruzadas TWX para as frações urbanas, utilizando-se de Coerência Wavelet CW.

Os estudos deste trabalho relacionam-se aos processos físicos naturais que se desenvolvem ao longo do tempo, mas não estacionando em nenhum deles. Portanto, se faz necessário usar abordagens multiescala que demonstrem o caráter relacional desses processos. As escalas mais relevantes são detectadas pelas TWC, TWX e CW por meio dos sinais digitais das séries coletadas, analisando as relações entre as variáveis e as correlacionando aos microambientes urbanos de Cerrado em Cuiabá, MT.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - SÉRIES TEMPORAIS

Segundo Ehlers (2009), uma série temporal é uma coleção de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo. As análises de séries temporais objetivam compreender seus componentes estruturais, e prever o comportamento futuro da mesma. Bem como, descrever o comportamento da série caso ocorram padrões, tendências e periodicidades relevantes em conjunto com a análise espectral.

Seja B a variável observada e t a variável no tempo, sendo a série temporal definida por $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$, nos tempos $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, onde B é uma função de t , simbolizada por $B=f(t)$. Conforme Wilks (2006), Weeks (2012) e Andrade (2013), existem duas formas de análise de séries temporais: no domínio do tempo em que os dados foram coletados e a função de autocorrelação pode ser utilizada, e na análise espectral de potência, em que se analisa a variância da série temporal coletada.

De acordo com De Paulo et al., (2015), um sistema dinâmico pode ser representado por um sistema de equações diferenciais que evolui com o tempo, sendo matematicamente expresso como:

$$\dot{x} = f(x), \quad f: R^N \rightarrow R^N, x \in R^N \quad (1)$$

O campo vetorial $f(x)$, define um fluxo $\phi(x, t) = \phi_t(x) \rightarrow R^N$, em que $\phi_t(x_0): -\infty < t < +\infty$ é a trajetória solução do sistema que contém x_0 . Sendo assim, um campo vetorial “ x ”, esta sendo submetido a uma mudança imposta por uma função “ f ”. Se esta função não for linear, trata-se de um sistema não linear (SILVA, 2015).

Segundo Morettin e Tolo (2006), os movimentos de uma série temporal são constituídos por um conjunto de componentes não observáveis de imediato. A tendência, o ciclo, a sazonalidade e a aleatoriedade são componentes individuais presentes no padrão básico de uma série histórica de dados, analisada estatisticamente.

Pinheiro (2007) comenta que o elemento básico de uma série temporal é o ciclo, em que uma completa descrição do sistema contém as frequências de seus ciclos dominantes. Considera como sistemas não lineares aqueles ecossistemas complexos, onde a periodicidade, a tendência, o ciclo são características que descrevem estes sistemas, em relação ao tempo e ao espaço.

Silva (2015) apresenta séries temporais de temperatura do ar estudadas para análises da dinâmica das alterações climáticas, com séries temporais investigadas e caracterizadas por meio de técnicas estatísticas que possibilitam compreender os processos e os fenômenos físicos envolvidos.

2.2 - TRANSFORMADA DE FOURIER

Conforme Oliveira (2007), no século XIX, o matemático e físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier publicou estudos sobre ondas e calor, nos quais propõe que um sinal periódico qualquer pode ser representado por uma única expressão analítica. Ele acabava de criar uma das ferramentas mais utilizadas na análise de sinais e que leva seu nome, a “Análise de Fourier” ou no método matemático da Transformada de Fourier.

Silva (2005) apresenta *Jean-Baptiste Joseph Fourier* como um grande matemático e físico francês que começou o estudo da decomposição de funções periódicas em séries trigonométricas convergentes, conhecidas como Séries de Fourier. Nesta técnica, pode-se representar qualquer série temporal por meio da decomposição do sinal em conjuntos de bases de funções utilizando senos e cossenos de diferentes frequências e calculando-se a integral de cada um desses produtos. Estes tratamentos, que tem grandes aplicações no tratamento de sinais estacionários, recebeu o nome de Transformada de Fourier (TF).

Mariano (2008) dispõe o uso da Transformada de Fourier como ferramenta matemática importante na representação de um sinal contínuo no tempo e no domínio da frequência. A Transformada atua, transladando uma função no domínio do tempo para o domínio da frequência. O sinal pode então ser analisado pelo conteúdo da frequência, já que os coeficientes de Fourier da função transformada representam a contribuição de cada função seno e cosseno a cada frequência. Como suas bases matemáticas são infinitas, não se permite determinar as características do sinal em escala e tempo. A TF não é adequada para a análise de sinais não estacionários e não é eficiente para a análise de sinais de curta duração. Pois seus momentos estatísticos, como a média, variância e outros, não variam ao longo do tempo, (STRANG, 1993).

Domingues et al., (2016) dizem que a transformada de Fourier de um sinal $f(t)$ para uma variável real (t) é definida pela Equação 2 em que “ f ” satisfaz a Equação 3.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt < \infty \quad (3)$$

$f(t)$ é o sinal de tempo contínuo t ; ω a frequência angular em rad/s e $F(\omega)$ o sinal contínuo na frequência ω . Para complementar todos esses entendimentos, traz-se os apontamentos de Higuti e Kitano (2003), que fizeram uma análise sobre sinais e sistemas; eles tratam de representação de sinais, análise de sinais periódicos por meio das séries de Fourier, da relação entre a TF de tempo contínuo e os sinais periódicos, amostragem e correlação de sinais.

2.2.1 - Transformada Janelada de Fourier

No decorrer dos estudos sobre séries temporais, dos estudos sobre a TF, e compreendendo as diferenças entre elas por meio dos pesquisadores da época, apresenta-se a Transformada Janelada de Fourier TJF. Nela há uma combinação dos domínios frequencial e temporal, pois o interesse é conhecer que porção do domínio temporal do sinal é responsável por aquela característica no espectro. A porção desejada do sinal pode ser obtida pela multiplicação do sinal original “ f ” por uma função que seja zero fora do intervalo desejado. Essa função se chama janela, sendo uma função de tempo limitado e apresenta decaimentos suaves nas bordas afim de minimizar a amplitude das partes laterais da transformada de Fourier. Na literatura encontra-se uma variedade de janelas com esses propósitos (MITRA, 2011). A Transformada de Gabor é um caso particular da Transformada Janelada de Fourier, sendo g uma janela Gaussiana, (MENEZES, 2014). Essa janela mostra uma especificidade ao aplicar-se a Transformada de Fourier à janela, em que se obtém uma Gaussiana no domínio da frequência. Apresentando-se a melhor resolução no tempo-frequência, pois atinge o limite inferior estabelecido pelo princípio de incerteza Heisenberg-Gabor conforme Menezes, 2014; considera-se aqui o ponto de vista da análise de sinais e não da física Quântica. No entanto, para se utilizar o mapeamento tempo-frequência (denominado de espectrograma de Gabor) do sinal analisado, toda uma formulação matricial é necessária para a obtenção do espectrograma (MENEZES, 2014).

Conforme Domingues et al., (2005; 2016), a TJF é expressa por:

$$\hat{f}(u, \xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t - u)e^{-i\xi t} dt \quad (4)$$

Sendo “g” a função janela, $g^*(0) \neq 0$. Então, primeiramente retirando-se a parte que se deseja do sinal e depois calculando-se a Transformada de Fourier da parte retirada, e conhecendo-se $f(t)$ apenas no intervalo em que $g(t - u)$ é diferente de zero, fornece-se informação de f na janela tempo-frequência. Portanto, sendo escolhida a função janela a resolução tempo-frequência é definida.

Em 1982, o geofísico Francês Jean Morlet percebeu duas considerações ao se aplicar a Transformada Janelada de Fourier TJF em séries temporais: primeira, a janela sendo fixa, não permitia modificação após o início do processamento dos sinais; segunda, as funções trigonométricas por serem funções limitadas por “ $+\infty$ e $-\infty$ ” davam a ideia de possuir energia constante; por esse motivo foi desenvolvida uma função matemática hipotética “base (ψ)” que possui energia finita, com um início e um fim, que é totalmente capaz de dilatar ou comprimir, eliminando a questão da relação fixa da TJF (MORLET, 1983; BOLZAN, 2006; BARBOSA, 2008; SILVA, 2009).

2.3 - TRANSFORMADA WAVELET

Pode-se considerar que a Transformada Wavelets TW teve origem em 1909 com A. Haar e posteriormente com Alex Grossman, Jean Morlet e Ingrid Daubechies. Já Stephany Mallat teve um papel importante no desenvolvimento das chamadas Wavelets para aplicações em imagens por meio de sinais digitais. Mallat (1998), com propriedade, apresenta a TW para sanar algumas das limitações da TF na representação dos sinais, de forma a retirar informações que não se encontravam perceptíveis. A TW oferece uma resolução variável no tempo, e as janelas temporais de comprimentos variáveis levam à multiresolução no plano tempo-frequência. Na análise de TF, se decompõe os sinais em somas de ondas (waves) por meio de senos e exponenciais complexas e, para ser visualizada, tem-se que decompor o sinal em módulo e fase. Na análise de TW os sinais são decompostos na soma de Wavelets analíticas que representam as funções (sinais) em domínio duplo.

Inspirados pelos modelos físicos da termodinâmica, os pesquisadores no decorrer dos anos apresentaram novas definições matemáticas e ou físicas para as Wavelets Analíticas. Diversos autores se utilizaram das Wavelets por elas propiciarem um meio bastante fecundo para cada um deles. Segundo Torrence e Compo (1998), elas lembram a forma de uma onda mecânica, com duração limitada, um valor médio igual a zero e comportamento cíclico com a diferença de serem irregulares e assimétricas. Domingues et al., (2005) relatam que, em contraste com as funções senoidais de extensão infinita (ondas longas), as Wavelets $\psi(x)$ são ondas breves (ondas curtas). Este fato conjuntamente analisado com uma curva Gaussiana, permite-se visualizar uma área sob seu gráfico de valor zero, conforme Equação 5, no domínio do espectro, esta propriedade é equivalente ao espectro da Wavelet.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x) dx = 0 \quad (5)$$

Do mesmo modo, Holanda (2009) define as Wavelets Analíticas como uma onda que é normalmente descrita como um movimento oscilatório que varia no tempo ou espaço. Um pulso ou pedaço de onda com energia que tem começo e fim. O autor acrescenta em seus termos que, matematicamente, as wavelets são funções de base na análise de sinais, decompondo estes sinais em componentes de diferentes frequências. Uma característica importante dessas funções de base é que elas estão relacionadas umas as outras através de simples dilatações e translações. Segundo Leite (2007), as Wavelets Analíticas são ferramentas de análise de sinais digitais, que englobam uma síntese das técnicas clássicas, como por exemplo, da Transformada de Fourier TF e da Transformada Janelada de Fourier TJF. Vilani e Sanches (2013) entenderam as Wavelet Analíticas como uma ferramenta que possibilita a análise espectral de um sinal, descrevendo o espectro desse sinal, e sua composição na frequência, em condições próprias. Silva (2005) entendeu a TW como ferramenta que evidenciasse peculiaridades que não aparecem à primeira vista na série, por estarem escondidas no ruído que acompanham os sinais em geral.

Conforme Bolzan (2004), as Wavelets Analíticas são técnicas apropriadas para análises de sinais não estacionários. Sua marcante característica de capturar informações em diferentes escalas, a possibilidade de ter seus parâmetros de análise variando de acordo com as características de cada trecho do sinal estudado e a

realização de cálculos matemáticos em diferentes resoluções dão a esta ferramenta a versatilidade de localizar as altas e as baixas frequências simultaneamente em um mesmo trecho, tratando detalhadamente esses sinais.

Ainda segundo Nelson (2012), a TW possui inúmeros usos, na filtragem matemática, processamentos e análises, na compressão de imagens, bem como, na astronomia e previsão de sinais geofísicos. Rocha (2008) apresenta as utilizações das Wavelets em acústica, engenharia nuclear, música, na medicina com a ressonância magnética, na visão humana com a ótica, na neurofisiologia, no reconhecimento de vozes, no estudo dos fractais e na turbulência atmosférica e nos radares.

2.3.1 - Modelo Tradicional TWC

A Transformada Wavelet Contínua TWC de um sinal $f(x)$ é uma transformada linear. Neste trabalho, será indicada simplesmente como Transformada Tradicional (TWC). Contudo o termo mais apropriado e adotado ao chamamento das Wavelets foi Wavelets mesmo, pois assim foi chamada por seu criador A. Haar em 1909 ou Transformada Wavelet (TW).

A integral indicada na Equação 6 indica: $b \in (\text{Reais})$ representante do parâmetro de translação, e o termo a igual a $\frac{1}{\sqrt{a}}$ útil à normalização da energia de cada Wavelet analítica (ψ) gerada. Enquanto que $a > 0$ define o parâmetro de escala da transformada, e $\bar{\psi}$ é o conjugado complexo da Wavelet ψ . Então, $\langle f(x), \psi_{ab}(x) \rangle$ representa o produto interno das duas funções definidas no espaço $L^2(\mathbb{R})$ (Reais). $f(x)$ é a função característica dos dados da série temporal analisada (DAUBECHIES, 1988; WENG e LAU, 1994; BARBOZA, 2008).

$$(W_{\psi}f)(t - b, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (6)$$

As análises Wavelets vêm se desenvolvendo desde a década de 70 e tornando-se necessárias por possuir dupla localização, na frequência e no tempo, as Wavelets buscam o equilíbrio balanceado entre o domínio do tempo e o domínio da frequência. A Figura 1 traz as interpretações envolvidas na Equação 5, que é a expressão para TWC, no plano tempo-frequência.

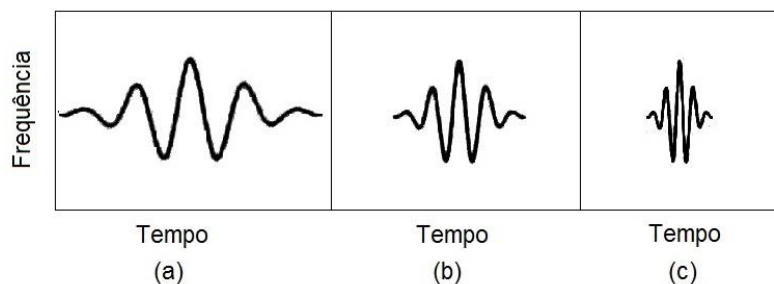


Figura 1 - Representação das Wavelets Analíticas, em baixa, média e alta frequência.

Fonte: Misiti (2017), Addison (2017)

Sendo assim, a Figura 1 na porção dilatada (a) do sinal interpreta a condição em que a escala de tempo visualiza as baixas frequências. E quando a escala de tempo é como a porção comprimida (c) da figura, interpreta a condição em que se observam as altas frequências. Quando a transformada Wavelet é a base, as altas frequências podem ser bem localizadas no tempo, porém existe incerteza na localização da frequência com o aumento da frequência, ou seja, nas escalas maiores no domínio da frequência são implícitas as incertezas em sua localização (HOLANDA, 2009). Por outro lado, na alta frequência, o ajuste é mais fino, mais sensível e de curta duração, permitindo a visualização do sinal analisado numa escala mais detalhada, localizada, com melhor resolução temporal, principalmente para mudanças abruptas. Observa-se ainda que nas frequências mais baixas, as wavelets são mais alongadas, enquadra o sinal numa escala maior, menos detalhada, e mais suave, permitindo visualizar características globais. Além disso, na baixa frequência, a análise apresenta uma resolução de frequência mais fina do que a temporal, tornando-se mais fácil a localização em frequência (FARIA, 1997).

As transformadas matemáticas exigem propriedades elementares para que seus cálculos sejam devidamente obtidos. A TWC é linear pois corresponde ao produto interno convolucional (WILKS, 2006) entre o sinal f e a wavelet analítica ψ . Deve-se observar ainda as diferenciações da covariância na translação e na dilatação, conectando matematicamente o sinal f e a wavelet analítica ψ com a TWC; conjuntamente aos cálculos de similaridade, regularidade e inversibilidade das wavelets-filhas formadas (HOLANDA, 2009). Bem como, para wavelet-mãe, a

conservação de energia sem perda da informação na transformação do sinal, e a análise das singularidades na função (FARGE, 1992).

Segundo Torrence e Compo (1999), os estudos de Morlet deram origem à primeira função base geradora, nomeada de função Wavelet de Morlet, e que são processos de escalonamentos por meio de um parâmetro a , e uma variável b , formando pequenas wavelets analíticas.

De acordo com Addison (2005, 2017), a Figura 2 nos leva a uma Wavelet Contínua e sua densidade de energia. A wavelet de Morlet é uma Wavelet de baixa oscilação temporariamente localizada, onde f_0 é a frequência central da Wavelet-mãe (Figura 2). O eixo do tempo esta representado pelo parâmetro a , então: (a) envelope Gaussiano contendo a componente real e a componente imaginária do sinal analisado com distorção de fase de $\pi^{1/4}$ e parâmetro $a=1$; (b) espectro de energia da Wavelet com frequência central f_0 da sinusóide complexa, determinando o número de formas de ondas sinusoidais significativas contidas no envelope, e com parâmetro $a=1$; (c) frequências centrais de valores próximos e parâmetro $a=1$, com ondas de baixa oscilação; e (d) sinal sintético no tempo, (e) e (f) mostram a compressão e o alongamento da Wavelet analítica com parâmetros a de 0,5 e 2 respectivamente.

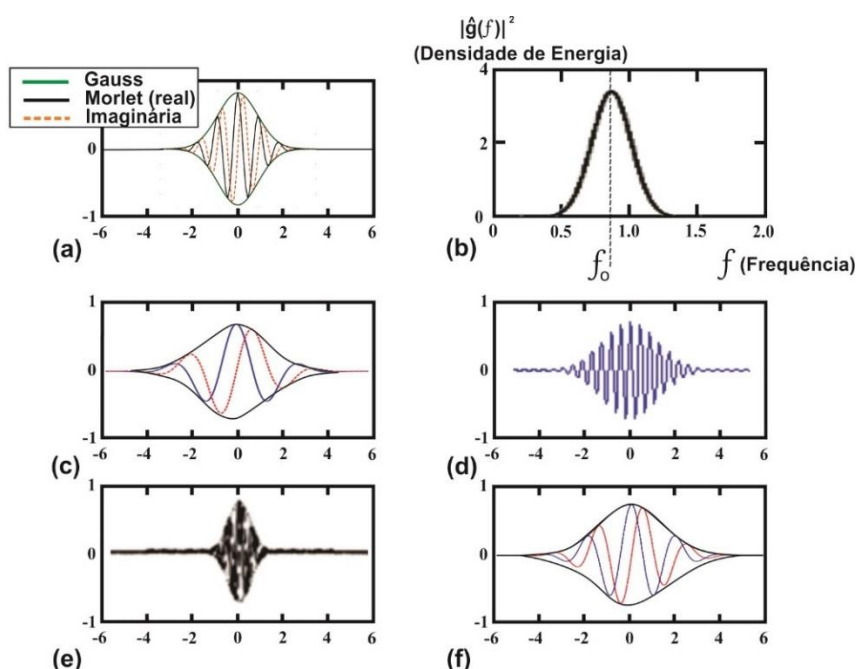


Figura 2 - Wavelet Analítica de Morlet representando o sinal no plano tempo e frequência por meio dos parâmetros de escala a para contração e dilatação, sendo (a) Wavelet Analítica de Morlet com pacote Gaussiano e distorção de fase $\frac{\pi}{4}$, $a=1$; (b)

espectro de energia contendo o número de ondas sinusoidais, $a=1$; (c) ondas de baixa oscilação com frequência central próximas a f_0 , $a=1$; (d) sinal sintético wavelet; (e) Wavelet comprimindo, $a=0,5$; (f) Wavelet alongando, $a=2$

Fonte: Addison (2017)

A equação da wavelet contínua tradicional é escrita conforme Equação 7.

$$\psi(t) = \frac{1}{\pi^{1/4}} e^{i2\pi f_0 t} e^{-t^2/2} \quad (7)$$

Conforme Bolzan (2004), para um sistema físico complexo é importante buscar relações entre os diversos fenômenos físicos atuantes no sistema natural, sendo assim, as WC propiciam um meio matemático adequado para esta busca.

Ainda segundo Barbosa (2007), as Wavelets possuem propriedades de localização, e representação de sinais de curta duração no domínio do tempo. Essa propriedade de localização é o que se chama caracterizar uma Wavelet no espaço tempo-frequência. Pois a sua concentração de energia em determinadas regiões, fornece representação adequada do sinal no plano tempo e frequência; de onde são fornecidos os parâmetros correspondentes.

Conforme Barboza (2008), as ligações entre os filtros e as Wavelets foram encontradas por meio de dois algoritmos criados por Mallat (1989); o primeiro deles calculava os coeficientes Wavelets que dava origem a uma Transformada Wavelet Rápida e foram chamados de algoritmo piramidal de decomposição; e o segundo, inverso do primeiro, chamado de algoritmo de recuperação e dava origem a Transformada Wavelet Rápida Inversa. É interessante salientar, que Stépheane Mallat descobriu um modo rápido para calcular os coeficientes em série de Wavelets com geradores ortonormais e análise de multiresolução. Sendo, que a expansão Wavelet efetivamente ocorre se as funções φ e ψ forem campos de atuação ortonormal, bem como, um sistema ortonormal em w_0 . Barboza esclarece ainda que o conjunto de funções φ e ψ são chamadas: φ , de Wavelet-pai, e ψ , de Wavelet-mãe.

Segundo Depizzol (2008), as Wavelets são obtidas por meio de funções protótipo chamadas de *Wavelet-mãe* ($\psi(t)$) ou ainda chamada de função base geradora, que se dilatando ou se comprimindo ($\psi(t) \rightarrow (\psi(2t))$), bem como, se transladando ($\psi(t) \rightarrow (\psi(t+1))$), servem de base para o desenvolvimento de outras funções pertencentes ao $L^2(\mathbb{R})$ (Reais).

Ainda, conforme Addison (2017) e Barboza (2008), são necessários dois operadores matemáticos *filtros* para que as funções Wavelets saiam do domínio temporal para o domínio de parâmetros duplos de tempo e escala, com a possibilidade de ajustes.

Segundo Mariano (2008) e Goulart et al., (2015), a transformada Wavelet é uma técnica bem adequada para uso em análises microclimáticas, pois a análise espectral possui importância fundamental para a verificação de periodicidades, nas quais tempo, escala e intensidades de energia são variáveis parametrizadoras¹.

Blain (2010) apresenta que as contribuições obtidas às variâncias das séries investigadas permitem as análises dos espectros das séries de dados utilizadas por meio das oscilações em várias frequências.

Vilani (2011) e Menezes (2014) apresentaram a existência da Transformada Wavelet Contínuas TWC, e da Transformada Wavelet Discretas TWD. A mais utilizada para visualizar a relação existente entre as componentes de diferentes frequências em função da escala temporal da série temporal estudada é a TWC. Dentre as técnicas de TWC mais conhecidas, está a de Chapéu Mexicano e a de Morlet. Torrence e Compo (1998), em seu algoritmo, apresentam a TWC de *Morlet* propriamente dita. Existem variações com uso de wavelet *Paul* e a wavelet *Dog*. Neste trabalho foi utilizado a wavelet de *Morlet*.

Conforme Bolzan (2004), os parâmetros a e b estão relacionados com a função analisadora, respectivamente, ao longo do sinal, conforme Equações 8 e 9. As chamadas *Wavelet filhas* foram geradas considerando o parâmetro a , onde a dilatação aconteceu quando $a > 1$, e a contração ocorreu quando $0 < a < 1$. O parâmetro $(\frac{1}{\sqrt{a}})$ mantém a energia da *wavelet filha* como da *Wavelet-mãe*.

$$\psi_b(t) = \psi_o(t - b) \rightarrow \text{Translação} \quad (8)$$

¹ As técnicas paramétricas de estimação espectral se baseiam na premissa de que o processo é gerado por um sistema linear elucidado por um processo estocástico com estatísticas bem definidas, tal como um ruído branco Gaussiano, estimando a energia da densidade espectral e determinando sua resposta em frequência (MENEZES, 2014).

$$\psi_a(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi_o\left(\frac{t}{a}\right) \rightarrow \text{Escalamento} \quad (9)$$

Segundo Vilani (2011), na TW, quando o parâmetro a aumentar, $a > 1$, a Wavelet se expandirá, e carregará apenas informação dos períodos maiores, onde ocorrem as baixas frequências; da mesma forma, quando o parâmetro diminuir, $a < 1$, a Wavelet se contrairá, carregando informação dos períodos menores, às altas frequências.

Já Furon et al., (2008) descrevem também que o parâmetro de escala a de uma Wavelet, se dilatando, carregará informações sobre o comportamento dos grandes períodos, ou seja, das baixas frequências; se a se contrair, carregará apenas informações dos pequenos períodos, portanto, altas frequências.

A expressão fornecida pela Equação 10 é então simplificada, sendo o seu uso mais conveniente, em uma escala a e posição b repetindo que, deve ter energia finita, média de energia zero e demais condições de admissibilidade da própria função.

$$\psi_{a,b}(t) = a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (10)$$

O operador matemático linear ψ é representante da função primitiva mãe $\psi_{a,b}(t)$, que substituída na Equação 5, forneceu as Equações 11 e 12.

$$TWC(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (11)$$

$$(W_\psi f)(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (12)$$

Esta Wavelet possui características semelhantes àsquelas do sinal que se deseja analisar, tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave. Segundo a literatura, este é um critério para escolha da função *Wavelet mãe*, (WENG & LAU, 1994).

Novamente, Torrence e Compo (1998), Addison (2005) e Vilani (2011) utilizaram a Wavelet Contínua de Morlet, apresentada por meio da Equação 13, como a Wavelet mais adequada para tratamento de dados microclimáticos. ψ é o valor da Wavelet para um parâmetro não adimensional; w_0 fornece o número de oscilações dentro das Wavelets, o que quer dizer, a frequência; e t foi o período e ou a escala de análise, e finalmente w_0 assumido, usualmente, como $w_0=6$, a condição de

admissibilidade da Wavelet, implicando que os erros devido à média não igual a zero foram menores que os erros típicos de arredondamento.

$$\psi(t) = \pi^{-0,25} e^{i w_0 t} e^{-1/2 t^2}, \text{ para } w_0 \geq 6 \quad (13)$$

Pode-se entender a Wavelet de Morlet como uma função periódica combinada com uma curva Gaussiana. A transformada de Fourier da Wavelet de Morlet é dada pela Equação 14.

$$\hat{\psi}(f) = \pi^{1/4} \sqrt{2} e^{-\frac{1}{2}(2\pi f - 2\pi f_0)^2} \quad (14)$$

Que tem a forma de uma curva gaussiana deslocada ao longo do eixo da frequência por f_0 . Esta f_0 (frequência central) do espectro gaussiano é geralmente escolhida como sendo a frequência característica da Wavelet de Morlet.

Addison (2017) esclarece que essa curva gaussiana deslocada nada mais é do que a defasagem em um quarto de ciclo da parte real do sinal; à medida que se usa o conjugado complexo na transformação, a parte imaginária é invertida, levando a uma forma de onda imaginária que fica atrás de um quarto de ciclo da parte real, conforme Figura 2 e representação da Equação 15.

$$\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) = \frac{1}{\pi^{1/4}} e^{i2\pi f_0[(-b)/a]} e^{-\frac{1}{2}[(t-b)/a]^2} \quad (15)$$

Para se finalizar este item, é apresentado a Transformada Wavelet Discreta TWD. Esta é usada para decomposições e filtragens de séries temporais, com suas respectivas transformadas inversas, de modo que ambas possibilitam representar uma série temporal no domínio do tempo e da frequência, (YATES et al., 2006), (FURON et al., 2008).

2.3.2 - Modelo Transformada Wavelet Discreta TWD

SÁ et al., (1999) apresentam que entre as técnicas de TWD mais conhecidas, tem-se Haar, Meyer e a Biortogonal.

Conforme Rocha (2008), o que diferencia uma TWC de uma Transformada Wavelet Discreta TWD, por exemplo, é justamente a discretização dos intervalos quanto ao escalonamento a e translação b . As variações de escala e translações são baseadas em potência de 2, quer dizer, ($a = 2^j$), sendo j o nível de decomposição. A

Equação 16 expressa a modificação que se deve realizar na Wavelet Contínua, caso fosse uma wavelet discreta.

Sendo:

$$\psi_{a,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \Rightarrow \psi_{m,n}(t) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \psi\left(\frac{t-n\tau_0 a_n^m}{a_0^m}\right) \quad (16)$$

Considerando $a_0 > 1$ como um parâmetro fixo, e τ_0 como um fator de translação fixo, isto implica que τ dependa do fator de dilatação, eliminando a redundância da informação gerada na TWC. Sendo assim, inserido neste contexto existe todo um trabalho computacional de eliminação de ruídos.

Atualmente, existem algoritmos para determinar uma transformação de uma função (f) e depois reconstruí-la a partir dos coeficientes de escala a e de translação b a valores discretos em um plano tempo-escala. Uma forma de se realizar este procedimento é encontrada nas TWD, conforme Barbosa (2008) e Addison (2005, 2017). Conforme Oppenheim & Willsky (2013), uma *janela* de impulsos periódicos expresso a partir de uma série de Fourier discreta no tempo é espaçada de $2\pi/M$ radianos. A relação entre a entrada e a saída da função interpoladora no domínio discreto do tempo, resulta em um aumento da variância do sinal de entrada, por inserção de amostras nulas (valores zero). Sendo assim, significando em termos de frequência, uma compressão por M do espectro do sinal de entrada, seguido da formação de M réplicas ou imagens do mesmo espectro, devido à periodicidade de $X(\omega)$. A este sistema geralmente está associado um filtro interpolador, cuja função é eliminar as imagens indesejáveis do espectro. As Figuras 3 e 4 demonstram a

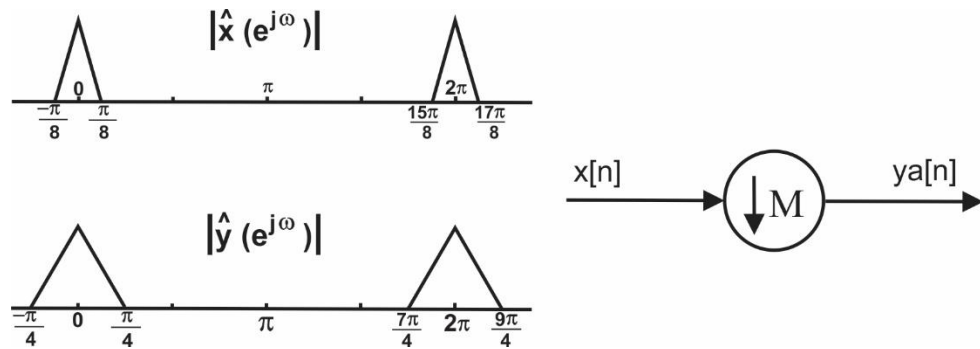


Figura 3 - Característica espectral da decomposição por 2

Fonte :Barboza (2008)

representação espectral da decomposição e da interpolação em duas bases matemáticas, respectivamente conforme (MENEZES, 2014) e (BARBOZA, 2008).

Um sistema de decomposição por um fator M de sinais discretos no tempo, conforme Figura 3, demonstra a relação entre a entrada e a saída no domínio discreto no tempo.

O sinal de saída $y_d[n]$ (Figura 4) é o resultado da amostragem do sinal de entrada $x[nM]$ com um período igual a M , para cada conjunto de M amostras, uma é retida. Esse processo geralmente é denominado de subamostragem (downsampling), uma vez que o número de amostra do sinal de saída é menor. O processo se passa pela criação de um sinal auxiliar com a mesma taxa (valor) de $x_d[n]$. Quer dizer, é o resultado do produto do sinal original por uma janela de impulsos periódicos, que podem ser expressos por uma série de Fourier discreta no tempo.

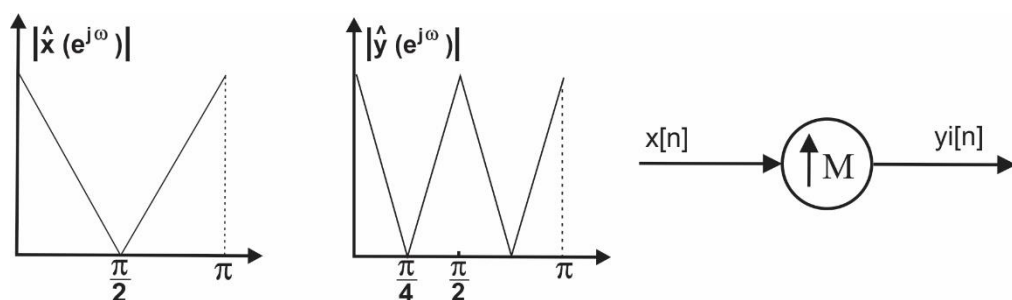


Figura 4 - Característica espectral da interpolação por 2

Fonte: Barboza (2008)

A resolução espectral é a capacidade de identificar frequências distintas, inversamente proporcionais à quantidade de ciclos amostrados (MENEZES, 2014).

Weeks (2012), Rocha (2008) e Addison (2017) afirmam que os sinais de entrada de uma representação no domínio tempo-frequência são determinados por Bancos de Filtros. Estes, separam o espectro em subbandas ou canais de frequência, gerando séries de tempo indexadas de coeficientes que representam a energia do sinal em frequências localizadas dentro de cada banda.

Conforme Oppenheim e Willsky (2013), um sinal de entrada $x(n)$ é filtrado pelos filtros passa alta e passa baixa $H_1(z)$ e $H_0(z)$ respectivamente, decompostos por um fator 2 produzindo subbandas de sinais y_1 e y_0 . As subbandas por sua vez são interpoladas por um fator 2 e então passadas por dois filtros passa alta (G_1) e passa

baixa (G_0), somados para reconstruir o sinal produzido $\hat{x} = (n)$. Os autores apresentam ainda, que os filtros necessitam de condições de ortogonalidade no domínio z , também conhecida como a propriedades de poder simétrico conforme Barboza (2008), e representam a auto-correlação de $H_i(z)$; e o termo $H_0(z-1)^*H_1(z)$ representam a correlação cruzada entre $H_1(z)$ e $H_0(z)$. A Equação 17 apresenta estas afirmações, sendo h o filtro de entrada, g o filtro de síntese, i e j como de valor 1 para passa alta e zero para passa baixa, com $k \in (\mathbb{R})$ Reais (ADDISON, 2017).

$$\sum_n h_i(n)g_j(n+2k) = \delta(i-j)\delta(k) \quad (17)$$

Para finalizar de forma mais completa esses assuntos, a Equação 18, deve ser calculada somente na rede discreta do plano tempo-escala, sendo $a = a_0^{-j}$ e $b = kb_0a_0^{-j}$ onde $a_0 > 1$; $b_0 \neq 0$; $j, k \in \mathbb{Z}$, sendo a_0 e b_0 referências arbitrárias quaisquer, na escala e na posição no tempo respectivamente.

$$\sum_{j,k \in \mathbb{Z}} W_\psi[f](a, b) \quad (18)$$

Na TWD, novas variáveis j (escalamentos) e k (deslocamentos) são necessários. Assumindo $a_0 = 2$ e $b_0 = 1$, se terá: $a = 2^{-j}$ e $b = k2^{-j}$ e a função base Wavelet se torna como na Equação 19.

$$\psi_{jk}(x) = 2^{j/2}\psi(2^jx - k) \quad (19)$$

A TWD e a sua TWDI são, então, representadas pelas Equações 20 e 21 respectivamente.

$$W(j, k) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{jk}f(x)dx = \langle f(x), \psi_{jk} \rangle \quad (20)$$

$$f(x) = \sum_{-\infty}^{\infty} \sum_{-\infty}^{\infty} W(j, k)\psi_{jk} \quad (21)$$

Aplicação de TWD em análises pluviométricas foram realizadas por Guarienti (2015), desenvolvendo uma técnica de processamento espaço-temporal para dados ambientais como precipitação. O trabalho apresenta uma técnica computacional de processamento espaço-temporal de variáveis climatológicas que utiliza busca por similaridade e a possibilidade de comparação em várias resoluções temporais.

Inúmeros estudos sobre as TWD são encontrados na literatura.

2.4 - MODELO CRUZADO

As Wavelets Cruzadas foram aplicadas em diversas áreas: no estudo de índices climáticos e descargas de água doce continental (LABAT, 2005), em estudos da radiação solar e nebulosidade na China (SOON, 2011).

Freitas et al., (2014), com pesquisas em paisagens urbanas quanto as ações dinâmicas das sombras das edificações, bem como, uso e ocupação do solo, utilizaram as Wavelets Cruzadas, Coerência e ferramentas GIS no potencial de uso de energia solar.

Adamonwski (2008) aplicou wavelets em análises de previsão de inundações com séries meteorológicas, se utilizando de ferramentas estatísticas variadas e método de previsão baseado em wavelets cruzadas, podendo ser usado como um método de previsão regional para previsão de inundação em rios.

Addison et al., (2006) estudaram à luz das ferramentas Wavelets de baixa oscilação, métodos de redistribuição de energia em estacas de fundações, os chamados métodos não destrutivos de análise de sinais de eco sonoro.

Atualmente, conforme Weeks (2012), esta transformada matemática é utilizada por ser sugestiva de causalidade entre as variáveis de duas séries originais de dados, que podem ser ou não relacionadas, possuir ou não tendências. Portanto, a Transformada Wavelet Cruzada TWX pode captar possíveis oscilações intermitentes nas séries de dados das variáveis, extraindo suas características.

Liu et al., (2014) verificaram algumas relações estatísticas de curtose quanto a sinais transientes, estudando as Wavelets e os bancos de filtros.

Entretanto, segundo Addison (2017), os filtros são operadores matemáticos que atuam em um espaço L^2 dentro de um intervalo (R) Real, convolucionando² no espaço L^2 . Portanto, tem-se um filtro de deslocamento entendido como uma $f(x)$, e outro filtro operador invariante no tempo (filtro linear) como uma $g(x)$. As operações resultantes

² Conforme Wilks (2006), o Teorema da Convolução reza que, duas funções convolucionam quando: se obtém a integral do produto de uma das funções $f(x)$ ou $g(x)$ por uma cópia deslocada e invertida da outra, sendo que a função resultante depende do valor do deslocamento. Assim, a transformada de Fourier de uma convolução de duas funções absolutamente integráveis é igual ao produto ponto a ponto das transformadas de cada função.

de filtragem foram reconhecidas como representação da amplitude e da distorção de fase de um sinal, e que se equivaleriam à função de transferência de distorção dessa fase. Addison (2017) diz ainda que, quando um sinal contínuo (analógico) é transmitido a uma taxa insuficiente, seu respectivo sinal digital virá carregado de frequências ditas fantasmas, e as funções de transferências dessas frequências fantasmas, são chamados de *aliasing*, acompanhando as operações dos filtros passa alta e passa baixa; atenuando os ruídos que acompanham o sinal transmitido por uma série de dados.

Ainda segundo Barboza (2008), os sinais são limitados por um valor de frequência absoluto de $|\omega| \leq \pi$, sendo sua região de baixa frequência centrada na origem, e a região de alta frequência próximo a π , conforme Equações 22 e 23.

$$H(\omega) = \sum h(k)e^{ik\omega} = \begin{cases} 1, & |\omega| < \pi/2, \\ 0, & \pi/2 \leq |\omega| \leq \pi \end{cases} \quad (22)$$

$$G(\omega) = \sum g(k)e^{ik\omega} = \begin{cases} 0, & |\omega| < \pi/2, \\ 1, & \pi/2 \leq |\omega| \leq \pi \end{cases} \quad (23)$$

Conforme Barboza (2008), a estrutura de um sistema Wavelet se compõe de escolha de uma função (Wavelet-pai) que forme um conjunto ortonormal que satisfa (certas características) e gere análises de multiresolução em L^2 nos $\mathbb{R}$ (Reais); bem como, escolha de uma função (Wavelet-mãe) com base ortonormal em (W_0) (ver função (ψ) anteriormente citada), sendo a Wavelet-mãe sempre ortogonal a Wavelet-pai.

A definição das TWC utilizadas passa por uma chamada da série temporal de dados, em correlação cruzada através de seu sinal, por famílias de funções de características oscilantes (as chamadas funções Wavelets). As TWC geram somatórios de coeficientes Wavelets em função das variáveis contínuas quantitativas *escala* (frequência), e *translação* (posição no tempo), que se relacionam com a “Wavelet-mãe” utilizada (DEPIZZOL, 2008; FURON et al., 2008; ROCHA, 2008; EHLERS, 2009).

Conforme Grinsted et al., (2004), a Transformada Tradicional TWC passa um filtro matemático consecutivo nas séries temporais, fazendo variar suas escalas, de modo que, as séries de tempo ficam linearizadas proporcionalmente aos períodos

característicos dos filtros. Por sua vez, os espectros de potência ficam estacionários nesses períodos, e as variâncias em uma dada escala da Wavelet são simplesmente as variâncias nos espectros de potências das respectivas bandas.

Vale ressaltar mais uma vez, conforme Domingues et al., (2016), que a Wavelet de Morlet é uma wavelet complexa e isso ajuda a capturar o comportamento oscilatório dos dados quando o interesse está em análises de localização de eventos no tempo, como distúrbios dos sinais, não estacionariedades, outras singularidades, e transientes no sinal analisado. Sendo assim, as fases dos coeficientes wavelets indicam as variações apresentadas apenas nas regiões de maior energia; identificando mais adequadamente a região de descontinuidade dos sinais, e quais sinais são realmente significativos.

Domingues et al., (2011) apresentam estudos sobre as Transformadas Wavelets e análises de coerências, visando sinais atmosféricos e o uso de TWC, bem como de uma TWD. Segundo os autores, outros métodos clássicos de correlação cruzada, por exemplo, poder ser usados para determinar as estruturas coerentes de dois sinais apenas em relação a sua defasagem temporal, mas, eles falham quando existem múltiplos períodos. Sendo assim, observações devem ser feitas quanto a correlações cruzadas wavelets, por gerarem coeficientes simétricos em relação a b ; e pertencerem ao intervalo $[-1,1]$. Outro método ainda, a correlação por escala pode ser utilizado no estudo das relações entre diferentes escalas de dois sinais f e g analisados no domínio da wavelet, e essa correlação é verificada por meio dos algoritmos utilizados com os diferentes tipos de sinais. Portanto, possibilitando que os resultados do espectro cruzado possam indicar resultados que sejam verificados como verdadeiros nos testes de significância de inter-relação entre duas séries temporais, o que permite a análise dos resultados, e das análises da TWC, TWX e CW.

Segundo Leite (2007), as informações não disponíveis no formato original da série temporal de dados, somente serão reconhecidas se realizarem-se certos procedimentos, quer dizer, uma transformada matemática sobre $f(t)$, no qual, se estará trabalhando com $x(n)$ valores, quer dizer, com sinais discretos no tempo.

A condição geral de uma Wavelets é a principal característica que diferencia uma análise de sinais onde se usou a TF por exemplo; pois em uma dada região finita

do espaço se localiza uma energia concentrada, em que, geralmente, se reapresenta por meio de uma escala de cores (BARBOZA, 2008).

2.5 - COERÊNCIA WAVELET

A Coerência Wavelet CW é uma técnica baseada na TWC e permite detectar semelhanças e correlações entre duas grandezas em termos de tempo-escala. Se dadas duas grandezas é possível analisar por meio desta técnica como suas respectivas ocorrências estão correlacionadas (TORRENCE & WEBSTER, 1999).

$$WC_{f,g}(a,b) = \frac{|s(s^{-1}xw_{f,g}(a,b))|^2}{s(s^{-1}|w_f(a,b)|^2)s(s^{-1}|w_g(a,b)|^2)} \quad (24)$$

A Figura 5ab ilustra uma wavelet contínua conhecida como chapéu mexicano, e como a TW processa e seleciona estruturas coerentes em um sinal de tempo em várias escalas. Considere-se um sinal qualquer, que atue sobre o eixo b (linha do tempo ou domínio temporal); quando a transformada Fourier acontece, e o domínio temporal é transformado em domínio espectral ou frequencial, se a onda (wavelet) for positiva e se o sinal analisado também for positivo, a contribuição junto a Equação da wavelet, será positiva, posição A (Figura 5a). Caso ambas as contribuições sejam negativas, a contribuição junto a Equação 24 será ainda positiva, posição B. Se o sinal e a wavelet forem de sinais opostos, a contribuição será negativa, posições C, D e E, conforme Figura 5a.

Conforme Figura 5b, mostra-se uma wavelet dilatada em quatro pontos onde: na posição b1, wavelet e sinal estão praticamente em fase; na posição b2, por exemplo, possuem contribuições negativa e positiva, podendo ou não serem anuladas e gerar contribuição zero na integral; a posição b3, apresenta o sinal e a wavelet essencialmente fora de fase, defasadas, gerando valores negativos; e na posição b4, os sinais estão defasados novamente, mas com contribuições médias. Portanto, este processo é repetido numa gama de escalas até que todas as estruturas coerentes dentro do sinal, do maior para o menor, possam ser identificadas.

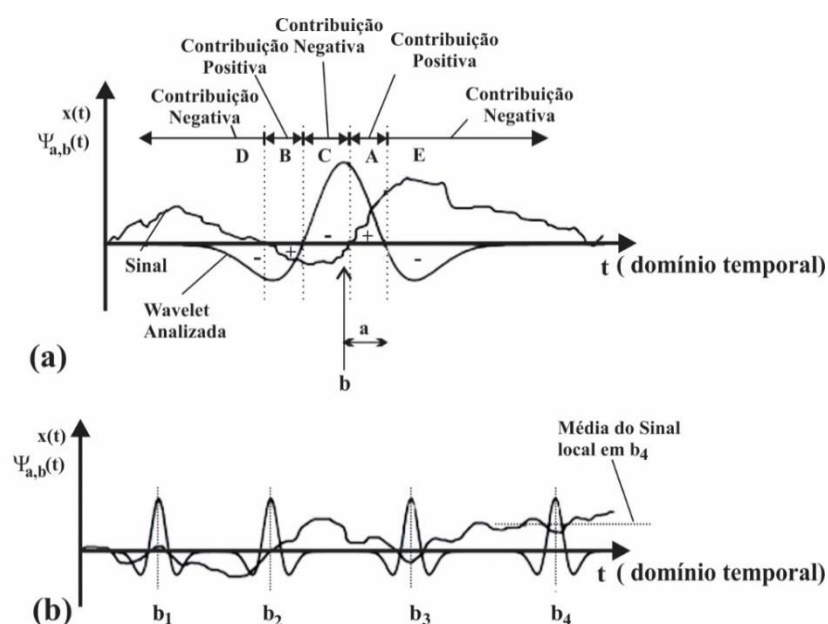


Figura 5 ab - Seleção de estruturas coerentes

Fonte: Addison (2017)

Torrence e Webster (1999) aplicaram a análise de Coerência Wavelet no estudo das oscilações do EL Niño e das Monções Indianas, considerando-a uma análise robusta.

Grinsted et al., (2004) utilizam a Wavelet cruzada e de Coerência em séries temporais geofísicas, onde o índice de oscilação do Ártico e a espessura de gelo do mar Báltico foram relacionados; bem como, estimativas do nível de significância da coerência pelo Método de Monte Carlo. Apresentam ainda um Algoritmo livre sobre análises de Wavelet Cruzada e Coerência Wavelet.

Vieira e Bolzan (2008) apresentam estudo sobre variação da radiação solar medidas pelo satélite Soho, usando espectro cruzado e coerência wavelet.

Gurgel (2013) usou a técnica da Coerência Wavelet na detecção de correlação entre séries temporais meteorológicas de estações de coleta de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); usou séries de dados de vento, analisando no espaço e do tempo. Foram obtidos escalogramas que demonstraram coincidências entre as séries, e as fases entre os sinais.

Valdés-Barrón et al., (2013) aplicam a técnica de Wavelet Cruzada e Coerência Wavelet em estudos da radiação solar UVB no México.

Pinto Neto et al., (2013) apresentou estudos sobre a atividade solar e atividades de trovoadas durante tempestades no Brasil, usando as TWX e Coerência.

Biswas e Si (2011) identificou por meio da Coerência Wavelet a correlação entre o armazenamento de água do solo e seus fatores de controle em diferentes escalas e locais.

2.6 - MICROMETEOROLOGIA

Segundo Oke (2006), o estudo do clima, bem como, da micrometeorologia compreende tanto a formação resultante de diversos fatores geomorfológicos e espaciais, quanto aos fatores climáticos, como a intensidade da radiação solar, latitude e longitude, altitude, ventos, a continentalidade e a maritimidade, topografia, vegetação e solo; sendo sua caracterização definida por seus elementos climáticos, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, pressão atmosférica e precipitação.

Romero (2000) define que o clima de um lugar pode ser considerado como a integração de uma série de elementos que se verificam em escalas diferentes, abrangendo desde a macroescala, mesoescala e a microescala.

Segundo De Paulo et al., (2015), as variáveis microclimáticas como a temperatura do ar estão sujeitas a influências mútuas e de outras variáveis que se caracterizam por periodicidades próprias; como a influencia do ciclo diário de 24 horas determinado pelo movimento de rotação da Terra. Algumas variáveis podem ser sensíveis ainda ao ciclo anual. As variáveis recebem influências de diversos fatores caracterizados em diferentes períodos, e o seu comportamento ao longo do tempo é bastante complexo; e essa complexidade do comportamento temporal é ampliada pela influência de fenômenos quase periódicos e de fatores estocásticos, os quais não podem ser caracterizados por períodos bem definidos (NICOLIS & PRIGOGINE, 1989). Sendo assim, a conceituação do chamado espaço de fase, se torna interessante. Conforme Prado (2017) o espaço de fases é um espaço abstrato representado por vetores, $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_n(t)$. Pode ter um número arbitrário de dimensões, cujos eixos coordenados são os eixos X_1 , X_2 , ..., X_n , caracterizado pelo número de variáveis independentes do sistema. Segundo Oliveira (2006), o espaço de fase possui propriedades qualitativas das soluções, que podem ser investigadas sem serem totalmente determinadas. Portanto, as características básicas de sistemas dinâmicos não lineares são a sensibilidade às condições iniciais e à variação de seus parâmetros. Assim, uma pequena variação em um parâmetro do sistema, pode iniciar uma mudança

repentina e abrupta no comportamento qualitativo (PRADO, 2017). Sendo assim, as variáveis podem estar ligadas a processos determinísticos relacionados às leis e fenômenos que são descritos, na maioria das vezes, por expressões matemáticas. A determinação das principais frequências relacionadas às variáveis, se constitui em um primeiro passo para a compreensão da variabilidade temporal das mesmas (ABARBANEL et al., 1993).

Lombardo (1985) define o clima urbano como um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofre na proximidade do solo, as influências microclimáticas derivadas dos espaços intra-urbanos.

Para Andrade (2005), o clima urbano resulta das interações entre os fatores urbanos com o clima regional e com o meio físico pré-existente. Cunha (2012) tece considerações sobre albedo, o qual deve-se considerar no clima urbano.

O aquecimento e o resfriamento do ar são determinados pelo chamado balanço de radiação na superfície do solo e na vegetação. O balanço de energia na área urbana é modificado devido às alterações promovidas pela substituição das superfícies naturais (solo nu, vegetação, por exemplo) por superfícies artificiais (pavimentações e construções), que armazenam parte da energia incidente na superfície que seria utilizada na evaporação, portanto, aquecendo os ambientes urbanos e os tornando mais quentes que as regiões periféricas. Sendo assim, as máximas temperaturas do ar no período noturno nas cidades são superiores às encontradas nas áreas rurais, enquanto que, a umidade relativa do ar da área rural é superior ao das cidades (SANTOS, 2012), (MACIEL, 2011), (GARTLAND, 2010), (OKE, 1987).

Assim, por meio apenas da variável temperatura do ar é possível investigar e caracterizar a dinâmica climática de um sistema. Bem como, a evolução temporal dos parâmetros de dinâmica não linear da temperatura do ar e a influência do fenômeno El Niño, por exemplo, sobre os padrões não lineares da dinâmica climática da variável (SILVA, 2015). O estudo das propriedades físicas da atmosfera e dos processos pode explicar sua evolução, e o entendimento dos estados futuros. Grandezas que caracterizam o sistema climático, sobretudo as variáveis com maior impacto sobre as atividades, tais como temperatura do ar, umidade relativa do ar, vento, e precipitação, entre outras, são de interesses direto às previsões climáticas, por exemplo, (MALETZEKE, 2009).

Quando o ar está em deslocamento horizontal pode-se dizer que ele está submetido a valores diferentes de temperatura do ar ou de pressão atmosférica de um ponto para outro. Este movimento, caracterizado por uma direção e uma velocidade é o que chamamos vento. A direção do vento é bastante variável no tempo e no espaço, em função da situação geográfica do local, da rugosidade da superfície, do relevo, da vegetação, do clima e da época do ano. É chamada direção predominante do vento a direção em que o mesmo ocorre com maior frequência, sendo que o relevo da região influi diretamente nesta direção (OKE, 2006), (VIDAL, 2012).

Conforme BARBIRATO et al., (2007), as precipitações são o resultado de qualquer deposição em forma líquida ou sólida derivada da atmosfera. A evaporação das águas de superfície leva à formação de chuva e outras precipitações. A condensação do vapor d'água em forma de chuva provém, em grande parte de massas de ar úmida em ascensão, esfriadas rapidamente pelo contato com massas de ar frias. No ambiente urbano, a precipitação é maior do que em relação ao campo, isto se deve fundamentalmente, aos movimentos ascendentes do ar sobre a cidade devido às ilhas de calor, bem como, da turbulência resultante de obstáculos próprios do ambiente da cidade e da nebulosidade urbana, proveniente da presença de partículas de aerossóis na atmosfera da cidade (MACIEL, 2014).

Nos estudos das áreas urbanas não se pode deixar de mencionar a metodologia de Katzschner (1997), que consiste em um método de estudo do espaço urbano avaliando as condições do clima urbano por meio de uma descrição qualitativa do espaço e de um sistema de classificação baseado nos padrões térmicos e dinâmicos do clima urbano, em relação à sua topografia, ao uso do solo, às áreas verdes e à altura dada às edificações. Tem-se ainda as metodologias de Bustos Romero e Matzarakis, como por exemplo, Romero (2001) e Matzarakis et al., (1999). Todas essas pesquisas e estudos se conectam com as ferramentas wavelets, pois estas possibilitam a obtenção das características das séries temporais. Sendo assim, este tópico sobre micrometeorologia, se restringe ao que nos ajuda a compreender a importância das ferramentas wavelets citadas, como viabilizadoras de análises espaciais e temporais em escalas locais dos ambientes urbanos.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - CARACTERIZAÇÃO DO LÓCUS

A cidade de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, está localizada entre as coordenadas geográficas de 15°10' e 15°50' de latitude sul e 50°50' e 50°10' de longitude oeste, altitude de 165 m e está localizada na província geomorfológica depressão cuiabana, onde predominam relevos de baixas amplitudes. Possui uma área de 3.224,68km², sendo 254,57km² de área urbana e 2.970,11km² de área rural (CUIABÁ, 2008).

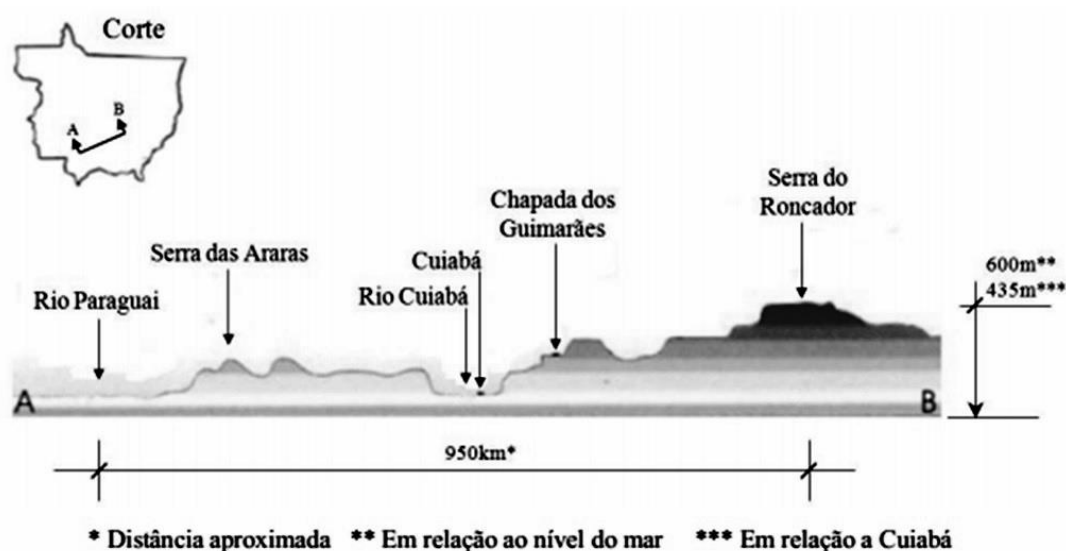


Figura 6 - Corte esquemático do mapa físico de Cuiabá

Fonte: SANTOS, 2012

Na área urbana e seu entorno, assinalam-se sete unidades distintas, segundo o modelo do relevo: canal fluvial, dique marginal, planície de inundação, área alagadiça, área aplainada, colinas e morrotes, que apresentam características próprias e comportamento específico quanto às diversas formas de uso e ocupação do solo (CUIABÁ, 2004).

A capital do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, situa-se em região de encontro de três importantes ecossistemas brasileiros, o Cerrado ao seu entorno, o Pantanal ao sul, e a floresta Amazônica ao norte. A vegetação predominante na região é o Cerrado, cerradão, e matas ciliares. A cidade possui diversos rios, ribeirões e córregos formadores da bacia do rio Cuiabá. Dentre os principais rios que banham a cidade encontra-se o rio Cuiabá, o rio Coxipó, o rio Bandeira, bem como, os córregos do

Moinho, Barbado, Prainha e o Salgadeira (CUIABÁ, 2012; SANCHES e SOUZA, 2016).

O clima regional de acordo com a classificação de Köppen é Aw, que representa um clima tropical semi-úmido, com duas estações bem definidas, uma seca (outono-inverno) e outra chuvosa (primavera-verão), (ALVARES et al., 2013). As temperaturas médias anuais oscilam entre 25 °C e 26 °C, enquanto as máximas, frequentemente, ultrapassam 35 °C durante quase todo o ano. A temperatura média anual máxima em Cuiabá varia de 31°C a 34°C. Já a temperatura mínima média anual, varia entre 18 a 21°C. Enquanto que a umidade relativa do ar tem média anual de 70%, no inverno a umidade relativa do ar diminui, chegando a níveis de 12%, ocorrendo então a estação seca.

A média da precipitação acumulada anual é de 1500 mm/ano conforme Sampaio (2006) e (Vidal, 2012). A direção do vento predominante é N (norte) e NO (noroeste) durante grande parte do ano, e S (sul) no período do inverno. Cuiabá está situada em uma depressão geográfica o que faz com que a frequência e a velocidade média dos ventos sejam extremamente baixas, minimizando o efeito das trocas térmicas por convecção e ressaltando ainda mais a influência do espaço construído sobre a temperatura do ar (SANTOS e NOGUEIRA, 2012).

3.2 - ÁREA DE ESTUDO

Foram realizadas análises das séries de dados de estações micrometeorológicas pertencentes a Pós-Graduação em Física Ambiental (PGFA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). As áreas de estudo foram determinadas por conterem diversidades na cobertura do solo. Bem como, por pertencerem a UFMT, o que facilitou o processo de aquisição de dados por motivos de segurança dos equipamentos.

A medição das variáveis meteorológicas foi obtida por meio de duas estações micrometeorológicas fixas. A primeira, que se encontra na Fração Urbana 1, é uma estação da marca ONSET compostas por sensores do tipo datalogger com unidade de armazenamento e transmissão de dados remoto de temperatura do ar e umidade relativa do ar, série nº 10262488, conforme Figura 7. Na Fração Urbana 2, encontra-se a Estação Micrometeorológica da marca Davis Instruments, modelo Vantage Pro 2, série

nº 10337080, conforme Figura 8, OKE (2004). Os dados foram coletados nos períodos dos anos de 2015, 2016, até março de 2017, e as variáveis estudadas foram: temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento. As imagens das Frações Urbanas 1 e 2 foram adquiridas pelo Google Maps (Google Earth Pro). As estações micrometeorológicas nelas contidas estão indicadas pelas Figuras 7 e 8.

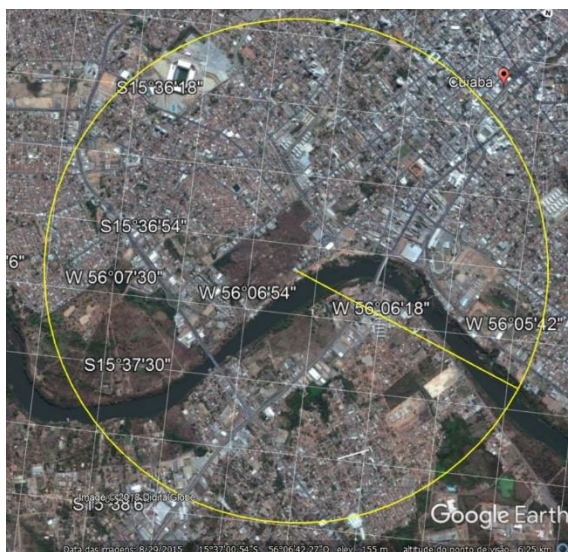


Figura 7 - Fração Urbana 1, topoclima (raio de 2000m) período seco do ano de 2015, Bairro Porto.

Fonte: Google Earth Pro



Figura 8 - Fração Urbana 2, topoclima (raio de 640 m) período seco do ano de 2016, UFMT.

Fonte: Google Earth Pro

3.3 - MÉTODOS

As Frações Urbanas são ambientes considerados como sistemas abertos, onde existem trocas de energia, matéria e quantidade de movimento com o entorno, usualmente, fazendo parte de sistemas matemáticos ditos sistemas dinâmicos não lineares.

Nas Frações Urbanas 1 e 2, todas as variáveis utilizadas foram trabalhadas como séries temporais de dados originais (dados brutos), contendo falhas não preenchidas, na intenção de não modificar a originalidade dos mesmos. Os dados foram coletados de 5 em 5 minutos, e analisados em dois períodos secos e um chuvoso, em recortes dos anos de 2015, 2016 e 2017. O primeiro período considerado para a Fração Urbana 1 foi de 23 de abril de 2015 a 22 de setembro de 2015, estação seca.

Os softwares estatísticos utilizados para o cômputo das estatísticas exploratórias foram o IBM SPSS Statistics, versão 16, a linguagem R, os pacotes TSA e TSeries, bem como, o Software Matlab 2014a para o desenvolvimento das Wavelets.

Conforme Figura 9, os dados foram adquiridos e pré-trabalhados. As verificações quanto a Normalidade dos dados foram efetuadas conforme Addison (2017), para as análises wavelets. Todos os testes estatísticos foram avaliados considerando um nível de significância de 5%.



Figura 9 - Fluxograma do pré-processamento dos dados

A Figura 10 resume o fluxograma dos trabalhos conduzidos. Os passos 3, 4 e 5 consideraram a Wavelet de Morlet.

As variáveis foram analisadas e as suas características, tendências, variações sazonais, periodicidades dominantes estudadas, por meio da variável frequência e ou período, e da variável espaço e ou posição por meio das TWC, TWX e CW.

Por meio dos algoritmos estudados, foram decompostas as séries temporais de dados em componentes de frequências em que os espectros encontrados traduziram as características fundamentais das séries coletadas.

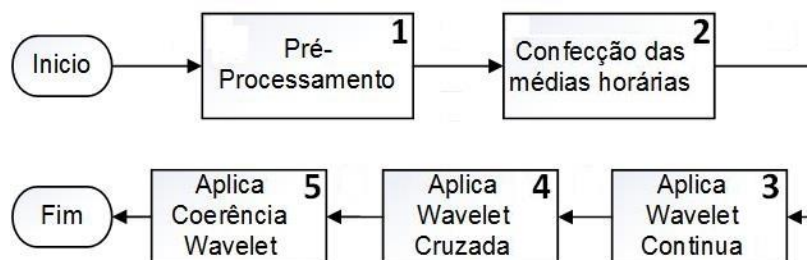


Figura 10 - Fluxograma representativo da metodologia wavelet adotada

3.3.1 - Algoritmos trabalhados

Os algoritmos utilizados foram de C. Torrence e de Grinsted, J. C. Disponíveis em: <http://paos.colorado.edu/research/wavelets> e <http://noc.ac.uk/using-science/crosswavelet-wavelet-coherence>, respectivamente. Acessos em: 27 Out. 2016. No entanto, ultimamente encontrados e disponíveis em: <https://github.com/chris-torrence/wavelets>, e em: <https://github.com/grinsted/wavelet-coherence>, respectivamente. Acessos em: Dez. 2017. Estes, daqui em diante, simplesmente referidos como funções CTorrence e JGrinsted.

Na etapa 1, foi realizado o pré-processamento dos dados. Na etapa 2, foram geradas as médias horárias utilizadas nas funções CTorrence e JGrinsted. Na etapa 3, foi iniciada a função Grinsted, e adicionados lateralmente o gráfico do espectro global das Wavelets advindos do algoritmo de C. Torrence; a função CTorrence foi aplicada nas Transformadas Wavelets Tradicionais TWC das variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, vento e pressão atmosférica obtendo os gráficos dos sinais das séries, da TWC, do espectro global, e das variâncias móveis. A escala utilizada foi horária, tanto para as análises anuais, quanto para análises mensais e diárias.

Posteriormente, na etapa 4, a função JGrinsted processou as Transformadas Wavelets Cruzadas TWX. Na etapa 5, foram geradas as Coerências Wavelets CW

também pela função JGrinsted, que possibilitou a detecção e a correlação entre as variáveis estudadas, bem como, a verificação de semelhança entre eventos temporais.

Inicialmente, as Wavelets são usadas para transformar o sinal investigado de uma série em uma representação, que possibilite examinar amiúde suas recorrências. Matematicamente, a Transformada Wavelet pode ser interpretada como uma convolução de um sinal com uma função analítica Wavelet. Sendo assim, traçar uma Transformada Wavelet significa construir uma imagem sendo construída da correlação entre a Wavelet em suas várias escalas e localizações conjuntamente com seu sinal. A escolha da Wavelet mais adequada para uma determinada aplicação depende tanto da natureza do sinal como do que se deseja da análise, ou seja, que fenômenos físicos ou processos são interessantes (ADDISON, 2017).

Conforme Torrence e Compo (1998), Addison (2005), Vilani (2011), a Wavelet de Morlet seria a mais complexa, pois carrega a herança da frequência central da wavelet-mãe e carrega ainda, um termo de correção atuante sobre a média não nula da sinusóide complexa dela mesma, dentro do pacote Gaussiano, (Figura 5). Em outras palavras, ainda segundo Addison (2017), os sinais complexos podem ser transmitidos a uma taxa insuficiente, ou seja, carregando frequências que causam ruídos no sinal, são os chamados ruídos vermelhos aliasing. O algoritmo utilizado para as TWC, por exemplo, apresenta modelo matemático de atenuação de ruídos vermelhos denominados de Gaussiano complexo.

3.3.2 - Transformada Wavelet Tradicional TWC

No caso, reporta a Wavelet-mãe de Morlet analítica aqui disposta, que filtra o sinal em pleno domínio temporal, selecionando as estruturas, quer dizer, no plano tempo-frequência captando e definindo a duração do sinal no tempo e o espalhamento do sinal no domínio da frequência. Analiticamente falando, a TWC utiliza a transformada de Fourier de valor zero para frequências negativas, onde os componentes de fase e amplitude dentro do sinal podem ser separados. Dessa forma, fornece o conjugado complexo da TWC e sua convolução é caracterizada pelo mesmo; assim, são chamadas de Wavelets de baixa oscilação. Silva (2005) fez uma colocação interessante, que as Wavelets são como microscópios matemáticos que ampliam os sinais. A TWC oferece uma resolução variável no tempo, ou seja, comprimentos variáveis da janela temporal, o que

leva à multiresolução no plano tempo-frequência. Para o caso de janela Gaussiana, a resolução é representada pela área do sinal projetado no plano tempo-frequência (MENEZES, 2014).

Nestas condições, as análises qualitativas wavelets foram escolhidas como ferramentas para o estudo ora apresentado. Possibilitando visualizar a sazonalidade das Frações Urbanas, o ciclo, e as periodicidades dominantes, através dos escalogramas e espectrogramas traçados.

Neste trabalho, foram plotados conjuntamente com as TWC geradas pela função JGrinsted, o gráfico do Espectro Wavelet Global EWG da função, e os gráficos escalogramas de cores da TWX, bem como, da Coerência Wavelet CW. A Equação 25 fornece a formulação da TWC usada nas funções CTorrence e JGrinsted.

$$TWC(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (25)$$

3.3.3 - Transformada Wavelet Cruzada TWX

A TWX utilizada foi a definida por Hudgins et al., (1993) como de dois sinais $f(t)$ e $g(t)$, em $L^2 [a,b]$, como o produto da transformada wavelet $f(t)$ com o complexo conjugado da transformada wavelet de $g(t)$, conforme Equação 29.

A função $f(t) L^2 (R)$ Reais foi desenvolvida pela decomposição da $f(t)$ em uma base (ortonormal) formada por funções Wavelets $\psi(t)$. E conforme ainda, Torrence e Webster (1999) foram geradas as duas TWX das séries de temperatura do ar, $X(t)$, e da umidade relativa do ar, $Y(t)$, por exemplo; com suas respectivas transformadas $W_x(s,t)$ e $W_y(s,t)$, e o conjugado denotado por $(\wedge)$, onde s é a escala e t o tempo. O produto entre elas é apresentado por meio das Equações 26, 27 e 28, em uma dada escala a nas vizinhanças de $(t=b)$. Da mesma forma, a transformada foi utilizada para as variáveis vento e pressão atmosférica.

$$\langle f(t), g(t) \rangle = \int_a^b f(t) * g(t) dt \quad (26)$$

Sendo a wavelet-mãe com suas respectivas transformadas $W_x(s,t)$ e $W_y(s,t)$ e os seus devidos conjugados $(\wedge)$:

$$XW_{f,g}(a, b) = W_f^{\wedge}(a,b) * W_g(a,b) \quad (27)$$

$$W_{f,g}^{\psi}(a,b) = W_f^{\psi}(a,b) * W_g^{\wedge\psi}(a,b) \quad (28)$$

Para examinar essa relação e a semelhança entre os dois sinais, utilizou-se o Espectro Wavelet Cruzado TWX, caracterizado pelo módulo e pela fase da Transformada Wavelet Tradicional TWC (VARANIS & PEDERIVA, 2011).

$$TWX = W_f^\psi(a, b) * W_g^\psi(a, b) \quad (29)$$

Sendo assim, a partir de duas séries de dados originais se constrói uma Wavelet Cruzada TWX; onde os espectros de energia são cruzados, e as duas séries testadas, e expostas a verificações quanto as suas relações de fase ou anti fase no espaço tempo-frequência. A potência da TWX de duas séries temporais é a energia de fundo do espectro, (Equação 29), nele o nível de confiança geralmente utilizado é 95% (TORRENCE & COMPO, 1998).

Portanto, adotou-se conforme Domingues et al., (2016), que:

...os resultados do espectro cruzado podem indicar resultados que não são verificados como verdadeiros nos testes de significância de inter-relação entre duas séries temporais, o que dificulta a análise dos resultados. A ferramenta auxiliar nestes casos, é a aplicação da coerência wavelets CW.

3.3.4 - Coerência Wavelet CW

A CW constitui o espectro normalizado de TWX, suavizado no tempo e na escala, pelo espectro de energia de TWC individual. Os coeficientes do Espectro da TWX revelam quando existe um grau elevado de correlação entre funções $f(t)$ e $g(t)$ (TORRENCE & WEBSTER, 1999); esses coeficientes são estimadores qualitativos da evolução temporal do grau de linearidade da interação entre duas séries temporais em uma dada escala. A Equação 30 apresenta o fator (s^{-1}) utilizado para normalizar a densidade de energia, e (S) é o operador de suavização no tempo (b) e na escala (a) utilizados.

$$WC_{f,g}(a, b) = \frac{|S(s^{-1}xW_{f,g}(a,b))|^2}{s(s^{-1}|W_f(a,b)|^2)s(s^{-1}|W_g(a,b)|^2)} \quad (30)$$

Se: $W_{f,g} = W_{f,g}^\psi$

A correlação entre os dois sinais é em função do tempo e da frequência, no caso, uma medida de associação entre as duas séries de temperatura do ar e umidades relativas do ar, por exemplo; a wavelet complexa permite que essa correlação seja visualizada

como eventos coincidentes sobre as escalas e frequências, em cada instante de tempo dos sinais das séries (MISITI et al., 2005). Por fim, a CW é verificada por meio de procedimentos de Monte Carlo.

A TWX aparece, então, como procedimento útil para realçar regiões de energia coincidente entre os sinais no domínio da transformada, bem como, determinar a fase relativa. A interpretação do local de fase como uma medida da diferença entre os dois sinais analisados no tempo (b) e na escala (a), pois a fase captura a coordenação entre as componentes. Como ela não é completamente localizada no tempo, surge a necessidade de um artefato de borda chamado de cone de influência (COI), correspondente a um intervalo de confiança de 95% onde os efeitos de borda são verificados pelo algoritmo, (TORRENCE & COMPO, 1998).

O COI é uma região do espectro Wavelet onde os efeitos de borda devem ser analisados com atenção, pois é uma região de fronteira, que demonstra o tempo de dobragem eletrônica da onda de Morlet (MARAUN & KURTHS, 2004); ou, tempo de defasagem, de valor 2 centésimos de segundos (e-folding time), este tempo deve ser escolhido para que os efeitos de borda não sejam significativos além desse ponto.

O resultado é mostrado por meio de um mapa de cores, também denominado de escalograma. O eixo horizontal representa o domínio temporal e o vertical as escalas utilizadas. A Coerência Wavelet apresenta valores entre 0(zero) e 1(um). Usualmente para valores próximos de 1(um) é alta e a cor com que se representa isso é o vermelho escuro; para valores próximos de 0(zero) é baixa, e a cor representante é o azul escuro. As cores azul claro, verde, amarelo e alaranjado, perfazem os valores intermediários.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da pesquisa em Cuiabá, região urbana de cerrado mato-grossense, onde as análises wavelets dentro do contexto em que se aplicam foram utilizadas, são aqui apresentados. Primeiramente algumas considerações sobre as análises exploratórias de verificação de normalidade dos dados, bem como, das médias horárias, diárias, para verificação da temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento nos períodos das séries chamadas de recortadas das séries originais. Seguem-se depois, a apresentação dos escalogramas e espectrogramas fornecidos pelas TWC, TWX e CW para as Frações Urbanas estudadas.

4.1 - ESTATÍSTICA EXPLORATÓRIA - Frações Urbanas 1 e 2

Para a Fração Urbana 1, a aderência das distribuições das variáveis à Normal e à homocedasticidade, quanto a temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento foram avaliadas pelos testes de Wald-Wolfowitz, Kolmogorov-Smirnov e de Ljung-Box, conforme Tabela 1a.

Tabela 1a - Estatística exploratória (testes de aderência): séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e série de vento. Para período de abril/2015 a julho/2016 - Fração Urbana 1.

Variáveis	Wald-Wolfowitz	Ljung-Box	Lillieforts (Kolmogorov-Smirnov)
T °C	0.689	0.271	0.000
UR %	0.352	0.174	0.000
V m/s	0.745	0.287	0.000

As estatísticas exploratórias utilizadas para descrever a distribuição dos conjuntos de dados estão dispostas na Tabela 1b e na Tabela 2 para as Frações Urbanas 1 e 2 respectivamente, e nas Figuras 11 e 12 para Fração Urbana 1, e Figuras 13 e 14 para Fração Urbana 2, respectivamente.

Tabela 1b - Estatística exploratória: séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e série de vento. Para período de abril/2015 a julho/2016 - Fração Urbana 1.

Variáveis	Média	Lim Inf	Lim Sup	Md	Erro P.	Desvio	Ass.	Curtose
T °C	27,61	27,58	27,64	27,21	0,013	4,85	0,040	-0,264
UR %	70,67	70,57	70,77	74,10	0,052	19,04	-0,61	-0,516
V m/s	1,75	1,73	1,77	1,46	0,011	1,11	1,232	2,064

As medidas de tendência central para as Frações Urbanas 1 e 2, quer dizer, as médias e as medianas quase não divergiram. Para as análises de amplitudes, a assimetria da temperatura do ar foi moderadamente positiva, e para umidade relativa do ar a assimetria foi mais acentuada a esquerda. As curtoses para temperatura do ar e umidade relativa do ar indicaram achatamentos leves em relação à distribuição Gaussiana (distribuições mesocúrticas na Fração Urbana 1).

Tabela 2 - Estatística exploratória: séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e série de vento. Para período de setembro/2015 a julho/2016 - Fração Urbana 2

Variáveis	Média	Lim Inf.	Lim Sup	Md	Erro P.	Desvio	Ass.	Curtose
T °C	28,27	28,23	28,30	27,70	0,017	5,21	0,058	-0,264
UR %	69,46	69,34	69,58	72,40	0,062	18,96	0,514	-0,160
V m/s	0,36	0,35	0,37	0,30	0,004	0,38	1,284	2,554

Para Fração Urbana 2, as análises de amplitudes, de assimetria para a temperatura do ar, bem como, para umidade relativa do ar, foi levemente assimétrica a esquerda, a curtose para temperatura do ar e para umidade relativa do ar, foi mesocúrtica.

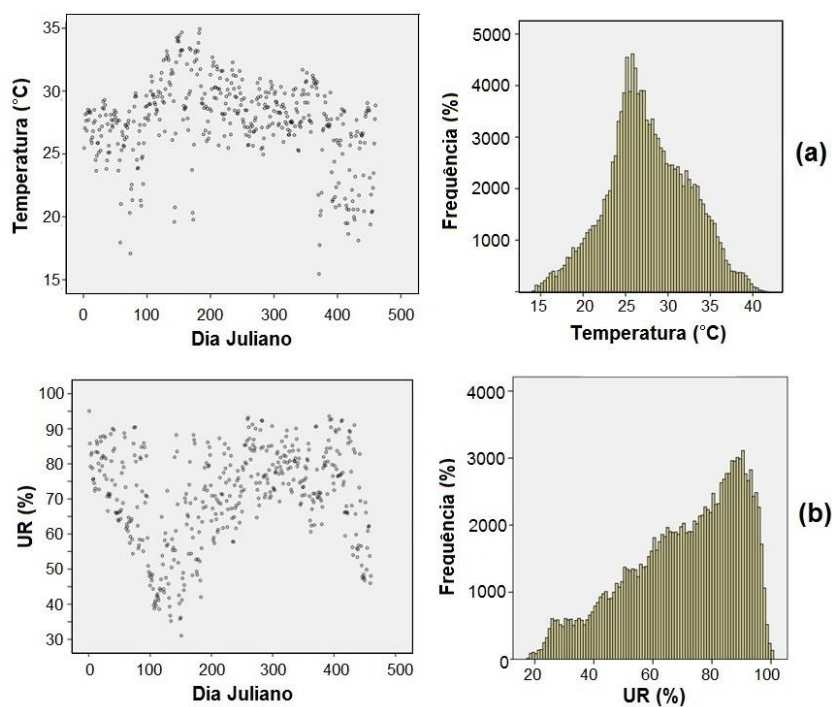


Figura 11 - Dispersão das médias diárias e histograma das médias horárias, Fração Urbana 1, (a) temperatura do ar e (b) umidade relativa do ar

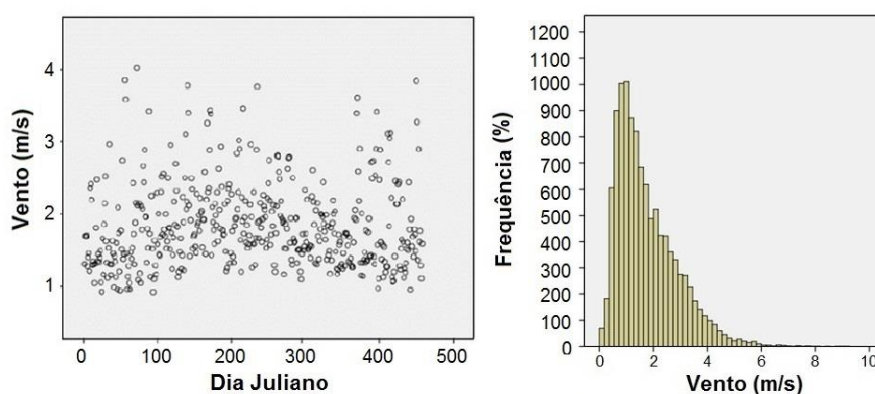


Figura 12 - Dispersão das médias diárias e histograma das médias horárias, Fração Urbana 1, (a) vento

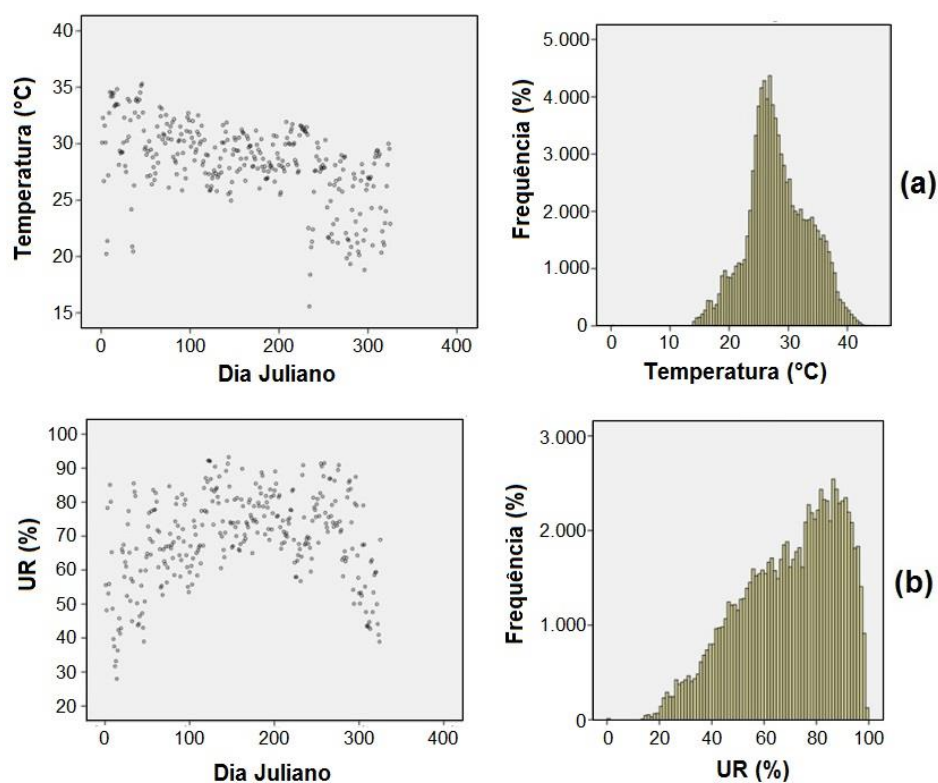


Figura 13 - Dispersão das médias diárias e histograma das médias horárias, Fração Urbana 2, (a) temperatura do ar e (b) umidade relativa do ar

A análise exploratória para a variável vento indicou que as estatísticas paramétricas não se aplicaram a essas séries de dados, conforme testes de Kolmogorov-Smirnov, neste caso o intervalo de confiança foi calculado por *bootstrap*. A presença de tendências foi avaliada por meio do teste não paramétrico de Wald-Wolfowitz. A Tabela 3 indica esses resultados para as Frações Urbanas 1 e 2.

Tabela 3 - Estatística exploratória não paramétrica: séries de vento - Frações Urbanas 1 e 2

Variáveis	Kolmogorov-Smirnov		Ljung-Box		Wald-Wolfowitz	
Fração	1	2	1	2	1	2
V m/s	0.855	0.679	0.164	0.287	0.000	0.000

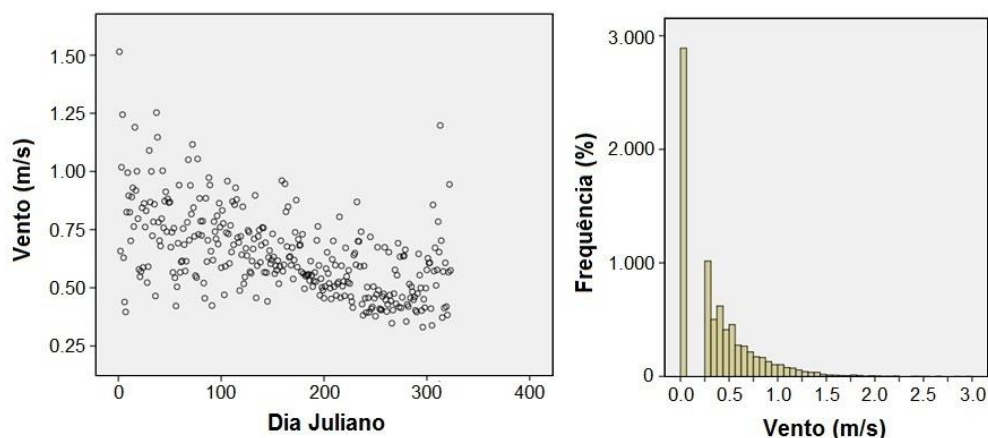


Figura 14 - Dispersão das médias diárias e histograma das médias horárias, Fração Urbana 2, (a) vento

Portanto, as séries coletadas de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento nas Frações Urbanas 1 e 2 estão dentro das condições para as análises wavelets.

4.2 - FRAÇÕES URBANAS

4.2.1 - Fração Urbana 1

Os estudos das áreas urbanas externas, são, como um todo, relevantes devido ao entendimento de qualidade de vida que os mesmos devem proporcionar; pois as variabilidades ocorridas no espaço e no tempo fazem parte desses ambientes. A Fração Urbana 1 possui uma parte considerável de sua área como de zona de interesse ambiental, por conter um dos meandros do rio Cuiabá, mata ciliar estreita e arborização viária esparça; existe presença de atividades comerciais, de serviços, de turismo, edificações pouco verticalizadas, e avenida com tráfego de veículos. Neste ambiente topoclimático, as séries de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, foram, por meio da Figura 15, expostas em séries de médias horárias, para o período de 23 de abril de 2015 a 25 de julho de 2016.

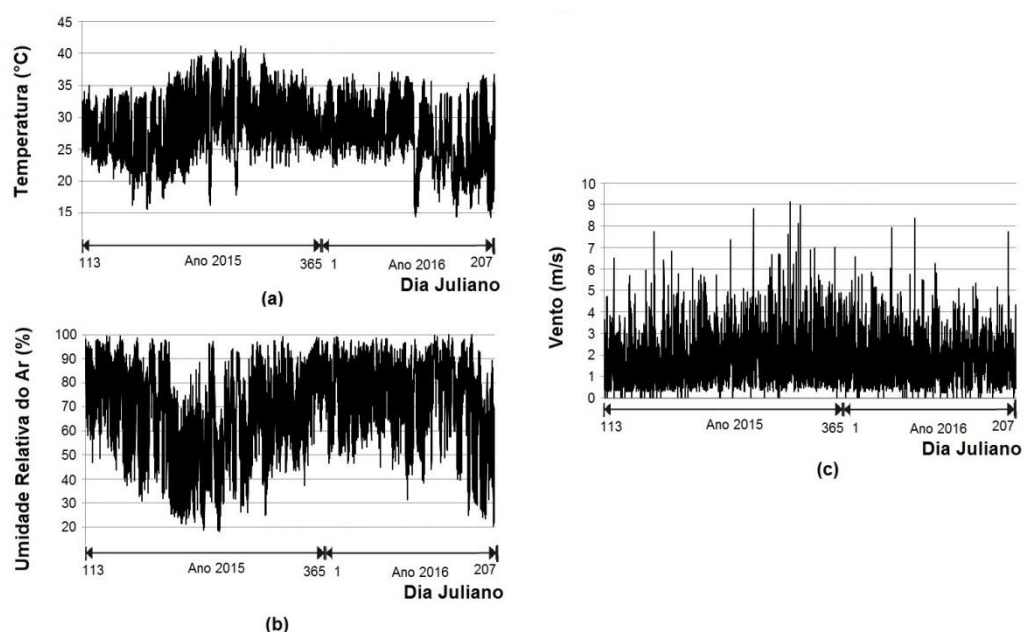


Figura 15 - Séries de dados (a) temperatura do ar, (b) umidade relativa do ar e (c) vento, Fração Urbana 1, médias horárias

O primeiro período considerado para a Fração Urbana 1 foi de 23 de abril de 2015 a 22 de setembro de 2015, estação seca. As médias mensais mais elevadas das temperaturas do ar e umidades relativas do ar ocorreram em setembro, média ($30,7^{\circ}\text{C} \pm 3,7^{\circ}\text{C}$) em abril, e média ($82,0\% \pm 6,9\%$) respectivamente; as médias mensais mais baixas em julho ($25,5^{\circ}\text{C} \pm 3,3^{\circ}\text{C}$) e em agosto ($47,6\% \pm 8,2\%$); com amplitude de $5,2^{\circ}\text{C}$ para temperatura e de $34,4\%$ para umidade, compreendendo a estação do ano outono; sendo a máxima e a mínima diárias de temperaturas do ar, quer dizer, o dia mais quente e o dia mais frio, com ($29,3^{\circ}\text{C} \pm 3,3^{\circ}\text{C}$ e $18,0^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$) respectivamente; bem como, o dia mais úmido e o mais seco, com umidades relativas do ar de ($95,1\% \pm 7,9\%$ e $63,7\% \pm 14,8\%$). Para a estação do inverno, foram obtidos o dia mais quente e o mais frio com ($34,4^{\circ}\text{C} \pm 4,1^{\circ}\text{C}$ e $17,1^{\circ}\text{C} \pm 1,1^{\circ}\text{C}$), e o dia mais úmido e o mais seco com ($90,4\% \pm 7,6\%$ e $31,0\% \pm 9,7\%$), respectivamente.

Quanto ao período de 23 de setembro de 2015 a 21 de março de 2016, estação chuvosa, as médias mensais mais elevadas das temperaturas do ar e umidades relativas do ar ocorreram em outubro ($29,8^{\circ}\text{C} \pm 3,8^{\circ}\text{C}$) e janeiro ($83,0\% \pm 7,6\%$); as médias mensais mais baixas em janeiro ($27,5^{\circ}\text{C} \pm 1,6^{\circ}\text{C}$) e outubro ($64,4\% \pm 12,8\%$), respectivamente; com amplitude de $2,3^{\circ}\text{C}$ para temperatura e de $18,6\%$ para umidade. Compreendendo a estação da primavera, a máxima e a mínima diárias de temperaturas do ar, quer dizer, as temperaturas do dia mais quente e do dia mais frio foram

($34,9^{\circ}\text{C} \pm 4,1^{\circ}\text{C}$ e $19,8^{\circ}\text{C} \pm 1,6^{\circ}\text{C}$), respectivamente; bem como, o dia mais úmido e o mais seco, tiveram umidades relativas do ar de ($88,2\% \pm 2,7\%$ e $42,0\% \pm 12,1\%$). Para o verão, o dia mais quente e o mais frio foram com temperaturas do ar de ($31,6^{\circ}\text{C} \pm 3,7^{\circ}\text{C}$ e $25,0^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$) e o dia mais úmido e o mais seco com umidades iguais a ($93,2\% \pm 6,5\%$ e $63,3\% \pm 14,5\%$), respectivamente.

A partir de 22 de março de 2016 a 25 de julho de 2016, novamente na estação seca com o outono-inverno, as médias mensais mais elevadas das temperaturas do ar e umidades relativas do ar ocorreram em abril ($28,0^{\circ}\text{C} \pm 4,3^{\circ}\text{C}$) e em maio ($79,7\% \pm 8,0\%$), respectivamente; as médias mensais mais baixas em junho ($23,4^{\circ}\text{C} \pm 3,5^{\circ}\text{C}$) e julho ($57,0\% \pm 9,4\%$); com amplitude de $4,6^{\circ}\text{C}$ para temperatura do ar e de $22,7\%$ para umidade relativa do ar. Compreendendo a estação do outono, a máxima e a mínima diárias de temperaturas do ar, quer dizer, o dia mais quente e o dia mais frio, foram ($31,7^{\circ}\text{C} \pm 3,7^{\circ}\text{C}$ e $15,4^{\circ}\text{C} \pm 0,4^{\circ}\text{C}$), respectivamente; bem como, o dia mais úmido e o mais seco, com umidades relativas do ar de ($92,7\% \pm 4,9\%$ e $59,5\% \pm 13,1\%$). Para a estação do inverno foram obtidos o dia mais quente e o mais frio com ($32,4^{\circ}\text{C} \pm 4,8^{\circ}\text{C}$ e $13,5^{\circ}\text{C} \pm 0,7^{\circ}\text{C}$) e o dia mais úmido e o mais seco com ($94,6\% \pm 3,9\%$ e $38,9\% \pm 16,2\%$).

Começa aqui o entendimento do clima de cerrado o qual Cuiabá pertence. Com características de clima quente e seco para o outono-inverno, com médias diárias de temperatura do ar e umidade relativa do ar de ($27,6^{\circ}\text{C} \pm 3,1^{\circ}\text{C}$) e de ($65,2\% \pm 16,3\%$), respectivamente, considerando o período seco. No entanto, para a primavera e o verão, a característica continua de clima quente, só que mais úmido. As médias diárias de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram de ($28,9^{\circ}\text{C} \pm 2,3^{\circ}\text{C}$) e ($73,6\% \pm 10,9\%$), respectivamente, (ALVARES et al., 2013).

Como as variáveis microclimáticas se encontram atreladas umas às outras, criando entre si suas áreas de atuação o chamado footprint das variáveis; e onde se estudou o campo de atuação de cada uma delas, foram expostas por meio da Figura 16, as médias diárias ao longo do período estudado para Fração Urbana 1.

Por se tratar de fração urbana em uma das capitais mais quentes do Brasil, ressalta-se a importância da influência do espaço construído urbano sobre a

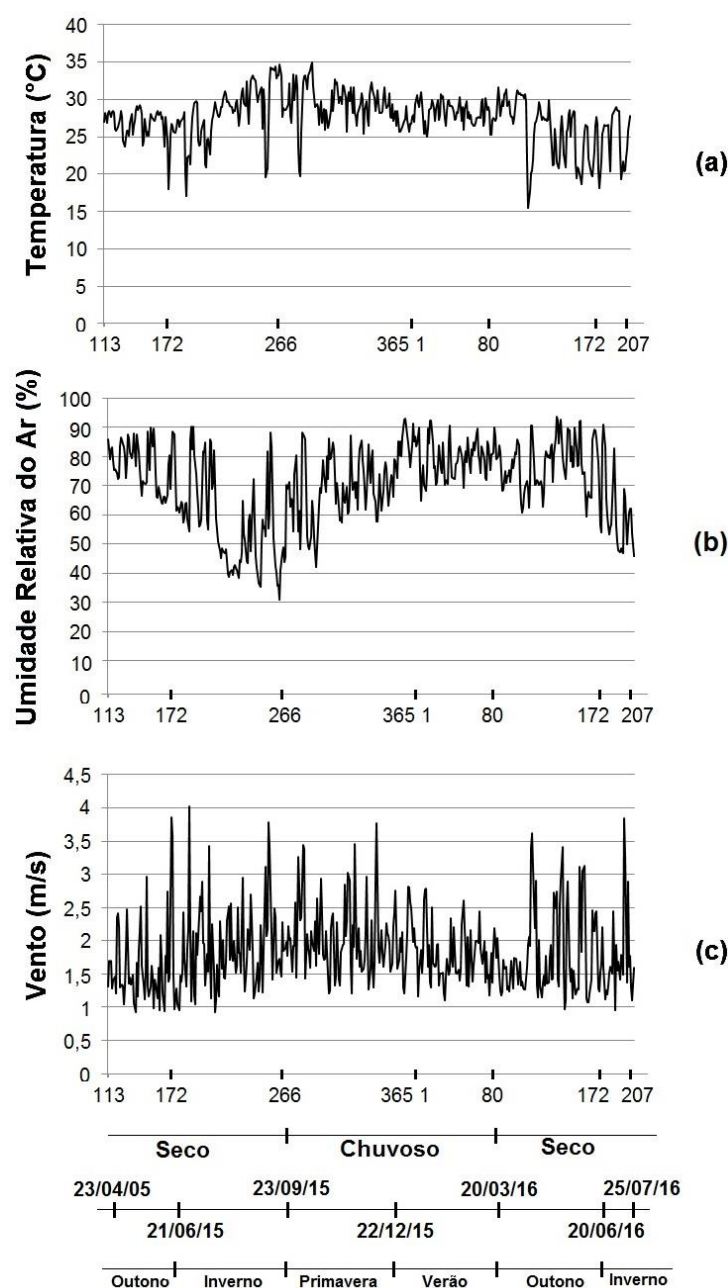


Figura 16 - Médias diárias de (a) temperatura do ar, (b) umidade relativa do ar e (c) vento, Fração Urbana 1

temperatura do ar, bem como, das consequências do clima quente em ambientes urbanos; ressalta-se ainda, que apesar das médias diárias não indicarem valores muito extremos, na estação seca, às horas mais quentes do dia entre as 13:00 e às 14:00 horas, a temperatura do ar máxima chega a $41,5^{\circ}\text{C} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ aliado a $18,6\% \pm 0,5\%$ de umidade relativa mínima do ar. A amplitude térmica de alguns dias, considerando a baixa umidade relativa do ar provocam alarmantes quadros de desconforto térmico, alijando

a saúde humana a problemas variados. Nessas condições de extremos, e de desconfortos, os estudos sobre os espaços microclimáticos e de topoclima são essenciais para a região urbana considerando o exposto por Matzarakis et al., (1999); bem como, os índices de Katzschner (1997). Todos esses estudos aliados às ferramentas wavelets podem girar em prol do conforto térmico urbano, onde os elementos atmosféricos temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, influenciam diretamente os seres humanos, os animais e as plantas.

4.2.2 - Fração Urbana 2

A Fração Urbana 2 situa-se em plena região da UFMT, na presença de edificações verticalizadas espaçadas, de avenida, ruas e estacionamentos com arborização e tráfego de veículos, formando as condições às quais as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, expostas por meio da Figura 17, foram naturalmente indicadas.

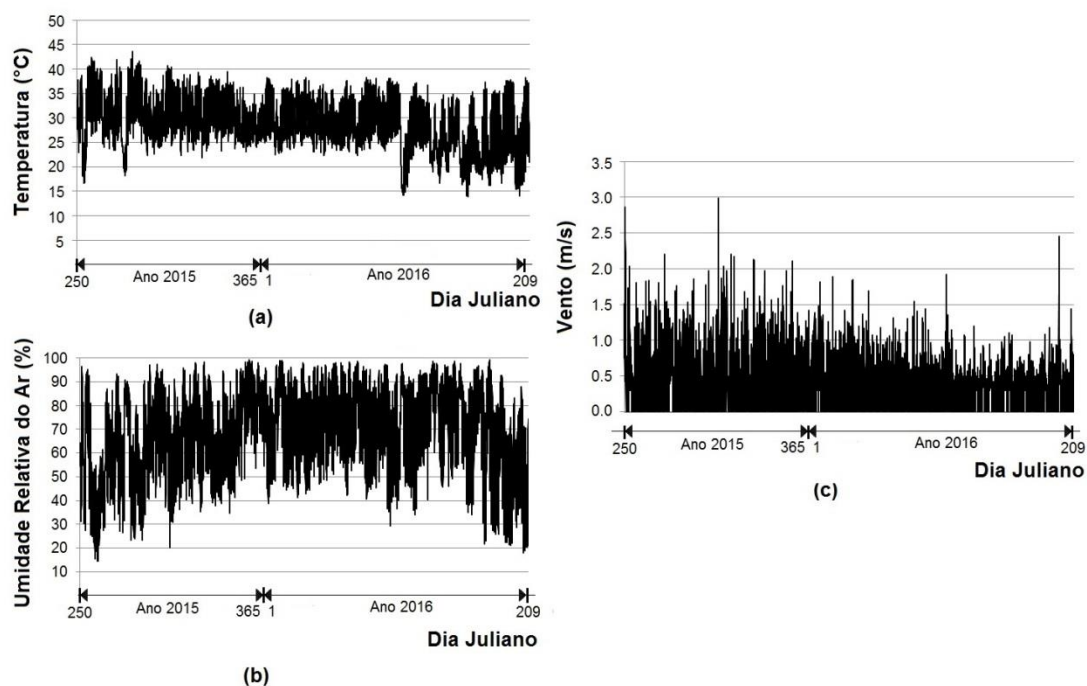


Figura 17 - Séries de dados (a) temperatura do ar, (b) umidade relativa do ar e (c) vento, Fração Urbana 2, médias horárias

Para o período de 23 de setembro de 2015 a 22 de março de 2016 na estação chuvosa, compreendendo a primavera e o verão, as médias mensais mais elevadas das temperaturas do ar e umidades relativas do ar ocorreram em setembro ($30,7^{\circ}\text{C} \pm 4,0^{\circ}\text{C}$)

e em janeiro ($81,2\% \pm 8,9\%$), respectivamente; as médias mensais mais baixas em janeiro ($27,9^{\circ}\text{C} \pm 1,9^{\circ}\text{C}$) e setembro ($52,8\% \pm 15,9\%$); com amplitude térmica de $2,8^{\circ}\text{C}$ para temperatura de e $28,4\%$ para umidade.

No período de 23 de março de 2016 a 27 de julho de 2016, já na estação seca, compreendendo o outono e o inverno, as médias mensais mais elevadas das temperaturas do ar e umidades relativas do ar ocorreram em abril ($28,8^{\circ}\text{C} \pm 4,1^{\circ}\text{C}$) e março ($79,4\% \pm 5,4\%$), respectivamente; e as médias mensais mais baixas em março ($24,0^{\circ}\text{C} \pm 1,3^{\circ}\text{C}$) e em julho com ($54,0\% \pm 10,0\%$), com amplitude térmica de $4,8^{\circ}\text{C}$ para temperatura de e 25% para umidade.

A partir de 23 de setembro de 2016 a 24 de março de 2017, novamente na estação chuvosa (primavera-verão), as médias mensais mais elevadas das temperaturas do ar e umidades relativas do ar ocorreram em outubro com ($29,2^{\circ}\text{C} \pm 2,8^{\circ}\text{C}$) e em março com ($79,0\% \pm 6,7\%$), respectivamente; as médias mensais mais baixas em fevereiro ($27,4^{\circ}\text{C} \pm 1,3^{\circ}\text{C}$) e setembro ($60,0\% \pm 16,1\%$), com amplitude térmica de $1,8^{\circ}\text{C}$ para temperatura e de 19% para umidade.

Mais uma vez, as características foram de clima quente e úmido para primavera e verão, com médias diárias de temperatura do ar e umidade relativa do ar de ($29,5^{\circ}\text{C} \pm 2,6^{\circ}\text{C}$) e de ($69,6\% \pm 4,7\%$), respectivamente; no entanto, para o outono-inverno a característica continuou de clima quente só que seco. As médias diárias de temperatura do ar e umidades relativas do ar foram de ($26,8^{\circ}\text{C} \pm 3,8^{\circ}\text{C}$) e de ($64,6\% \pm 4,6\%$), respectivamente. Bem, por estar localizada na chamada faixa intertropical, o cerrado matogrossense nas primaveras e verões, estão fadados a serem quente e úmidos (CUIABÁ, 2015). Por conta desse clima urbano de cerrado, a valorização da importância da influência do espaço construído urbano sobre a temperatura do ar, bem como, das consequências do clima quente em microambientes urbanos na cidade é de suma importância. Salienta-se, que, na estação seca às horas mais quentes do dia, as temperaturas do ar máximas observadas foram de $39,0^{\circ}\text{C} \pm 4,0^{\circ}\text{C}$ contra $15\% \pm 3,0\%$ de umidades relativas mínimas do ar. Este fato também foi observado para a Fração Urbana 1. Destaca-se ainda, que, em período da conhecida friagem cuiabana (NOGUEIRA et al., 2012), às vezes, as temperaturas e umidades das horas mais quentes do dia, aliadas às rotineiras amplitudes térmicas, sugerem quadros patológicos não só aos indivíduos, mas, também às construções. Pois

estas, sofrem retrações e dilatações variadas, causando fissurações nos sistemas estruturais e nos revestimentos (ROCHA, 2014; ANDRADE, 2005). A Figura 18 indica as médias diárias das variáveis ao longo do período estudado, para Fração Urbana 2.

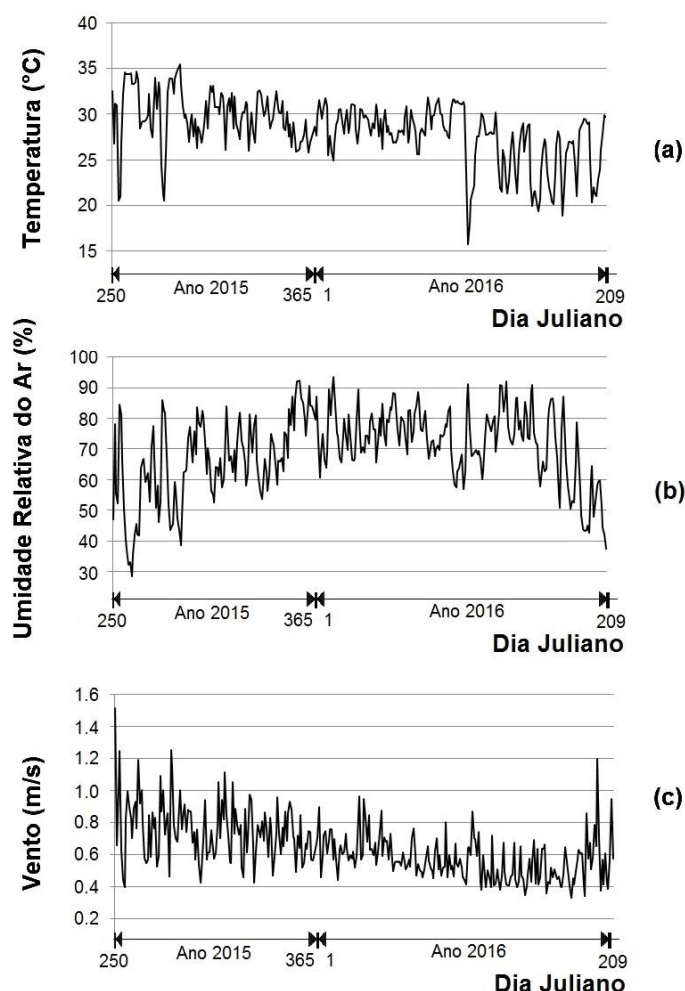


Figura 18 - Médias diárias de (a) temperatura do ar, (b) umidade relativa do ar e (c) vento, Fração Urbana 2

4.3 - ESCALOGRAMAS E ESPECTROGRAMAS WAVELETS

4.3.1 - TWC Frações Urbanas 1 e 2

Nas análises wavelets, os coeficientes resultantes das filtragens dos sinais digitais das séries que foram capturados em diferentes escalas, em outras palavras, os coeficientes que foram decompostos em componentes de diferentes frequências. Após minuciosa análise, apresentaram outros sinais ocorridos com eles, eram os sinais chamados de ruídos vermelhos e que, deveriam ser distinguidos. Além disso, foram

verificadas suas coerências por meio de funções que se relacionavam umas com as outras em processos de escalonamentos das estruturas dentro dos sinais do maior para o menor, acrescidos ainda, de seus parâmetros de análise e com variação de acordo com as características de cada trecho do sinal.

As Figuras 19(a) e 20(a) possibilitam a visualização da variabilidade da energia

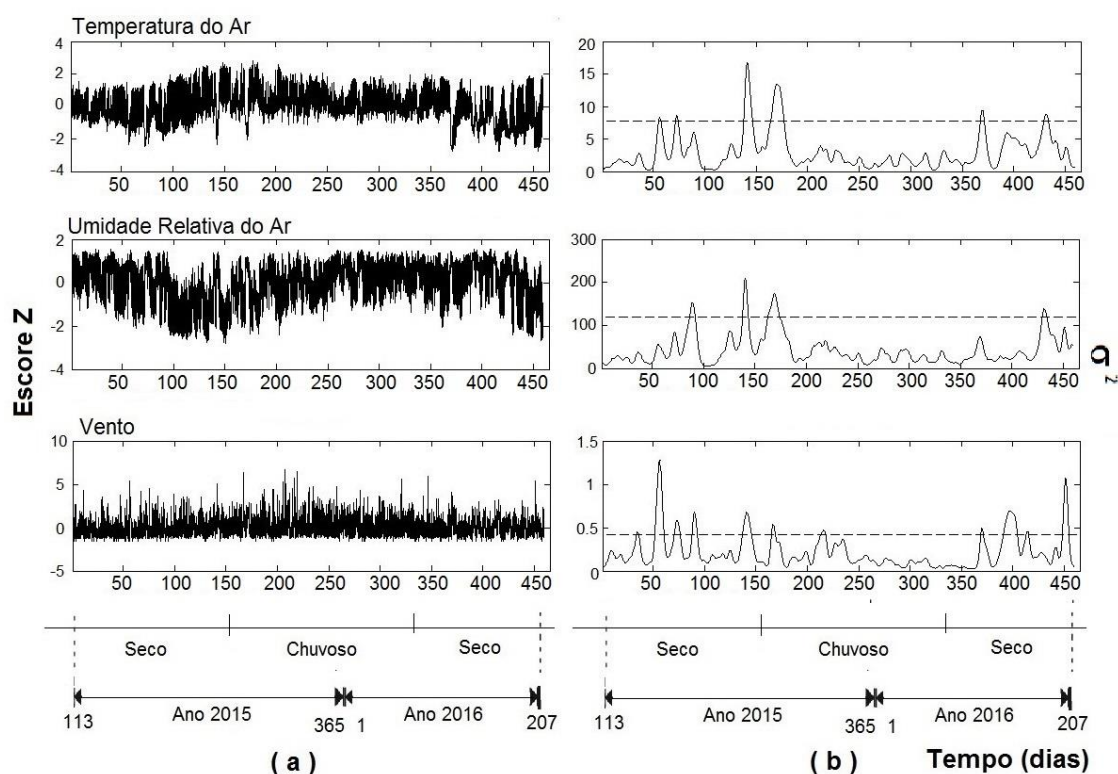


Figura 19 - (a) Escores Z das séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, e **(b)** variâncias (σ^2) anual móvel das variáveis - Fração Urbana 1

das séries temporais de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento ao longo do tempo para as Frações Urbanas 1 e 2.

As Figuras 19(b) e 20(b) trazem as variâncias móveis dessas séries também ao longo do tempo, com modelo de ruído branco gaussiano de 95% de confiabilidade, mostrado acima da linha tracejada.

Conforme o exposto, as possíveis tendências e as variações sazonais das séries estudadas, bem como, as periodicidades desses eventos, demonstraram as periodicidades chamadas de dominantes, ou seja, as que mais aconteceram. Além disso, à medida que o número de observações de cada série aumentou, as variâncias

dessas séries foram sugestivas de estimativas mais consistentes como em (BARBOZA, 2008).

Para as Frações Urbanas 1 e 2, observando-se todas as séries e seus gráficos das variâncias móveis, Figuras 19(a) e 20(a), perceberam-se aumentos dos níveis de ruído vermelho nos sinais temporais; o ruído vermelho ocorre mais frequentemente em período seco, ficando sugestivo também, no período intermediário seco/úmido.

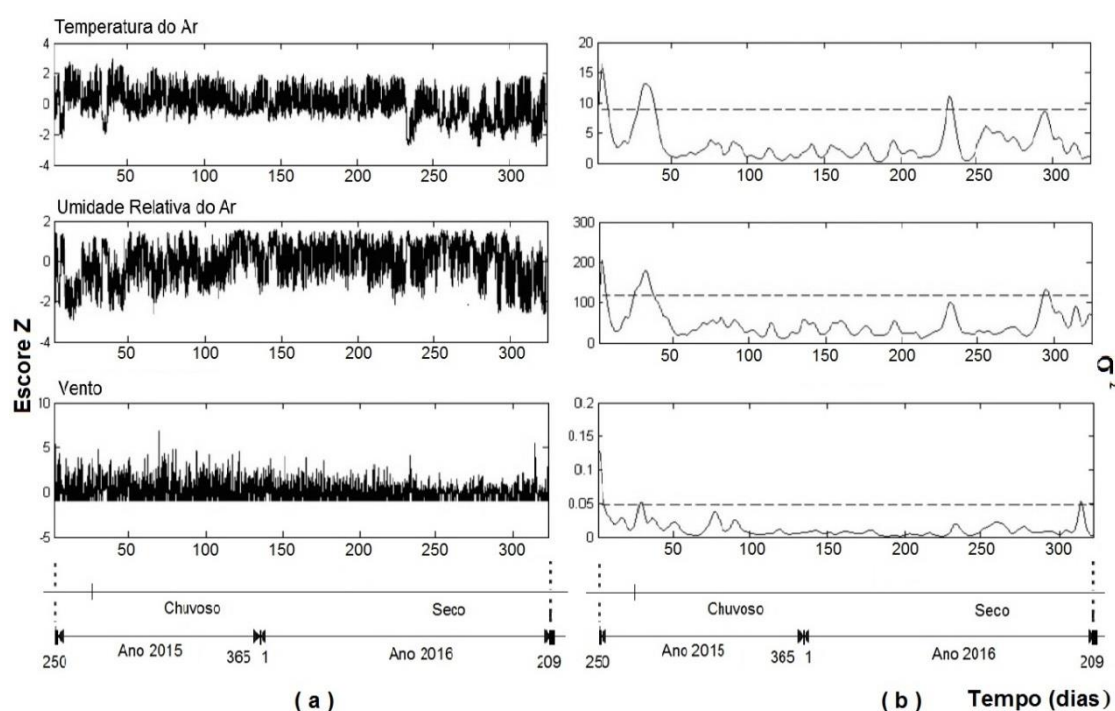


Figura 20 - (a) Escores Z das séries temporais de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, e (b) variâncias (σ^2) anuais móveis das variáveis - Fração Urbana 2.

Geralmente, nestas épocas do ano, as temperaturas diurnas do ar são altas e podem decrescer rapidamente com a chegada das massas de ar do Atlântico, o chamado vento Sul, em fenômenos de inversão térmica (NOGUEIRA et al., 2012). Resumindo, as frequências sazonais urbanas do Cerrado na cidade de Cuiabá, para os períodos seco e chuvoso podem ser observadas por meio das Figuras 19(b) e 20(b).

Durante os primeiros 50 dias do período de 2015 e por volta do dia de 170 do período de 2016 conforme Figuras 19(b) e 20(b), nos gráficos de temperatura do ar e umidade relativa do ar, ocorreram maiores níveis de ruído vermelho nos sinais, pois aconteceram mudanças mais bruscas nas temperaturas do ar e umidades relativas do

ar nas referidas épocas (SILVA, 2015); ficando por sua vez, sugestivo de aumento dos níveis de ruído vermelho ocorrerem em períodos secos.

As rotinas utilizadas foram rotinas livres com três algoritmos distintos, que calcularam respectivamente as TWC, as TWX, e as CW. Essas rotinas estão disponíveis nos ANEXOS deste trabalho. No entanto, foi criada uma outra função, chamada aqui de função de chamada, para simplificar o uso das demais, e está disponível no APÊNDICE deste trabalho.

A TWC permite que seus parâmetros de análise variem de acordo com as características de cada trecho do sinal, portanto, é uma função analítica capaz de capturar informações globais e locais de cada processo físico estudado. Como a wavelet-mãe utilizada foi a de Morlet, e os coeficientes da TWC forneceram valores significativos para cada sinal próximo a uma determinada escala, o eixo horizontal do escalograma representa o domínio temporal (eixo das translações Wavelet) e o eixo vertical as escalas conforme a Wavelet utilizada. Esses escalogramas são mapas de cores representando os coeficientes Wavelets encontrados. A função CTorrence, citada anteriormente, foi utilizada para o cálculo do Espectro de Potência Global EPG, um gráfico utilizado para representar as escalas dominantes no sinal; o qual não pertencia ao algoritmo e função JGrinsted utilizado até então, sendo adaptado um script para obtenção das informações em altas e em baixas frequências. A separação destas frequências pode ser observada pela linha pontilhada que possui especificação de 95% de confiança, acima desta, se encontram as altas frequências delimitadas pelo filtro. Esse gráfico mostra as densidades de energia nos domínios temporais mais frequentes de forma mais direta. A partir da Figura 21, trazem-se as Wavelets para as Frações 1 e 2 estudadas.

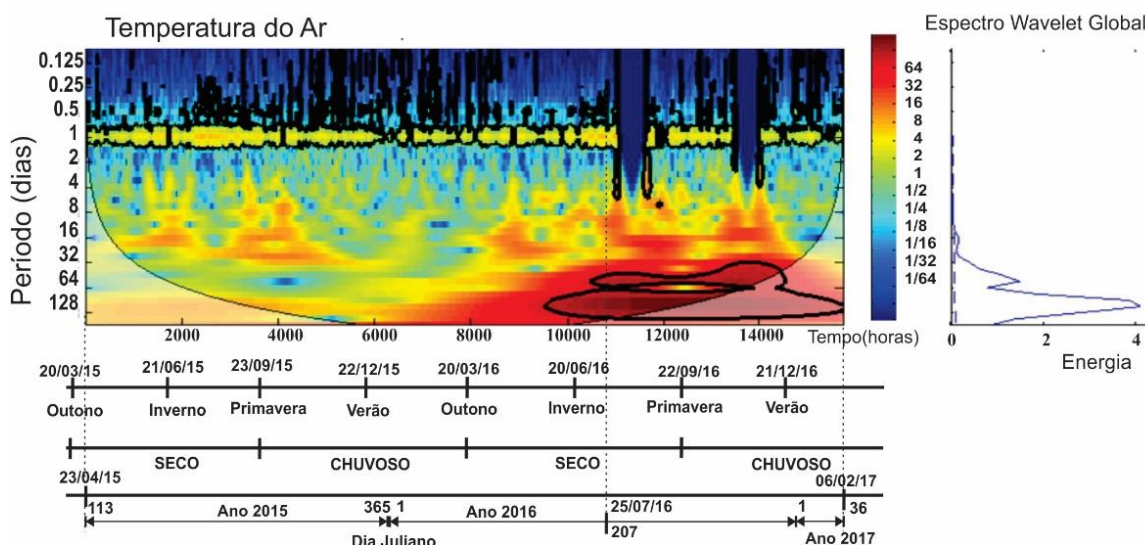


Figura 21 - TWC de temperatura do ar original para Fração Urbana 1, com escalograma, espectrograma e linha do tempo

A Figura 21 apresenta a TWC para variável temperatura do ar, entretanto, faz-se as seguintes considerações:

- As falhas foram identificadas pelo algoritmo, pois não existiam valores nas posições, e foram respeitadas as sequências das matrizes para que as falhas aparecessem visualmente. Observa-se que nestas condições, o algoritmo reuniu em cor vermelho escuro os coeficientes acima de 95% de coerência wavelet, reunindo as falhas. Deve-se observar ainda que:
- Mesmo com uma falha na Fração Urbana 1, (Figura 21) e duas falhas na Fração Urbana 2, (Figura 22), visíveis nos escalogramas, eles indicam a sazonalidade dos outros elementos: o final de período seco, todo o período chuvoso, bem como, os períodos seco e chuvoso subsequentes, e as periodicidades encontradas dentro deles;
- Para as séries recortadas somente houveram interferências nas próprias bordas das falhas nos escalogramas, o restante das mesmas permaneceu praticamente ao que eram, considerando a distribuição e o colorido dos coeficientes nos escalogramas.

Estes fatos demonstram a versatilidade da ferramenta, pois as falhas ocorridas e observadas nas séries originais de dados, não inviabilizaram a utilização de parte das séries temporais, as aqui chamadas de séries recortadas, bem como, não inviabilizaram as análises.

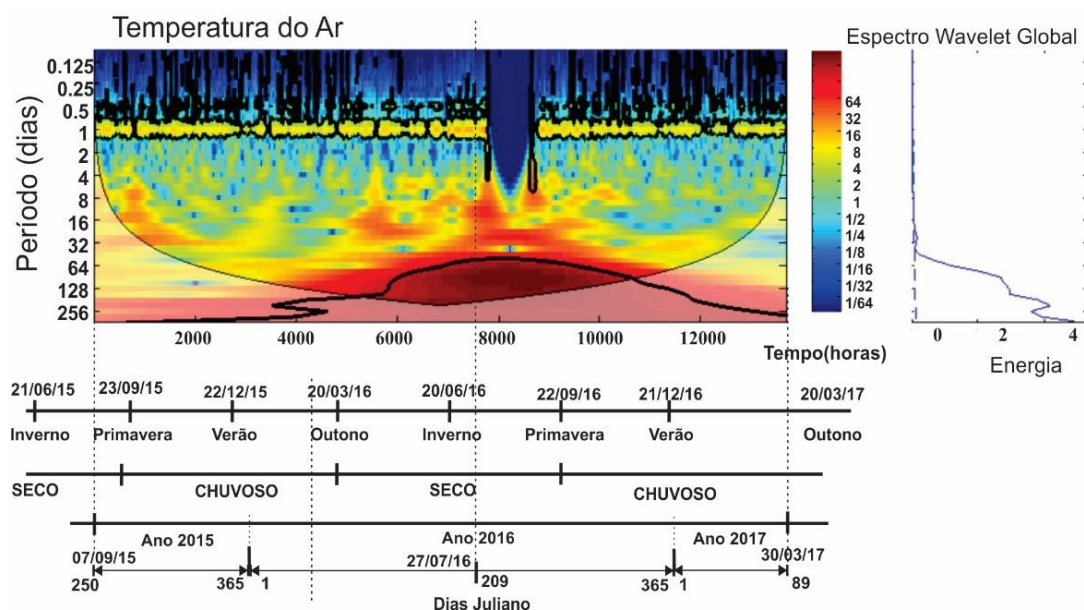


Figura 22 - TWC de temperatura do ar original para Fração Urbana 2, com escalograma, espectrograma e linha do tempo

Com as séries recortadas, (Figura 23), por exemplo, foram executados todas as TWC, TWX e CW para as análises horárias e diárias. Pelas propriedades elementares da Wavelet de Morlet, linearidade, conservação de energia, covariância e localização no espaço e na escala, bem como, nas condições de admissibilidade, similaridade, inversibilidade e regularidade, conforme Addison (2017), Farge (1992), Collineau e Brunet (1993) e Breaker et al., (2001), a TWC resulta em um escalograma colorido de energia anual médio. Para a Fração Urbana 1 possibilita análises diárias e sazonais, e essas frequências urbanas encontradas foram compatíveis com o comportamento sazonal do cerrado do Centro-Oeste Brasileiro, esses escalogramas e espectrogramas Wavelets foram visualizados por meio das Figuras 23 e 24.

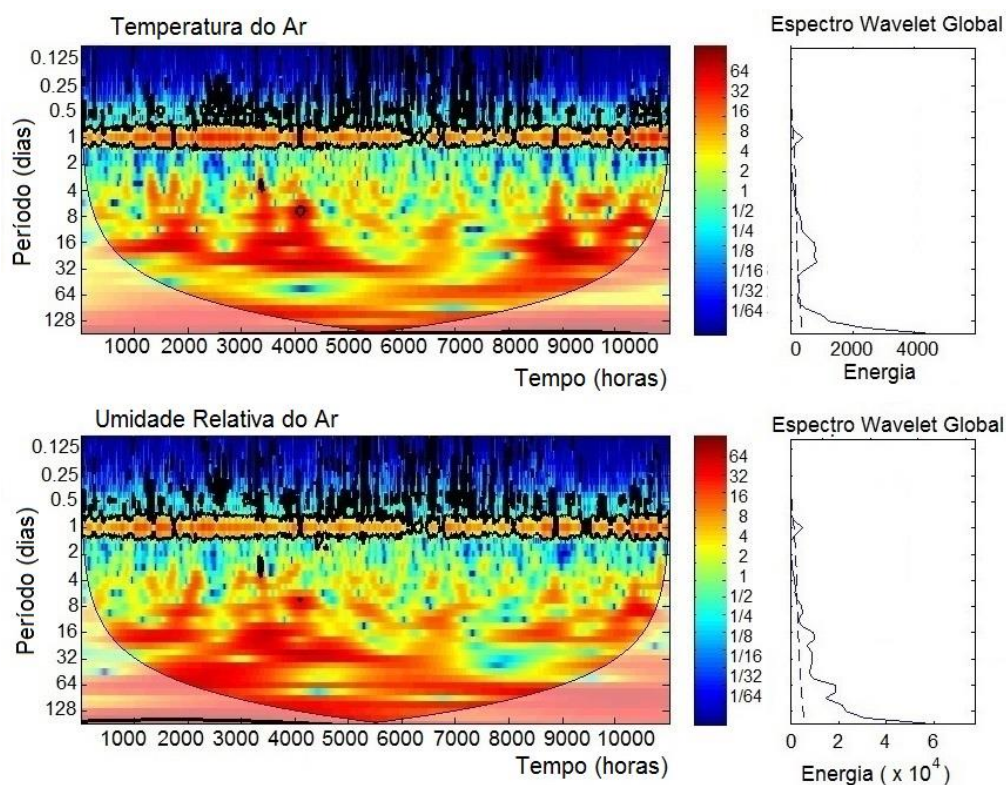


Figura 23 - TWC de temperatura do ar e umidade relativa do ar recortadas, Fração Urbana 1

A TWC para temperatura do ar, inicialmente, indicou o ciclo diário de 24 horas de rotação do planeta representado por meio do período de 1 dia, que se estendeu por todo domínio temporal (eixo x do escalograma). Destaca-se após, as áreas vermelhas (aglomerados vermelhos) do escalograma, que representam os altos níveis de significância dos coeficientes. O aglomerado vermelho mais à esquerda e parte do aglomerado vermelho à direita dele (próximos a 3500 horas), se mostraram como período seco do ano de 2015, a outra parte do aglomerado à direita dele é sugestivo do intermediário seco-úmido. O período seco do ano de 2016, está locado a direita do escalograma, a partir de 8000 horas. Entre os períodos secos, encontra-se o período chuvoso. Este é representado por alguns aglomerados alaranjados que possuem aglomerados amarelos ao seu redor, indicando o decréscimo dos níveis de significância dos coeficientes, esse processo se encerra nos aglomerados esverdeados a azuis, onde não se consideram mais as significâncias. Enfim, se conhece, visualiza e mensura matematicamente as quantidades de energia desses ambientes por meio das significâncias dos coeficientes encontrados para cada série temporal por meio da TWC; isto quer dizer ainda que, no ambiente da Fração Urbana 1, as áreas coloridas

(principalmente as vermelhas escuro) representam a periodicidade com que esses coeficientes aconteceram; se alta significância, acontecem mais, ou melhor dizendo, se repetiram mais. Essa constatação, sugeri o comportamento das temperaturas do ar e das umidades relativas do ar nas regiões para os períodos estudados e que, foram condizentes com a sazonalidade da região.

O período seco de 2016 iniciou-se em um intermediário úmido-seco (7800 horas aproximadamente), e o período seco propriamente dito (próximos a 8300 horas). O aglomerado da direita, representa o período seco subsequente ao primeiro. Cabe ressaltar-se aqui que, como se trabalhou com séries temporais ao longo de determinados períodos, por exemplo, o período de 22 de março de 2016 até 25 de julho de 2016, o referido período seco de 2016, com relação à série recortada que foi de 23 de abril de 2015 a 25 de julho de 2016, a determinação por quantidades de horas ao longo do domínio temporal do escalograma atuou de forma simplificadora, facilitando as análises.

A percepção do ambiente natural entre períodos seco e chuvoso foi bem suportado pelas análises wavelets. A literatura relata exemplos desses tipos de análises, em que os domínios temporais estudados foram de vários anos com o uso de médias mensais e até mesmo anuais, (TORRENCE & COMPO, 2008). Além disso, como se trabalhou com médias horárias, obtidas de doze medições de 5 em 5 minutos, foram obtidos conjuntos de dados bem expressivos, o que corroboram as análises. Ressaltam-se que: considerando os períodos secos e chuvoso, das séries de umidade relativa do ar por exemplo, foram mantidas as significâncias dos coeficientes. Percebe-se claramente ainda, que, os aglomerados vermelhos se mantêm por todo o domínio temporal da série, representando matematicamente em forma de coeficientes wavelets, a periodicidade dos fenômenos preponderantes da série. A inversibilidade física entre temperatura do ar e umidade relativa do ar está presente no escalograma, quer dizer, foi visualizada e interpretada pelos posicionamentos contidos nele. Ao que se refere ainda à inversibilidade, a qual se encontram os máximos coeficientes de temperatura do ar, por sua vez, se encontram os mínimos coeficientes de umidade relativa do ar. Estes fatos são ressaltados pela relação de defasagem de (180°) entre as variáveis de temperatura do ar e umidade relativa do ar, a serem verificadas por meio da Figura 31 do item 4.3.2, mais adiante. Considerando ainda a TWC da umidade relativa do ar

quanto ao período chuvoso acrescenta-se que: como se sabe que a quantidade de vapor d'água nessas épocas do ano são superiores, foram normalmente aumentados os coeficientes naquela época também; entretanto, as definições dessas áreas de energia ficaram sujeitas às diferentes análises não abordadas neste trabalho por não serem objetivos do mesmo.

Do lado direito dos escalogramas, (Figura 23) por exemplo, encontram-se as paletas de cores utilizadas que, possuem distribuição logarítmica atrelada a significancia das amplitudes dos coeficientes encontrados pela TWC, acopladas aos algoritmos (ADDISON, 2017). Foram verificadas ainda as fronteiras do espectro, onde o cone de influência COI foi definido, para ruído branco de fundo nas áreas circuladas em cor preta no domínio temporal (ADDISON, 2017), (TORRENCE & WEBSTER, 1999). Este fato foi bem evidente, para a variável vento conforme Figura 24.

Os espectrogramas wavelets à direita das palhetas de cores (Figura 24) por exemplo, são os espectrogramas de Potência Global EPG, que forneceram os gráficos das variâncias globais sendo interpretado como a contribuição da energia na escala, ou seja, da energia total da função Morlet em relação ao tempo. A linha tracejada demarcatória, informa que acima dela, encontram-se localizadas as altas frequência e abaixo dela as baixas frequências, capturadas através dos sinais das variáveis aqui estudadas. Visualizar-se-á da seguinte maneira, olhando os aglomerados vermelhos dos escalogramas, corre-se o olhar ao espectrograma, local onde as frequências estão demarcadas (DOMINGUES et al., 2016).

Para a variável vento da Fração Urbana 1, Figura 24, a periodicidade do ciclo diário não foi efetivamente uniforme ao longo do domínio temporal estudado. Ocorreu um pico na alta frequência no espectro de potência EPG. Este pico sugeriu, um aumento na quantidade de energia, possivelmente gerado pelo aumento nos ventos de convecção (BIUDES et al., 2009). Para o período seco do ano de 2016, as oscilações diárias de 24 horas para o escalograma de vento, foram praticamente inexistentes. Os aglomerados vermelhos do domínio temporal relativos a esses períodos secos, apresentaram variadas periodicidades por todo domínio temporal, indicativos de recorrências dos ventos de convecção, típicos desta época do ano (MOREIRA, 2000). O espectrograma para a variável vento, mostra esses eventos, como, de alta frequência. Considerando a Fração Urbana 1, como de topoclima com presença de um rio, os

ventos da região se tornam mais canalizados horizontalmente, e ascencionais (AYOADE, 2007). Observando-se as variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar, em relação a variável vento, não houveram dissonâncias entre os comportamentos sazonais. Observa-se no escalograma (Figura 24) que apesar das baixas velocidades de vento da região, essa variável é perfeitamente identificada. Os aglomerados vermelhos estão circulados em preto, significando, que os coeficientes ali representados estão com significância estatística acima de 95%. Além disso, o período chuvoso é visualizado entre 6000 a 8500 horas, indicando a falta de coeficientes significantes.

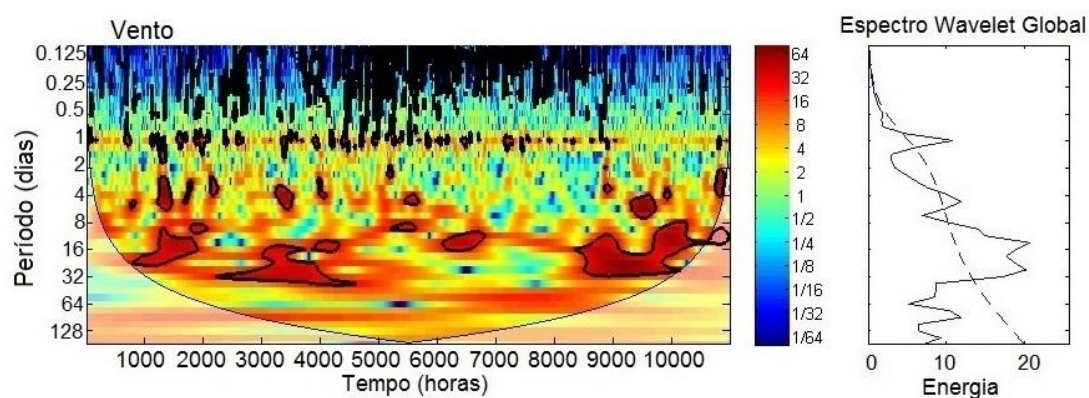


Figura 24 - TWC da série recortada de vento, Fração Urbana 1

As Figuras 25a, 25b e 25c trazem as TWC das variáveis estudadas para o período seco do ano de 2015 e período seco do ano de 2016, para a Fração Urbana 1. As Figuras 25a, 25b e 25c mostram as análises realizadas, considerando as periodicidades quinzenais das variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar, para o período de 23 de abril de 2015 a 22 de setembro de mesmo ano. Os escalogramas demonstram, que, somente na escala horária, essas periodicidades quinzenais se mostraram mais marcantes; apresentando, picos mais significativos na alta frequência. Acredita-se, se tratar de periodicidades dominantes. Este fato é sugestivo, do comportamento oscilatório dos dados como: distúrbios dos sinais, não estacionariedade, outras singularidades, e transientes no sinal analisado (ADDISON, 2017). Sendo assim, as fases dos coeficientes wavelets indicaram as variações apresentadas apenas nas regiões de maior energia, identificando mais adequadamente as regiões de descontinuidade dos sinais, por exemplo, e considerando quais sinais foram realmente significativos.

Na TWC da Figura 25a, quanto as variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar com referência ao ciclo diário, essas periodicidades se mostraram mais marcantes do que o comportamento citado para as TWC da Figura 23, por todo domínio temporal. Observou-se, ainda, periodicidades de quatro e de oito dias, em ambas as TWC, mas, deve-se ter cuidado em classificá-las como recorrentes e ou dominantes, por conterem menores níveis de significâncias. Os ambientes urbanos podem conter traços de atividades humanas temporárias, não pertencentes às mudanças do movimento da atmosfera de fato, não significando recorrências. Um exemplo sugestivo, seriam as escavações para a instalação de uma edificação de médio porte com duração de seis meses; haveriam mudanças no microclima durante aquele período, mas, analisando-se mais a longo prazo, alguns anos antes e depois da implantação da obra, aqueles comportamentos não seriam recorrentes, não seriam condizentes com os padrões observados para região.

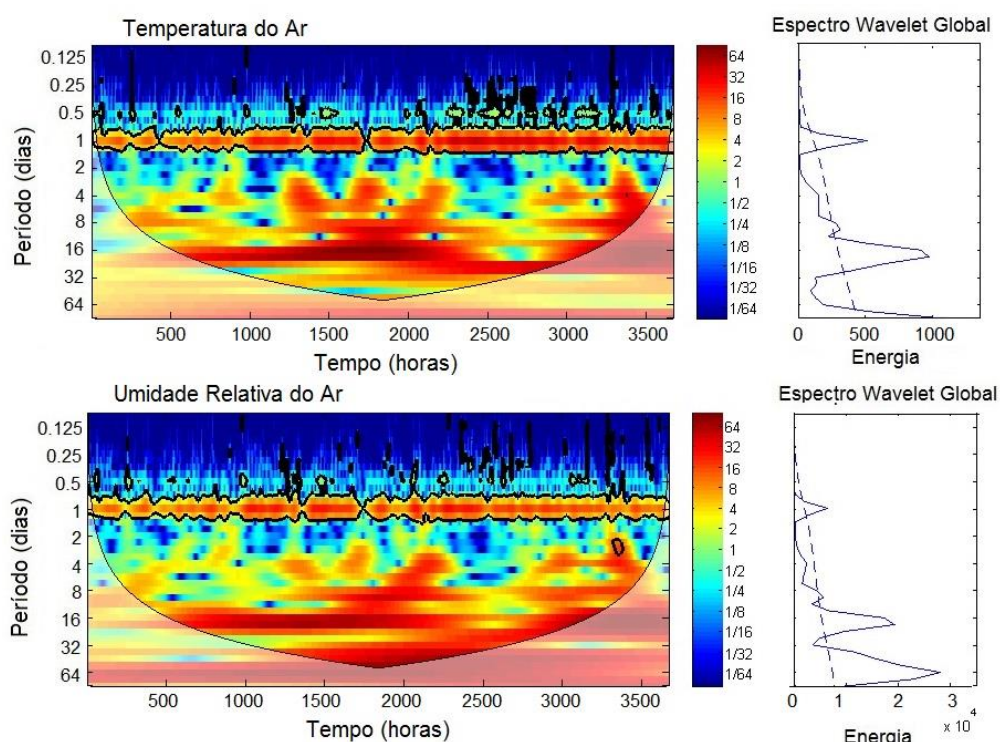


Figura 25a - TWC de temperatura do ar e umidade relativa do ar, período seco do ano de 2015, Fração Urbana 1

Assim, verificando-se os escalogramas de todo o período seco (Figuras 25a, 25b e 25c), frente ao da série recortada (Figura 24), observa-se que as periodicidades foram mantidas. Domingues et al., (2017) ressaltam que a wavelet de Morlet por ser

complexa, captura e rastreia essas oscilações dos sinais, localizando esses eventos no tempo.

A identificação de periodicidades, que, aconteceram além das periodicidades do ciclo diário, ajudam no entendimento das possibilidades das ferramentas wavelets utilizadas neste trabalho. A cidade de Cuiabá, por possuir clima quente-úmido no verão e quente-seco no inverno, e ainda, por apresentar altos picos de temperaturas nas horas mais quentes do dia, alimentam os quadros de elevado desconforto urbano (MACIEL, 2011), (RIBEIRO, 2016). Surgem-se, justificativas para análises mais detalhadas do comportamento desses microambientes e ou topoclimas, principalmente, quando se observam o desenvolvimento urbano e as ações antrópicas na condição de entendê-los melhor (BIUDES et al., 2009), (MORAES, 2013).

As Figuras 25b e 25c mostram as TWC da variável vento para todo o período seco da série do ano de 2015 e do ano de 2016. Confirmam-se, as observações referentes às TWC das séries originais (Figura 22), e séries recortadas (Figura 24), relativas ao ciclo diário; bem como, para temperatura do ar e umidade relativa do ar, Figura 25b. Confirmadas, também, as periodicidades relacionadas ao período seco de temperatura do ar e umidade relativa do ar, bem como, da periodicidade quinzenal a elas referentes, com alta recorrência, reafirmando uma periodicidade dominante; nesse contexto os valores menores que 4 dias, por exemplo, não foram interpretadas como periodicidades dominantes.

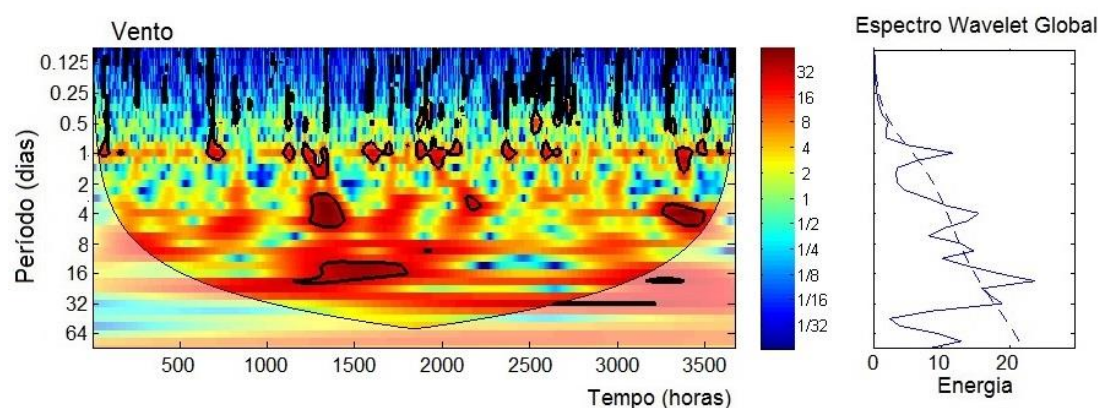


Figura 25b - TWC da série de vento, período seco da Fração Urbana 1, ano de 2015

No período seco do ano de 2015, as temperaturas do ar foram elevadas, e as umidades relativas do ar na maior parte do tempo foram baixas. Essas variações um pouco mais bruscas entre temperatura do ar e umidade relativa do ar, aliadas, à pequena variação

da pressão atmosférica, requerem cuidados na interpretação, pois podem pertencer às variações específicas dos ambientes urbanos.

O espectrograma para a variável vento informa as altas frequências das periodicidades dominantes conforme Figuras 25b e 25c. Sugerem-se, novamente, o aumento da turbulência do ar, o que ficou demonstrado por meio do escalograma e espectrograma. A Figura 25c confirmou ainda, os coeficientes significantes indicativos da presença de periodicidades quinzenais em alta frequência, para o segundo período

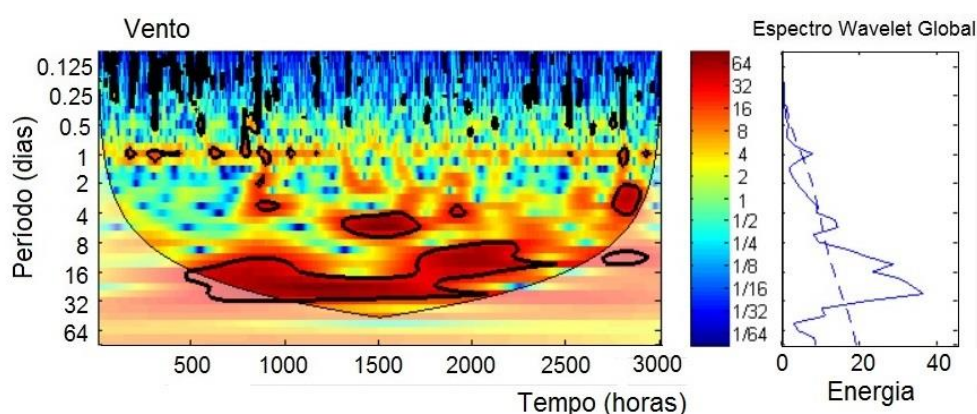


Figura 25c- TWC da série de vento, segundo período seco da série da Fração Urbana 1, ano de 2016.

seco das séries da Fração Urbana 1, para a variável vento; que fora visualizado também pela Figura 24.

Para as variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar para a estação seca do ano de 2016 da Fração Urbana 1, conforme (Figura 26), o escalograma da temperatura do ar demonstrou as periodicidades diárias e quinzenais em alta frequência, encontrou-se menores significâncias para a umidade relativa do ar.

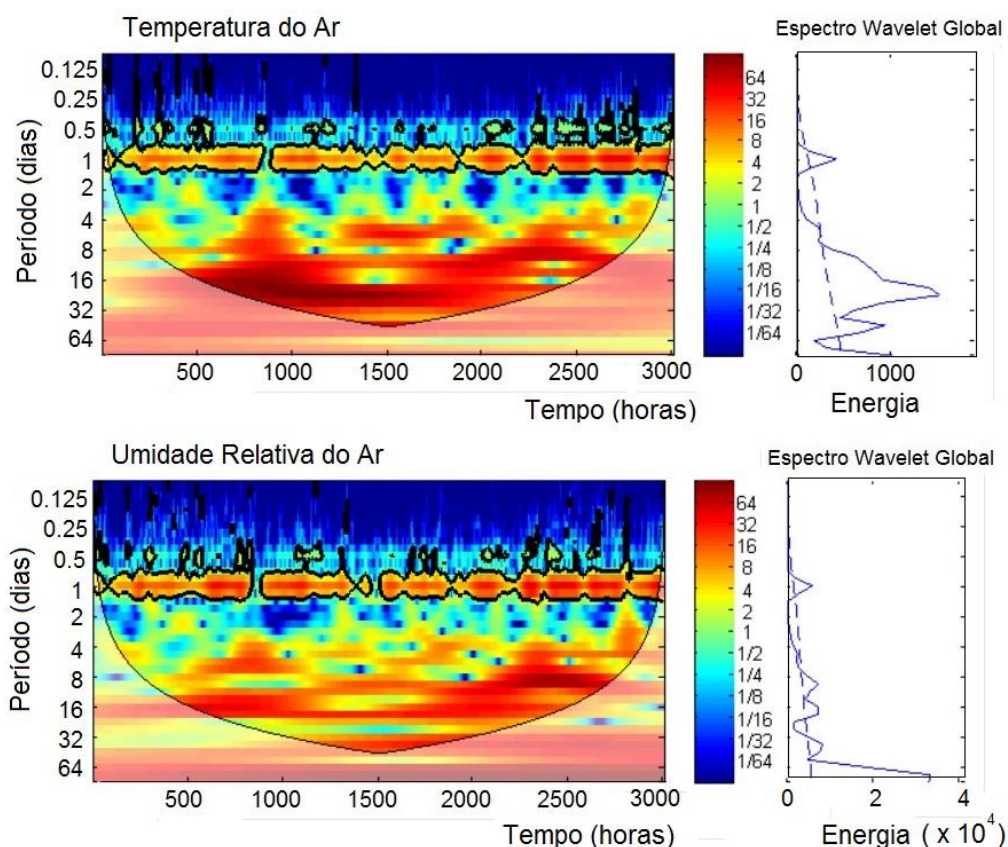


Figura 26 - TWC de temperatura do ar e umidade relativa do ar, segundo período seco da série, ano de 2016, Fração Urbana 1

Do exposto até agora, ficou sugestivo, na interpretação da TWC da Fração Urbana 1, a admitir-se, que no período chuvoso, como se sabe que a quantidade de vapor d'água na atmosfera é mais expressiva do que no período seco; supõem-se, que os outros fluxos, como os fluxos de massa como CO₂, e O₂, por exemplo, e todas as atividades estomatais das plantas nesses ambientes, como a evapotranspiração e os balanços de energia, estejam presentes (ANDRADE et al., 2009). No entanto, os mesmos não se encontram representados aqui, apenas, admitidos para fins de análises do ambiente. Reafirmam-se, que os processos físicos do ambiente e os processos estomatais das plantas, não permitem, que, esses, sejam visualizados sem as análises de fluxos de carbono, por exemplo; é interessante ressaltar que, as ferramentas wavelets podem ser utilizadas também nessas situações.

Seguem-se as investigações da Fração Urbana 2. A Figura 27 dispõe as TWC de temperatura do ar e umidade relativa do ar recortadas para Fração Urbana 2. Quanto

a temperatura do ar e a umidade relativa do ar, encontraram-se periodicidades diárias por todo domínio temporal, com picos na alta frequência.

Periodicidades de 8, 16 e 32 dias, visualizadas no aglomerado vermelho escuro, da esquerda do escalograma de temperatura do ar, relativas ao final do período seco de 2015 e início de período chuvoso de 2016, por volta de 800 a 1000 horas; a sazonalidade entre períodos seco e chuvoso, ficaram visíveis por conta das periodicidades de 16 e 32 dias repetidas no aglomerado vermelho escuro, no domínio temporal entre 5000 e 6000 horas no período seco do ano de 2016.

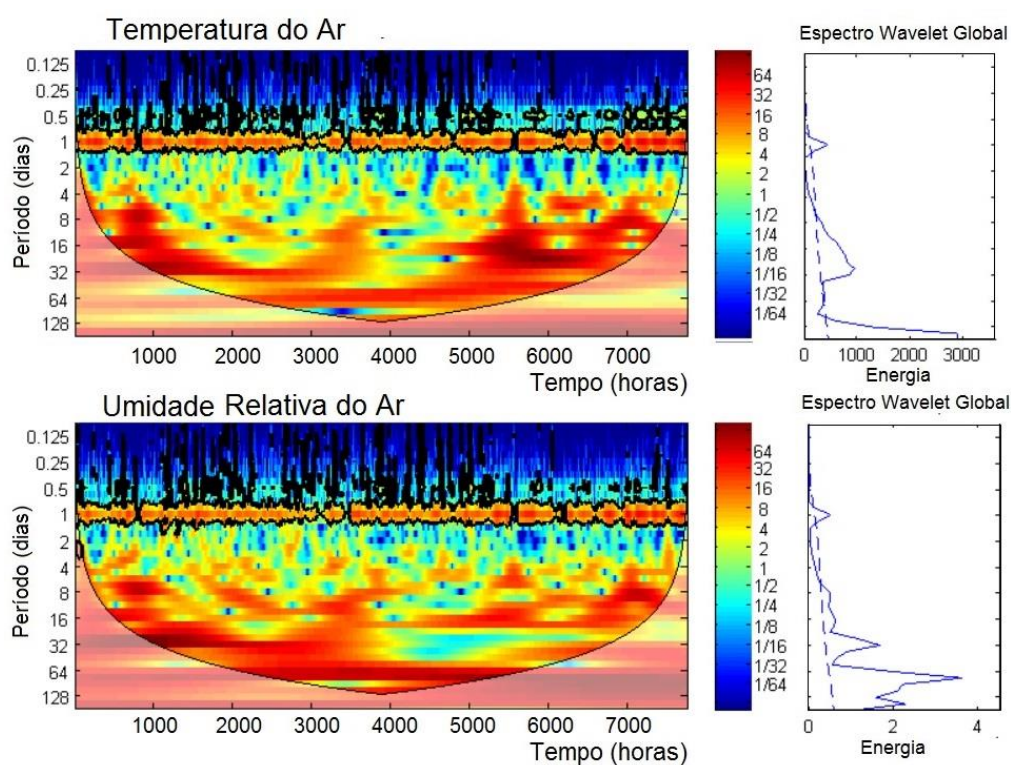


Figura 27 - TWC de temperatura do ar e umidade relativa do ar recortadas, Fração Urbana 2

Deduz-se, que, em ambos os períodos secos, as frequências relativas aos sinais permaneceram na alta frequência. Sendo assim, só foram encontradas periodicidades dominantes quinzenais para temperatura do ar.

Para o período chuvoso dessa série, não houveram periodicidades dominantes. Percebe-se, um aglomerado alaranjado por volta de 2800 a 3500 horas do domínio temporal, mas, que, se considera sem regularidade. Para a série de umidade relativa do ar, foram, observadas, apenas as periodicidades de 8 e 32 dias no período seco de 2015.

Reafirma-se para esta série, periodicidades dominantes quinzenais. Concebe-se, novamente, variações específicas urbanas temporárias, que, surgiram evidenciando incrementos de temperaturas do ar, principalmente, para o período chuvoso; o que também, é, verificado pelo escalograma da umidade relativa do ar.

Esse comportamento compatível entre escalogramas de temperatura do ar e umidade relativa do ar, descreve, a inversibilidade das variáveis em forma de coeficientes wavelets. Matematicamente falando, os módulos dos coeficientes wavelets mostram a amplitude desses sinais, e a densidade da energia fornecida por eles (ADDISON, 2017), (MACIEL, 2011). Por meio da linha do tempo, Figura 20 foram identificados, que, os aumentos de ruído vermelho nas séries, ocorreram nos mesmos domínios temporais identificados nos gráficos de variância anual móvel das TWC.

A Figura 28 indica a TWC de vento, para Fração Urbana 2. Para as periodicidades encontradas da série de vento, tem-se: uma recursão diária conforme ciclo do planeta, com pico na alta frequência para os períodos seco e chuvoso, do ano de 2015; para o período seco do ano de 2016, a periodicidade diária não foi estabelecida. Sugeriu-se, para este fato, o aumento da turbulência do ar, que, podem ser agravados pelos fenômenos de inversões térmicas, trazidos pelas massas de ar, por exemplo. Bem como, periodicidades de 16 e 32 dias, em domínio temporal de 500 a 2500 horas para o início do período chuvoso do ano de 2015, na baixa frequência.

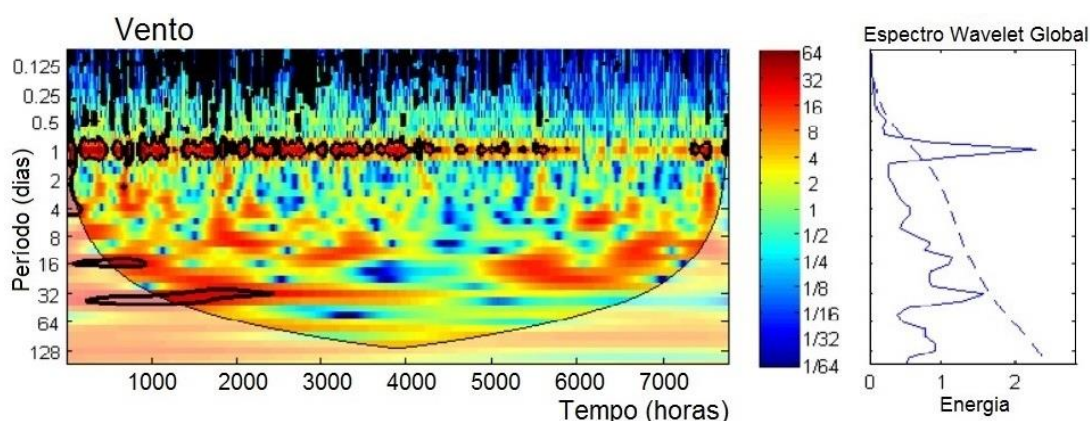


Figura 28 - TWC da série de vento recortada, Fração Urbana 2

Corroborando estes fatos, tem-se, a periodicidade do ciclo diário, que, se apresentou em cor amarela, também circulada em preto, representando baixa

correlação dos coeficientes wavelets recorrentes. Todas essas frequências e potências nos diferentes domínios temporais, fizeram parte da dinâmica das variáveis em situações particulares da Fração Urbana 2, e seu entorno. Lembrando ainda que os elementos de atuação temporária fazem parte da dinâmica de um ambiente, devendo, portanto, serem observados.

Os gráficos das variâncias móveis anuais, corroboraram os resultados analisados, sendo que novamente, o comportamento sazonal entre período seco e chuvoso foi observado, além, das periodicidades diárias e quinzenais.

Analisando-se, as Frações Urbanas 1 e 2, entre os anos de 2015 e 2016, pode-se dizer que, possuem um comportamento semelhante quanto a temperatura do ar e umidade relativa do ar, tanto para o período seco, quanto para o período chuvoso. Os escalogramas da Fração Urbana 2, sugerem, um período chuvoso com temperaturas mais altas, do que, da Fração Urbana 1; isto é, sugestivamente mais quente por ser um topoclima em região urbana mais densamente povoada (GARTLAND, 2010). Pode-se dizer, ainda, que os elementos climáticos estão obedecendo a ritmos próprios, ligados aos microclimas existentes, (PRADO, 2017). Quanto ao comportamento do vento para período seco e chuvoso, diz-se, que, existem semelhanças entre os escalogramas das TWC de vento, entre as Frações Urbanas 1 e 2. Quanto aos espectrogramas, a Fração Urbana 1 apresenta altas frequências, sendo que, a Fração Urbana 2, apresenta baixas frequências. Esse comportamento para a variável vento era esperado, por trata-se de uso e ocupação de solos diferentes.

As Figuras 29 e 30 trazem as TWC, das variáveis estudadas sob análise das periodicidades quinzenais, para o período seco do ano de 2016 na Fração Urbana 2.

A Figura 29 mostra as análises, realizadas para o período de 23 de março de 2016 a 27 de julho do mesmo ano. O escalograma da temperatura do ar demonstra que na escala horária, a periodicidade quinzenal se mostrou marcante, apresentando picos mais significativos na alta frequência; acredita-se, que, trata-se de periodicidade dominante.

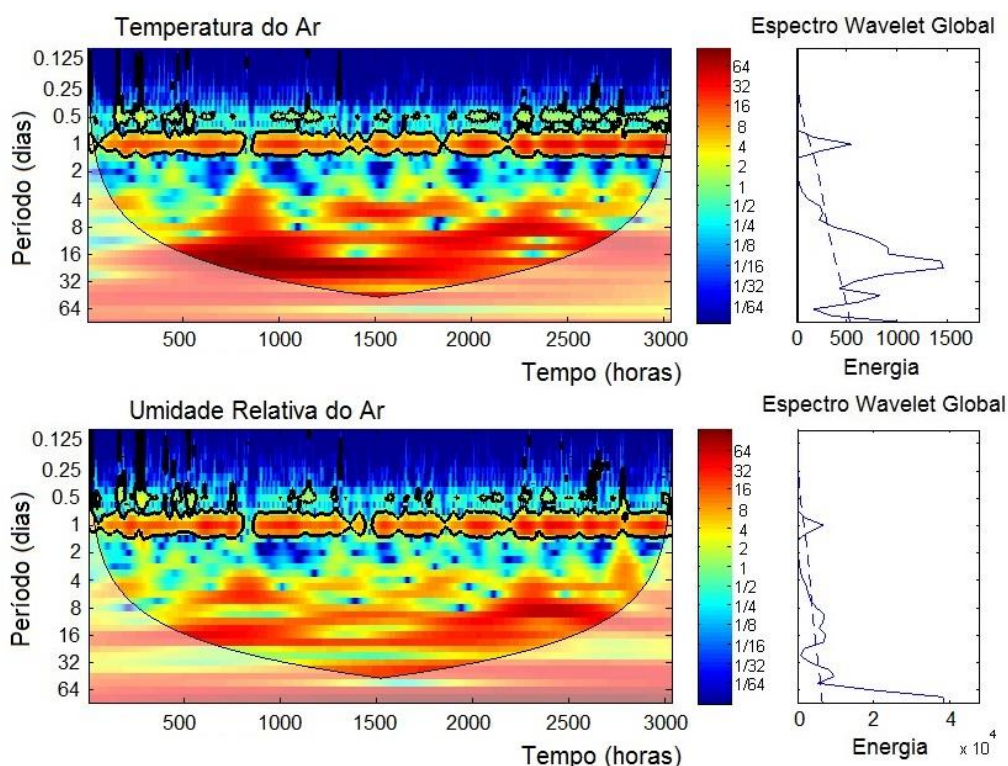


Figura 29 - TWC de temperatura do ar e umidade relativa do ar, período seco do ano de 2016, Fração Urbana 2

O escalograma de umidade relativa do ar não apresentou a periodicidade quinzenal como dominante, como era de se esperar, mas, o fato de haver ocorrido uma inversão térmica na época, desencadeou uma oscilação brusca, modificando o comportamento usual dos dias quentes. Seguiram-se dias com temperaturas baixas para Cuiabá, portanto, a periodicidade diária foi brevemente interrompida, e a periodicidade quinzenal da umidade relativa do ar não apresentou coeficientes coincidentes a ponto de formar áreas vermelho escuro; pois, com as temperaturas baixas, as umidades não estavam tão baixas, quanto estariam caso as temperaturas fossem altas. Estes fatos são sugestivos do comportamento sazonal dos dados, conforme, Addison (2017), e, Domingues et al., (2017). Observa-se, ainda, periodicidades de 4 e 8 dias, em ambas as TWC, mas, deve-se ter cuidado, em classificá-las como dominantes, por conterem menores níveis de energia.

O escalograma do variável vento indicado pela Figura 30, não demonstrou alterações novas; periodicidade diária em alta frequência, nas demais, alta significância em baixa frequência.

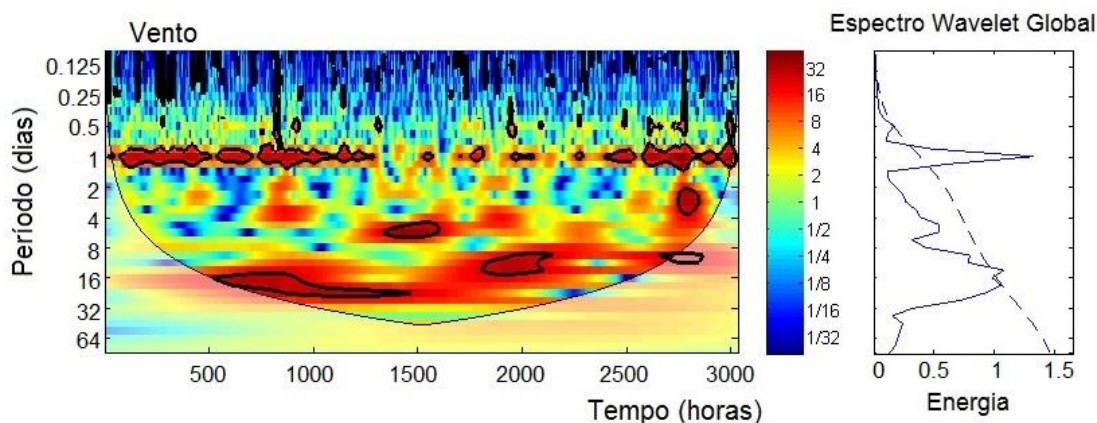


Figura 30 - TWC da série de vento, período seco do ano de 2016, Fração Urbana 2

Para os ambientes urbanos, repetidamente diz-se, que, podem conter traços de atividades humanas temporárias, não pertencentes às mudanças do movimento da atmosfera de fato, e não significando efetivas recorrências. Por fim, verificando-se os escalogramas de todo o período seco (Figura 25b), com os escalogramas das séries recortadas, Figuras 27 e 28, observam-se, que, as periodicidades foram todas mantidas, e a recorrência da periodicidade quinzenal também, portanto dominante.

4.3.2 - TWX Frações Urbanas 1 e 2

As Transformadas Wavelets Cruzadas TWX foram construídas a partir das séries originais de dados horários. A Figura 31 indica as médias diárias advindas das séries de dados das variáveis em médias horárias, em formação de conjuntos, pares de séries em apoio as análises das TWX para Fração Urbana 1.

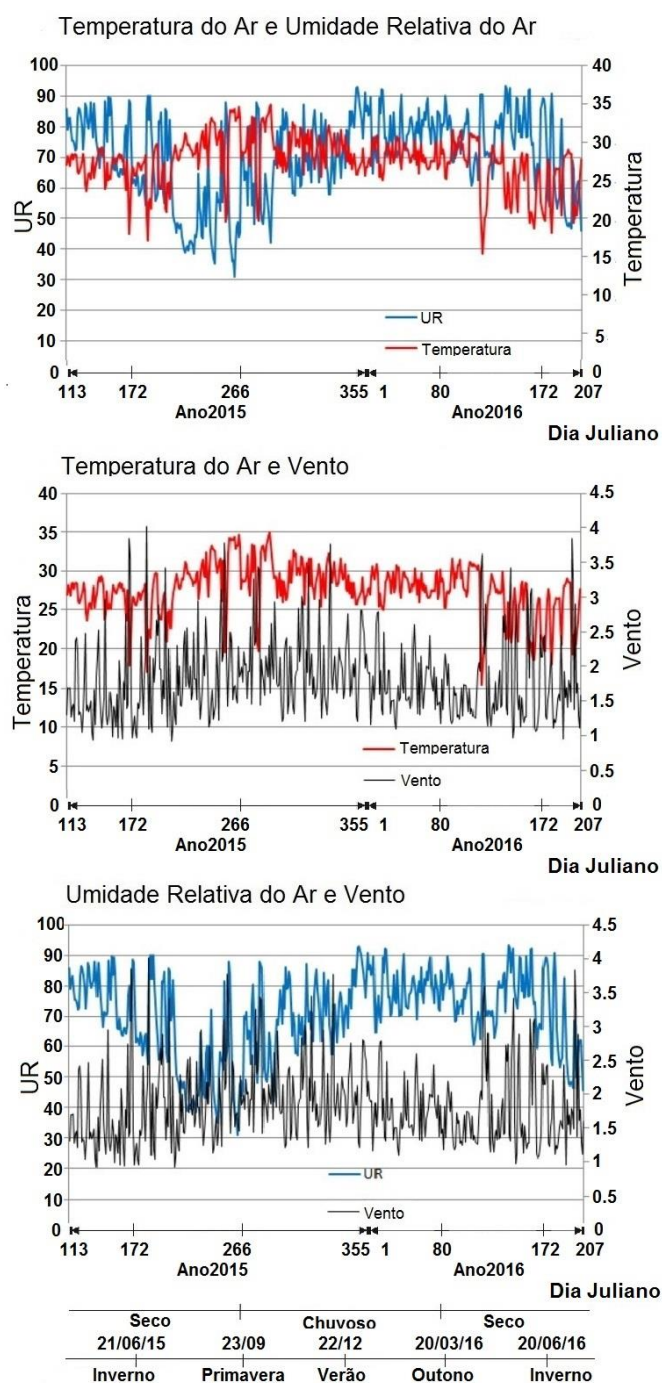


Figura 31 - Séries de dados das variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, médias diárias em conjuntos - Fração Urbana 1

As séries de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento foram cruzadas duas a duas, formando os escalogramas das Figuras 32a e 32b. A função JGrinsted testou as séries das variáveis, quanto as relações de fase entre elas, e verificou, a semelhança entre os dois sinais digitais (GRINSTED, MOORE, JEVREJEVA, 2004).

Por todo domínio temporal, encontraram-se, as áreas detectadas pelas inter-relações entre as variáveis, sendo que, a fase foi a medida da diferença entre os sinais. Para verificar significâncias das inter-relações entre variáveis, aplicou-se a Coerência Wavelet CW; essas áreas foram traduzidas em escala de cores pelo próprio algoritmo. As áreas circuladas em cor preta, indicam as verificações para nível de significância de 5% assumidas pelo algoritmo, quanto as relações de fase ou anti-fase no espaço tempo-frequência. Cabe ressaltar, que, essas áreas são representadas pela cor vermelho escuro, tanto para coeficientes indicativos de fases, como, para anti-fases. Esses coeficientes são identificados do maior (vermelho) para o menor (azul). As cores azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho claro, representam as áreas onde os coeficientes indicam situações intermediárias entre fase e anti-fase (TORRENCE & WEBSTER, 1999), (OLIVEIRA, 2006). Nestas condições, tratar-se-ão as regiões de energias coincidentes dessas áreas, por periodicidades.

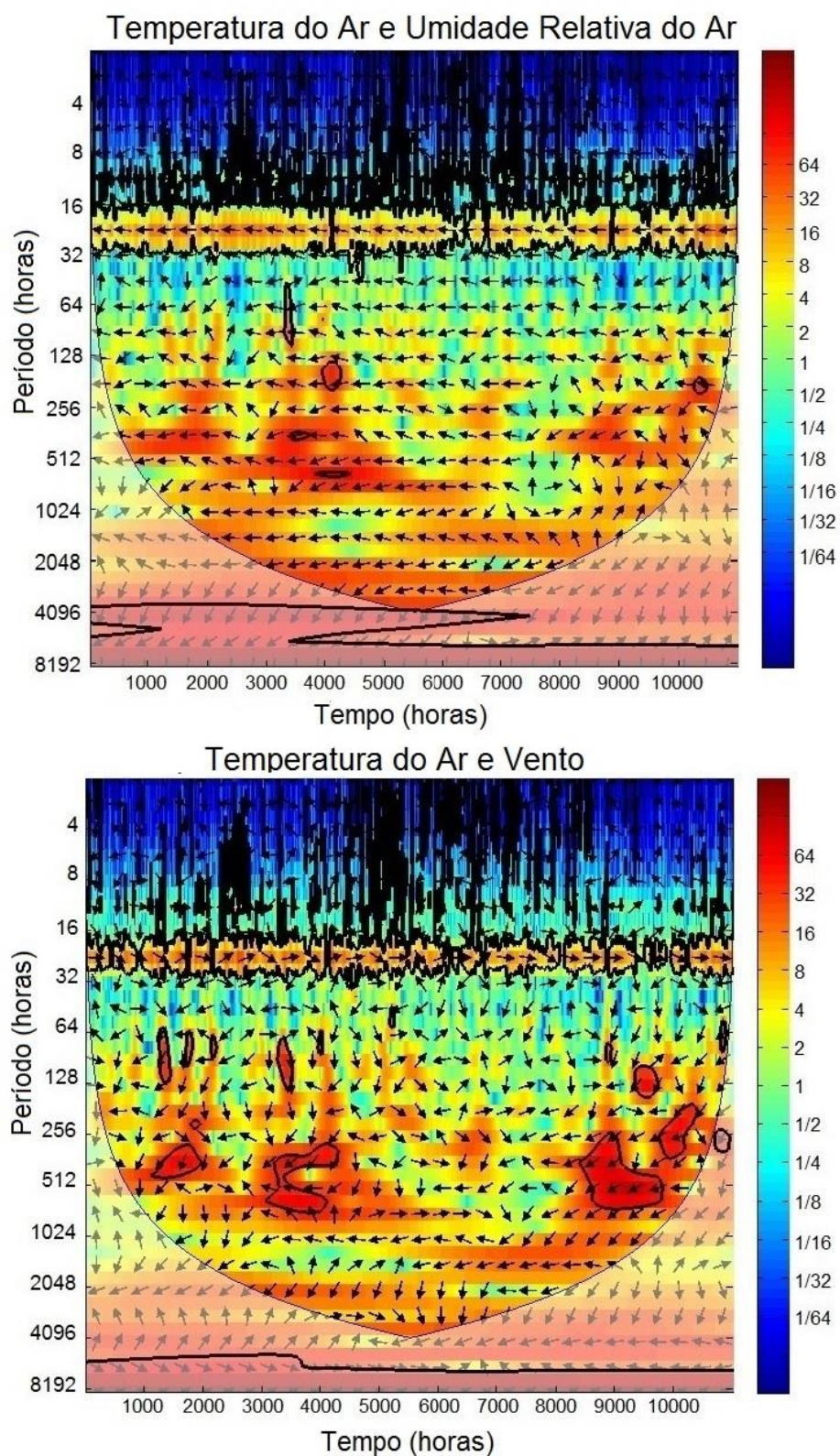


Figura 32a - TWX de temperatura do ar e umidade relativa do ar, temperatura do ar e vento, em pares - Fração Urbana 1

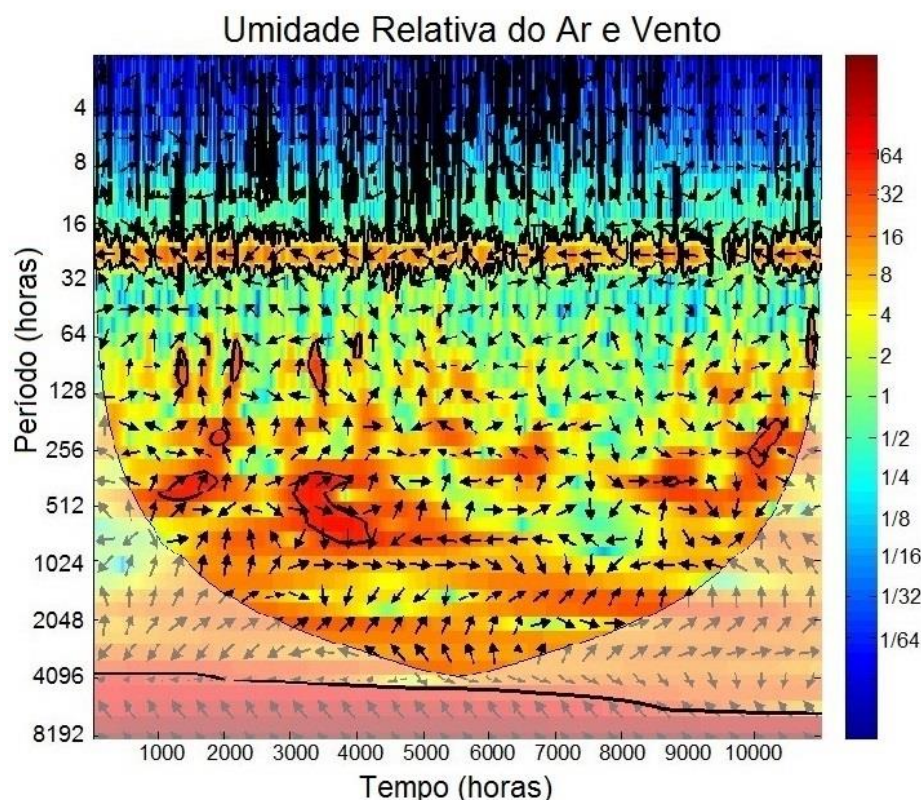


Figura 32b - TWX umidade relativa do ar e vento - Fração Urbana 1

Para a periodicidade dominante de 24 horas devido ao ciclo do planeta, e para todas as outras periodicidades, considerar-se-á, que: a variável temperatura do ar e a variável umidade relativa do ar, por exemplo, Figura 32a, estão em anti-fase, com setas indicativas da direita para a esquerda; caso as setas indicassem da esquerda para direita, as variáveis estariam em fase. Sendo assim, foram representadas pelas cores vermelho no centro e alaranjado e amarelo nas laterais, para todas as séries, todas as TWX da Figura 32b. Para a TWX de temperatura do ar e umidade relativa do ar, Figura 32a, foram observadas cinco pequenas áreas em vermelho escuro circuladas em preto nos centros dos aglomerados vermelhos, bem como, essas mesmas cinco localizações, se encontram nas demais TWX. Essas áreas sofreram um crescimento na análise da TWX de temperatura do ar e vento, Figura 32b, como também, um decréscimo na análise da TWX de umidade relativa do ar e vento; todas elas revelando periodicidades variadas, resultando mais notadamente, nas periodicidades quinzenais, para ambos os períodos secos. Da mesma forma, como já citado anteriormente, para o período chuvoso não houveram periodicidades recorrentes, devido a variabilidade de

um dos elementos mais importantes presentes na atmosfera, a água (MILLS et al., 2015), (ABREU, LABAKI & MATZARAKIS, 2015), (QUERINO, 2017), (GRIMMOND, 2006).

As Figuras 33a e 33b mostram as TWX que trazem os espectros de energia das séries originais cruzados, e formadores dos espectros resultantes nos escalogramas, para as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento para a Fração Urbana 2, para os anos de 2015 e 2016. Bem como, a Figura 34 indica as séries de dados em médias diárias em formação de conjuntos, em pares de séries para apoio das análises com as TWX para Fração Urbana 2.

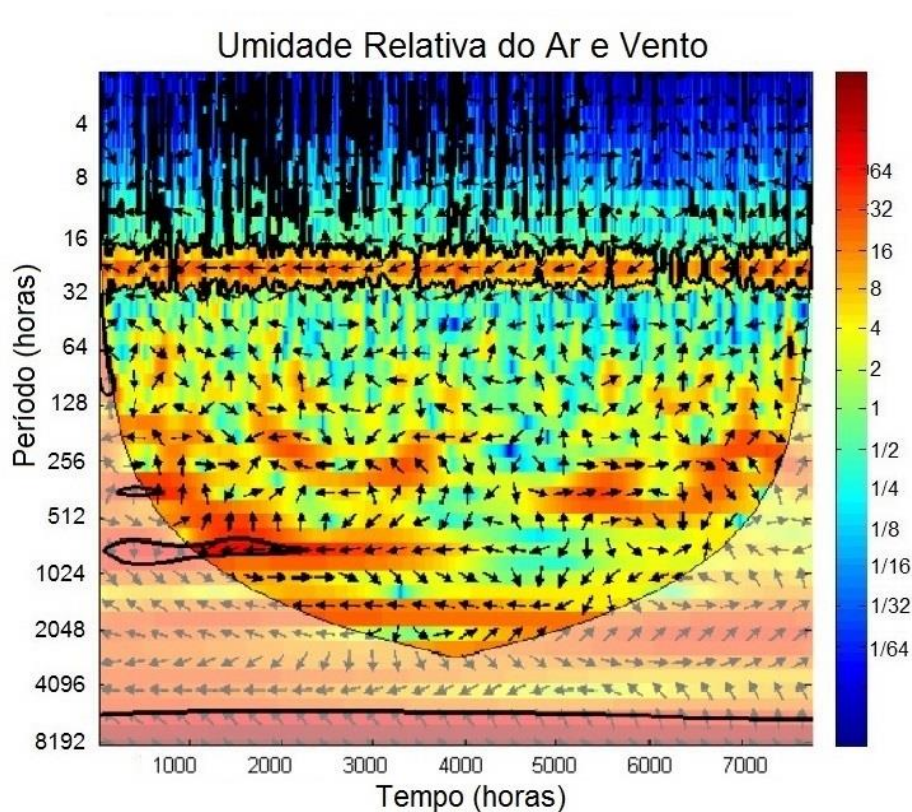


Figura 33a - TWX da umidade relativa do ar e vento, Fração Urbana 2

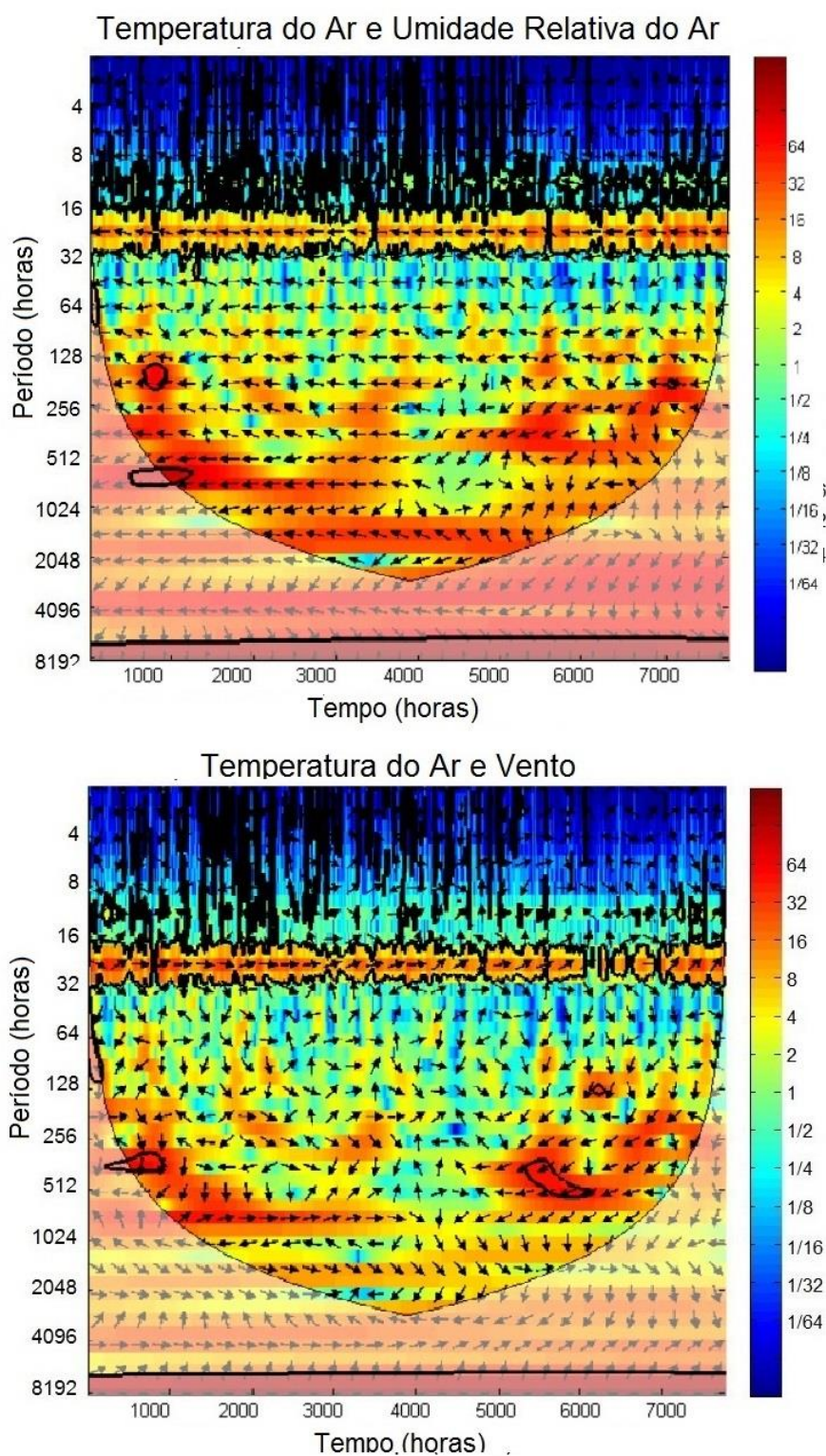


Figura 33b - TWX da temperatura do ar e umidade relativa do ar, temperatura do ar e vento, em pares - Fração Urbana 2

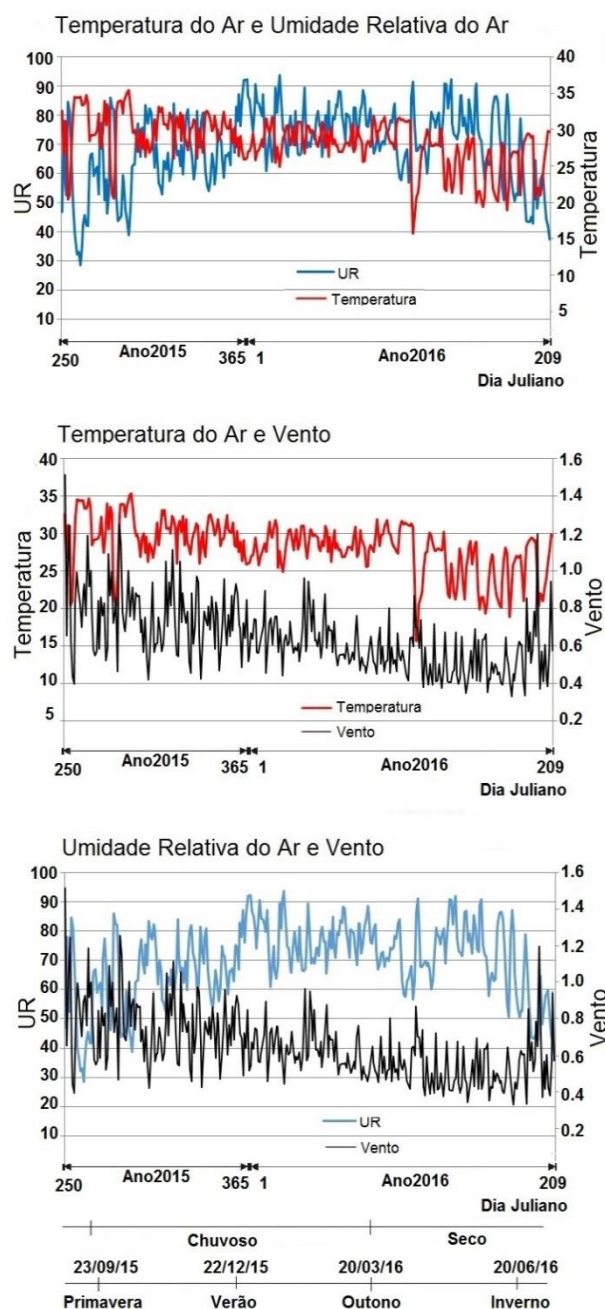


Figura 34 - Séries de dados das variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, médias diárias plotadas em conjunto - Fração Urbana 2

Assim, a periodicidade dominante de 24 horas foi encontrada em todas as TWX. Para a TWX de temperatura do ar e umidade relativa do ar, por exemplo, Figura 33b, as setas estão indicando da direita para a esquerda, quer dizer, os sinais estão em anti-fase. Isso não aconteceu na TWX da temperatura do ar e do vento, em que, as variáveis estão em fase, com setas indicando da esquerda para direita. Para a Fração Urbana 2, praticamente, não houveram outras periodicidades. Para TWX da temperatura do ar e

umidade relativa do ar, bem como, para a TWX de umidade relativa do ar e vento, Figura 33a, somente duas pequenas áreas vermelho escuro circuladas em preto foram encontradas no aglomerado da esquerda, para o período seco do ano de 2015; para a TWX de temperatura do ar e de vento, duas periodicidades aconteceram, uma em cada aglomerado vermelho escuro, para os dois períodos secos subsequentes. Nestas condições, não se pode definir periodicidades dominantes, apenas uma sugestão de comportamentos semelhantes entre os períodos. Já a sazonalidade entre períodos secos e chuvoso foram evidentes. Como Cuiabá pertence a uma região de baixas altitudes, e sob condições de invernos quentes e secos e verões quentes e úmidos, acredita-se, que, o comportamento foi semelhante à Fração Urbana 1. Salienta-se, que, como surgiu uma periodicidade de 12 horas, representada em cor verde, a mesma indica uma periodicidade sistêmica quando ao período de insolação. Sugere-se, cautela quanto aos resultados obtidos para a Fração Urbana 2, pois, existem condições específicas da mesma e de seu entorno.

4.3.3 - CW Frações Urbanas 1 e 2

As verificações das coerências wavelets CW foram realizadas conforme função JGrinsted. O algoritmo processou as séries das variáveis originais em pares, e seus resultados são indicados através das Figuras 35a e 35b para a Fração Urbana 1, e das Figuras 36a e 36b para Fração Urbana 2. Em todos esses gráficos, as setas indicam a diferença de fase entre os sinais. Setas para a direita indicam que não existe uma diferença de fase entre os sinais nas respectivas escalas e localizações; enquanto que as setas para a esquerda indicam diferença de fase de 180° entre os sinais, acusando uma anti-fase. Ou seja, o crescimento de um sinal foi e é correlacionado com o crescimento de outro, e acontece o mesmo para o decréscimo, e assim, sucessivamente, conforme Figura 5 (Seleção de estruturas coerentes), citada na revisão bibliográfica como um exemplo (TORRENCE & WEBSTER, 1999), (ADDISON, 2017).

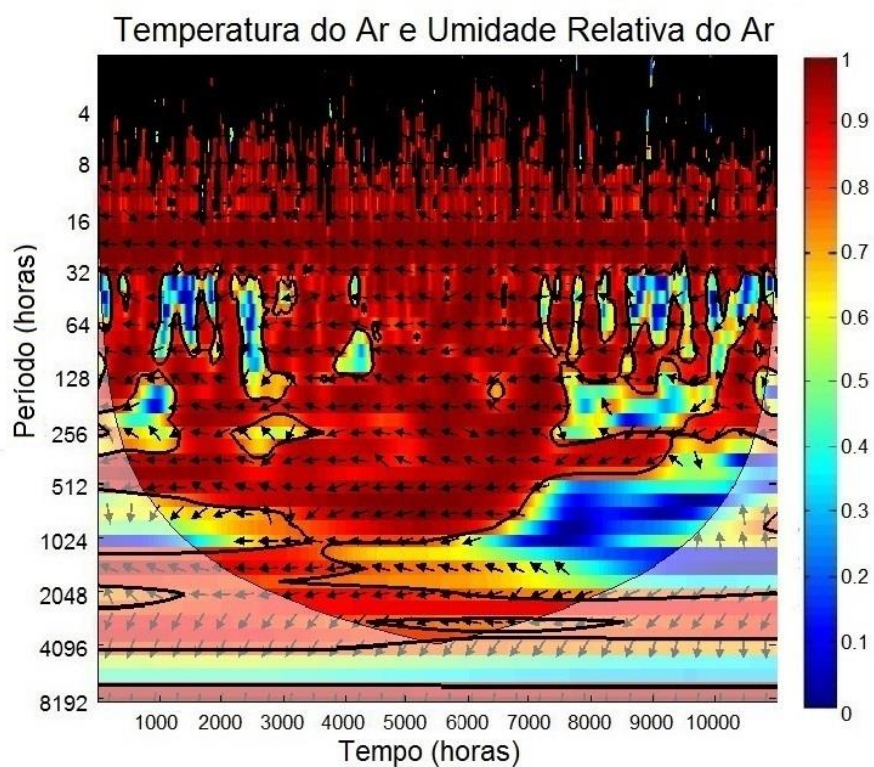


Figura 35a - CW de temperatura do ar e umidade relativa do ar - Fração Urbana 1

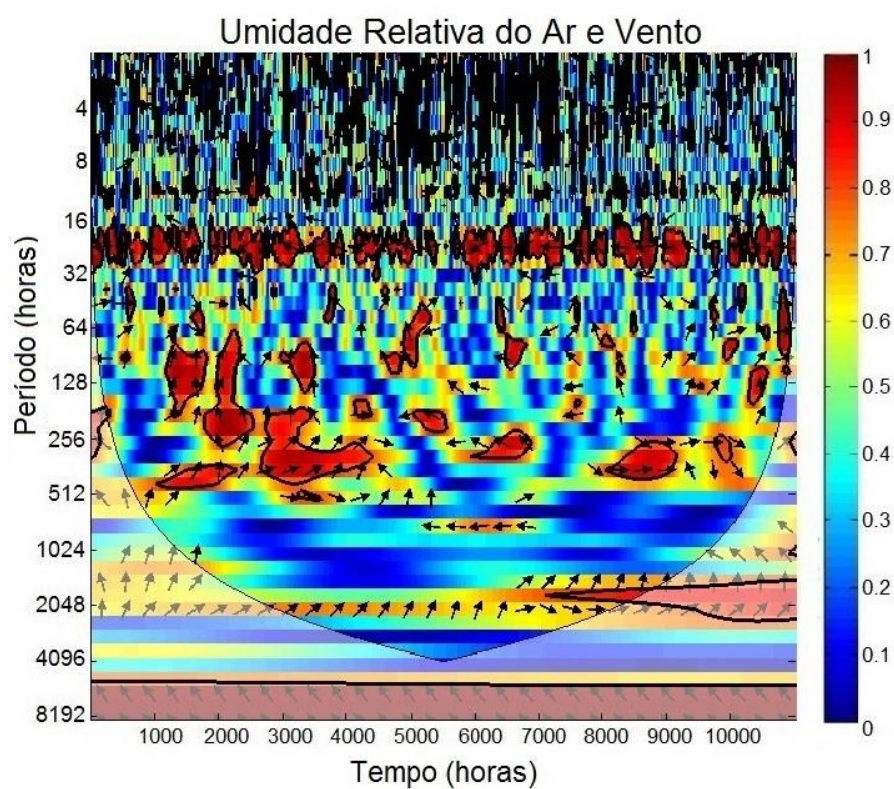


Figura 35b - CW de umidades relativas do ar e vento - Fração Urbana 2

O escalograma da CW de temperatura do ar e umidade relativa do ar, Figura 35a, após os testes de significância de inter-relações entre as séries, mostrou um escalograma praticamente tomado pela cor vermelho escuro; abrangendo as áreas representantes da periodicidade de 24 horas conforme ciclo do planeta e as áreas acima delas. E das demais periodicidades, as quinzenais dominantes, e as específicas dos ambientes urbanos, encontradas para o período seco do ano de 2015, com nível de significância menor que 95 %. As frequências e amplitudes dos sinais das séries de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram semelhantes, mesmo possuindo defasagens (invertibilidade). Para os escalogramas da CW de temperatura do ar e vento, e CW de umidade relativa do ar e vento, Figura 35b, demonstram alta correlação na região do ciclo de 24 horas, bem como, nas regiões referentes às demais periodicidades, percebe-se que o vento influencia mais a temperatura do ar do que a umidade relativa do ar, mas, as inter-relações dessas variáveis foram bem menores do que, por exemplo, de temperatura do ar e umidade relativa do ar.

As Figuras 36a e 36b dispõem os escalogramas CW para a Fração Urbana 2. O escalograma da CW de temperatura do ar e umidade relativa do ar (Figura 36a), mostrou inter-relações entre as séries, novamente como na Fração Urbana 1, com escalograma praticamente tomado pela cor vermelho escuro. As frequências e amplitudes dos sinais das séries de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram semelhantes, mesmo possuindo defasagens. Para os escalogramas da CW de temperatura do ar e vento, e, escalograma de CW de umidade relativa do ar e vento, a Figura 36b, demonstram alta correlação na região do ciclo de 24 horas, bem como, nas regiões referentes às demais periodicidades; percebe-se que o vento na Fração Urbana 2, influencia quase que igualmente a temperatura do ar quanto a umidade relativa do ar, mas, as inter-relações entre essas variáveis, foram também menores do que, as CW de temperatura do ar e umidade relativa do ar.

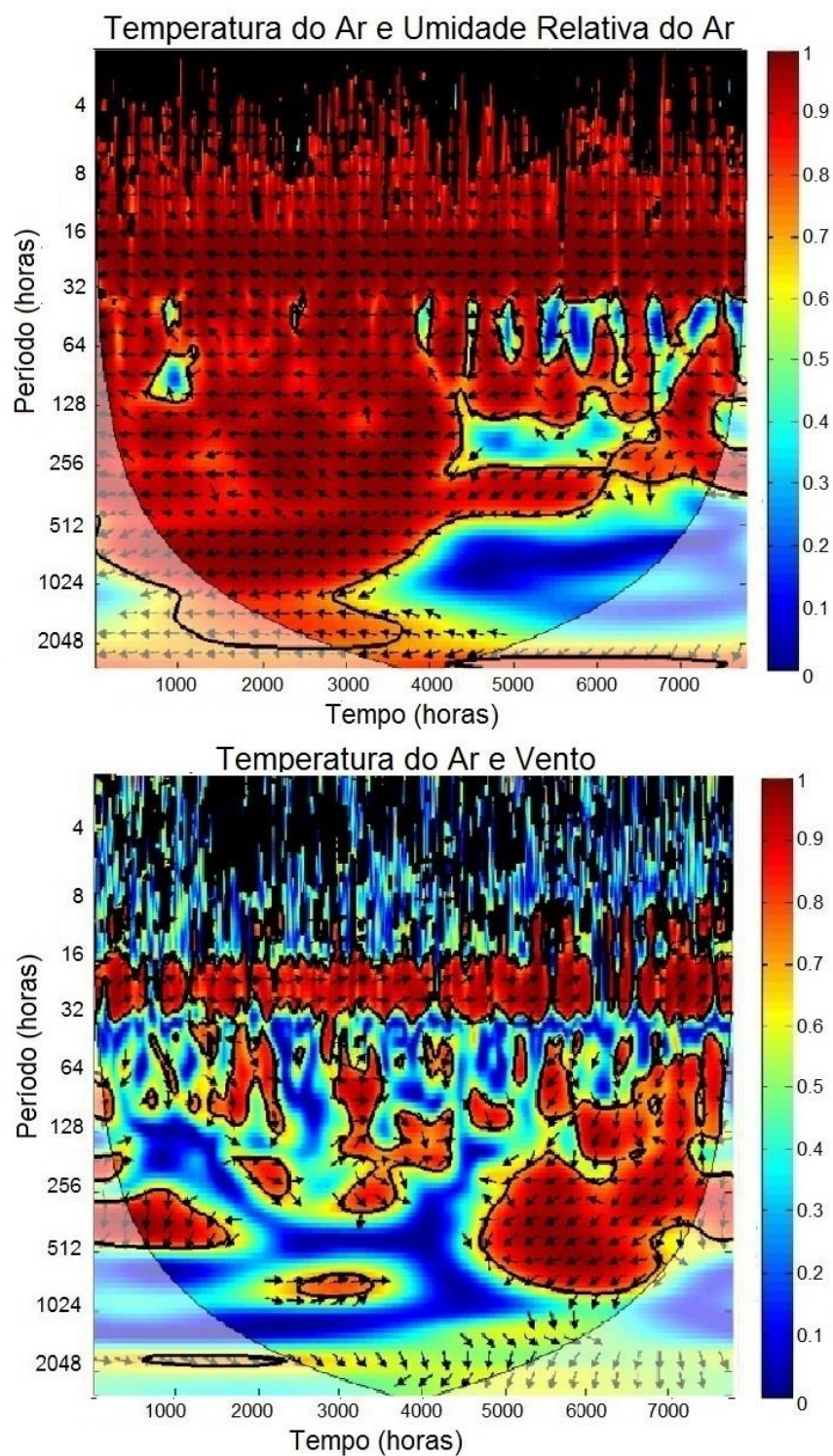


Figura 36a- CW de temperatura do ar e umidade relativa do ar, temperatura do ar e vento - Fração Urbana 2

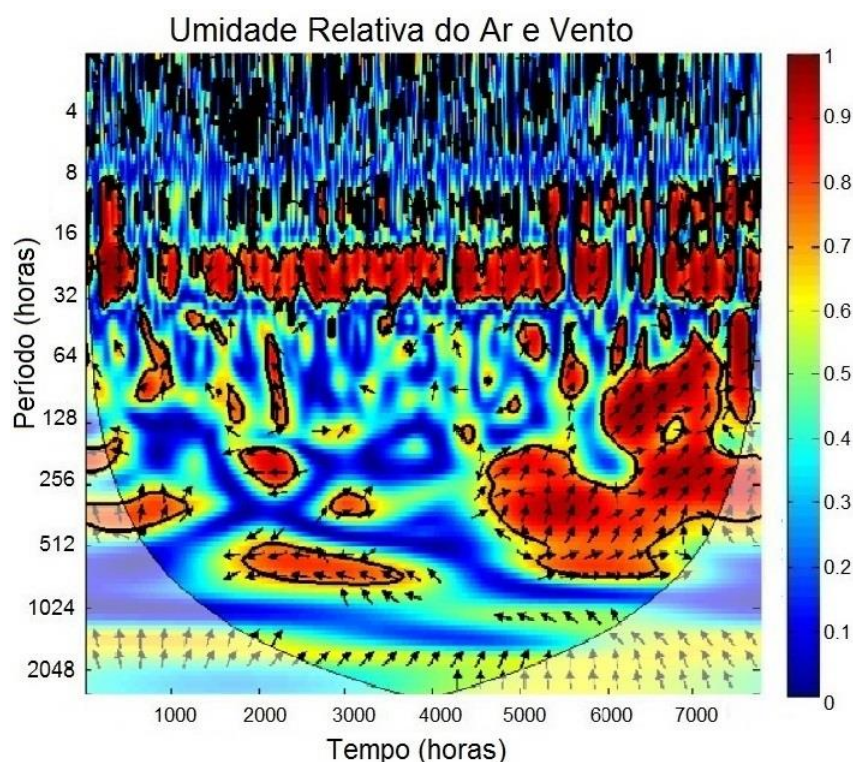


Figura 36b - CW de umidade relativa do ar e vento - Fração Urbana 2

Por fim, esses comportamentos foram obtidos de áreas urbanas com uso e ocupação do solo diferentes, como por exemplo, entre as Frações Urbanas 1 e 2; ou, por outro lado, mostrando a fragilidade dessas inter-relações entre as variáveis de uma mesma fração urbana, principalmente por se encontrarem diferentes microambientes em um topoclima. Além disso, a questão da baixada cuiabana pertencer a relevos de baixas altitudes, não se mostrou nessa CW, a sugestão é do comportamento advir da densidade de uso e ocupação do solo somado às condições singulares da Fração Urbana 2.

Destarte, se levantam discussões sobre comportamentos prováveis dos microambientes e de suas variáveis; ampliando o entendimento sobre o papel e a importância das inter-relações existentes e do complexo funcionamento dos ambientes naturais. Sendo assim:

- Que a maior ou menor arborização, a vegetação como um todo nas frações urbanas, levam a obter-se perfis de temperaturas do ar desiguais, e que em determinados horários do dia esses perfis se diferem ainda mais; e que pelo fato de se encontrarem diferentes microambientes dentro de um mesmo

topoclima, o sombreamento causado por essa vegetação nos mesmos, diminui o fluxo de calor da radiação térmica, que por sua vez, pode diminuir a temperatura do ar. No entanto, no topoclima da Fração Urbana 1, além dessas considerações, o aumento da vegetação das margens pode causar uma diminuição da velocidade dos vórtices adentrados na região pelas margens do rio Cuiabá, aumentando a temperatura do ar na região;

- Uma outra questão, considerando o rio Cuiabá, é a distância entre suas margens, que proporciona uma espécie de cânion, canalizando os ventos, bem como, os vórtices e aumentando a velocidade em sua região central, diminuindo a temperatura do ar nesta localidade; outra consideração é a presença de uma maior quantidade de água no topoclima como um todo (caso da Fração Urbana 1), que aliada à velocidade do vento e as temperaturas do ar, possibilitam maiores trocas térmicas por convecção, diminuindo a temperatura do ar; além disso, como na superfície d'água ocorre absorção de calor e liberação de vapor de água para a superfície, ora se diminuirá a temperatura do ar próximo à lâmina d'água;
- O albedo sendo equivalente a percentagem da radiação solar incidente que é refletida pelas superfícies, influencia na quantidade de calor das mesmas; no caso da Fração Urbana 1 devido as águas do rio Cuiabá, fica sugestivo do albedo ser pouco elevado, mas, superior ao da vegetação das margens e demais áreas verdes por exemplo, proporcionando maior absorção da radiação, aumentando a temperatura do ar; no entanto, a diversidade de uso e ocupação do solo no restante do topoclima, também influenciará; quanto ao albedo da Fração Urbana 2, as parcelas que contribuem são mais equalizadas devido a maior uniformidade dos tipos de superfície.
- Outro ponto a se considerar, é que geralmente, nos dias de maior nebulosidade, algumas frações urbanas por conta de sua tipologia e da rugosidade do relevo (por exemplo no caso da Fração Urbana 1), apresentam uma menor quantidade de radiação recebida, diminuindo a temperatura do ar; o que não acontece por exemplo, em frações urbanas como a Fração urbana 2, que possui menor arborização, mas, uma maior capacidade de armazenamento de energia de radiação devido aos diversos materiais de construção existentes,

sugerindo menor albedo e então aumento da temperatura do ar mesmo com maior nebulosidade;

- De forma geral, os microclimas urbanos mais centralizados por exemplo, apresentam uma maior rugosidade da superfície devido a geometria (altura e distribuição das construções na superfície), ocorrendo uma diminuição da velocidade dos ventos e vórtices, refletindo em maiores temperaturas do ar; deixando para as regiões mais descentralizadas ou periféricas a impressão de serem mais frescas; mas, nem sempre isso acontece, existe uma gama de fatores a serem analisados e considerados, como por exemplo, a falta de vegetação, fato comum em empreendimentos populares. Deve-se levar em conta ainda, todas as questões sobre as Ilhas de Calor urbano, que merecem ser avaliadas nos estudos dos microclimas e topoclimas nas cidades;
- Quanto ao calor antropogênico, o mesmo gera possível aumento da temperatura do ar devido aos acúmulos de calor por movimentações de automóveis principalmente nos horários de pico em locais específicos. Bem como, dos aumentos de calor das superfícies devido às radiações de ondas longas.

Isto posto, gerando cada uma dessas reflexões, análises diferenciadas das inter-relações entre as variáveis e os aumentos de complexidade na dinâmica desses ambientes.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para avaliar qualitativamente um sistema urbano, a técnica de análise tempo-frequência proposta na presente tese, favorece no sentido de que, quando se assume valores sem se analisar mais profundamente o que os mesmos significam, corremos o risco de falsa interpretação dos resultados, modificando o perfil energético e parte da dinâmica real de um microclima ou topoclima urbano.

Com as TWC fizemos uso do sinal analítico de Morlet via mapeamento do domínio tempo-frequência, que leu o conteúdo espectral de cada sinal de temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento, por meio do processo de multiresolução temporal na resolução no plano tempo-frequência, para cada uma das séries temporais estudadas. A caracterização das variáveis foi assim determinada pois foram encontradas as localizações no espaço tempo-frequência.

Por meio das TWX, encontramos as inter-relações e os coeficientes que representam essas inter-relações entre as variáveis; obtivemos as padronagens indicativas das potências das TWX das séries temporais cruzadas. Avaliamos a coerência estatística do modelo por meio da Coerência Wavelet CW sobre as padronagens das densidades de energia obtidas pelas TWX, e estas verificadas pelos testes de Monte Carlo.

Por outro lado, consideremos uma análise quantitativa com balanços de energia efetivos, descrevendo por exemplo, uma área urbana para fins de planejamento. O risco de interpretação equivocada ainda estaria presente na análise pela complexidade natural, afinal, trata-se de um ambiente vivo, que sofre mudanças continuadas. Às vezes, os valores numéricos das variáveis, não são suficientes para compreendermos o conjunto dos fatos. Neste entendimento, surge a análise qualitativa, complementando a fundamentação de propostas de planejamento de construções, reformas e implantações urbanas em geral.

Portanto, os objetivos deste trabalho foram alcançados com as análises de monitoramento frequencial estudando as variáveis micrometeorológicas temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento. Sendo os efeitos dos ambientes sobre as variáveis, bem como, as ações humanas sobre os ambientes, sugestivamente expressos pelas inter-relações encontradas. A profundidade dessas análises faz das TWC, TWX

e CW uma análise robusta para fins de gestão urbana. O desempenho técnico desse monitoramento, depende de uma boa estimativa da estatística do sinal digital estudado, o que representa, por sua vez, maior cuidado na gestão e implementação de indicadores de mudanças estruturais derivados de modelagem no domínio da frequência. Portanto, as melhorias no conforto térmico anterior e posterior a um empreendimento urbano, dos prognósticos de consumo energético, e da sustentabilidade como um todo, são exemplos que podem fazer uso das ferramentas propostas.

Os empreendimentos urbanísticos fundamentados na ambiência local, são capazes de oferecer embasamentos técnicos reais; no entanto, se realizados por corpo técnico competente para tal mister, e efetivamente respeitadas as prescrições para cada caso. Salientamos, que a nível acadêmico isso acontece, mas, ainda é pouco viabilizado quanto aos interesses públicos.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1 - Bibliografias Citadas

ABARBANEL, H. D. I.; BROWN, R.; SIDROWICH, J. J.; TSIRING, L. S. H.; The Analysis of Observed Chaotic Data in Physical Systems. **Review of Modern Physics**. v.65, n.4, p. 1343-1347, 1993.

ABREU-HARBICHA, L. V., LABAKIA, C., MATZARAKIS, A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. **Landscape and Urban Planning**. Volume 138, June 2015, Pages 99-109.

ADAMOWSKI, J. F. River flow forecasting using wavelet and cross-wavelet transform models wavelet transform models. **Hydrological Processes**. v. 22, p 4877-4891, 2008.

ADDISON, P. S. Wavelet transforms and the ECG: a review. **PHYSIOLOGICAL MEASUREMENT**, v. 26, p.155-199, ago. 2005. doi:10.1088/0967-3334/26/5/R01

ADDISON P. S., MORVIDONE M., WATSONB J. N., CLIFTON D. Wavelet transform reassignment and the use of low-oscillation complex wavelets. **Mechanical Systems and Signal Processing** v.20 p.1429-1443. 2006.

ADDISON, P. S. **The Illustrated Wavalet Transform Handbook**. 2 ed. CRC Press Tylor & Francis Group, 2017. 446p.

ALVARES et al, Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Vol. 22, No. 6, 711-728, January 2013.

ANDRADE, H. O clima urbano- natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, XL, v. 80, p. 67-91, 2005.

ANDRADE, N. L. R.; AGUIAR, R. G.; SANCHES, L.; ALVES, E. C. R. F.; NOGUEIRA, J. S. Partição do saldo de radiação em áreas amazônica e floresta de transição Amazônia-cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 346-355, 2009.

ANDRADE, N. L. R. **Fluxo de calor latente em uma floresta tropical da Amazônia: uma análise de séries temporais com Wavelets e do produto mod16**. 2013. 168f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, UFMT, Cuiabá, 2013.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos, 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 332p. Revisão de Suely Bastos.

BARBOSA, A. C. B.; BLITZKOW, D. **Ondaletas: Histórico e Aplicação**. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São

Paulo - IAG/USP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP-PTR-LTG, 2008, 39p.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade: uma abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. EDUFAL: Maceió, 2007. 164 p.

BLAIN, G. C. **Precipitação pluvial e temperatura do ar no Estado de São Paulo: periodicidades, probabilidades associadas, tendências e variações climáticas**. 2010. 195f. Tese. Departamento de Agronomia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BISWAS, A.; SI B. C. Identifying scale specific controls of soil water storage in a hummocky landscape using wavelet coherency. **Geoderma**. v. 165, p. 50-59, Out. 2011.

BIUDES et al., 2009. Sazonalidade do Balanço de Energia e Evapotranspiração em Área Arbustiva Alagável no Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, 82-91, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620140164>.

BOLZAN, M. J. A.; Transformada em Ondeleta: Uma necessidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n.4, p. 563-567, 2006.

BREAKER, L. C.; LIU, P.C.; TORRENCE, C.: Intraseasonal oscillation in sea surface temperature, wind stress, and sea level off the central California coast. **Cont. Shelf. Reser**, v. 21, p. 727-750, 2001.

COLLINEAU, S.; BRUNET, Y, Detection of turbulent coherent motions in a forest canopy Part I: Wavelet Analysis, **Boundary-Layer Meteorology**, v. 65, p. 357-379, Sept. 1993a.

COLLINEAU, S.; BRUNET, Y, Detection of turbulent coherent motions in a forest canopy Part II: Time-scales and Conditional Averages, **Boundary-Layer Meteorology**, v. 66, n. 1-2, p. 49-73, Oct. 1993b.

CUIABÁ, **Prefeitura Municipal de Cuiabá/ Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano**. IPDU - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá-MT, 2004.

CUIABÁ, **Prefeitura Municipal de Cuiabá/ Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano**. IPDU - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá-MT, 2008.

CUIABÁ. **Prefeitura Municipal de Cuiabá / Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá**. IPDU - Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano. Adriana Bussiki Santos (Org.) Cuiabá, MT: Entrelinhas, 2008.

CUIABÁ. **Prefeitura Municipal de Cuiabá / Perfil Socioeconômico de Cuiabá**. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano -SMDU, Cuiabá-MT, v. V, set., 2012.

CUIABÁ, **Prefeitura Municipal de Cuiabá/ Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano**. IPDU - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá-MT, 2015.

CUNHA, C. R. **Influência da cobertura do céu nos albedos de uma região de cerrado da baixada cuiabana**. 2012. 65 f. Dissertação em Física Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, UFMT, Cuiabá, 2012.

DAUBECHIES, I. Orthonormal basis of compactly supported wavelets. **Communications on Pure and Applied Mathematics**, v.41, p. 909-96. 1988.

DEPIZZOL, D. B. **Análise de ondoletas aplicadas a Sinais de Turbulência na camada limite Superficial**. 2008. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

DE PAULO, I. J.; NETO, M. J.; DE PAULO, S. R. **Introdução a Teoria da Complexidade**. UAB. 2015. 71p.

DOMINGUES, M. O.; MENDES O.; COSTA A. M. On wavelet techniques in atmospheric sciences. **Advances in Space Research**. v.35, p. 831-842, 2005.

DOMINGUES, M.O.; MENDES O.; COSTA A. M.; SCHNEIDER K. Adaptive multiresolution methods. **ESAIM: PROCEEDINGS**, v. 34, p. 1-96, Dec., 2011.

DOMINGUES, M. O.; MENDES O.; KAIBARA, M.K.; MENCONI, V.E.; BERNARDES, E. Explorando a transformada wavelet contínua. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. n.3, vol.38, e3314, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0019>.

EHLERS, R. S. **Análise de Séries Temporais**. Curso de Séries Temporais. Agosto de 2009.

FARGE, M., Wavelet transforms and their applications to turbulence. **Journal of the atmospheric Sciences**, Palo Alto, v.24, p.395-457, 1992.

FARIA, R. R. A. Aplicação de wavelets na análise de gestos musicais em timbres de instrumentos acústicos tradicionais. 1997. 178 f. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997.

FRANCO, F. M. **Análise do comportamento termo-higrométrico urbano sob a ótica do uso e ocupação do solo em Cuiabá-MT**. 2013, 124f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

FREITAS, S.; CATITA, C.; REDWEIK, P.; BRITO, M. C. Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Portugal, p. 1749-016, 2014.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 243p.

GUARIENTI, G. S. S. Desenvolvimento De Uma Técnica Computacional De Processamento Espaço Temporal Aplicada Em Séries De Precipitação. 2015. 120 p. Dissertação (Mestrado), Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

GRIMMOND, C. S. B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. **Theor. Appl. Climatol.** v. 84, p. 3-22. 2006.

GRINSTED, A.; MOORE, J. C. S. AND JEVREJEVA, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series, **Nonlinear. Processes in Geophysical**, 11, 5/6, pp.561-566, 2004.

GOULART M.; SANCHES, L.; VILANI, M. T.; PINTO JUNIOR, O. B. Análise da evapotranspiração por wavelet de Morlet em área de A Vochysia divergens Pohl no Pantanal, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.2, p.93-98, Campina Grande, PB, 2015.

GURGEL, V. C. **Aplicação de Técnicas Wavelets em Análise de Séries Temporais para Detecção de Correlações**. 2013, 63f. Monografia (Bacharel em Ciências da Computação), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2013.

KATZSCHNER, L.; REINOLD, M.; LOURENCO, L. D. Urban climate in the context of a sustentable development. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. 5., 1997, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: ANTAC, 1997. 1 CDROM.

HOLANDA, S. C. Análise espectral e em componentes principais: uma visão conjunta à identificação e caracterização de oscilações e ruídos atmosféricos no AZP-AL. 2009. 157f. Tese (Doutorado em Meteorologia). UFAL. Maceió-AL, 2009.

HIGUTE, R. T; KITANO, C. **Sinais e Sistemas**. ELE 0331-Princípios de comunicação. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira Departamento de Engenharia Elétrica. UNESP, 2003.

LABAT, D. Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts. **Journal of Hydrology**, v.314, p.275-288, 2005.

LEITE, F. E. A. **Análise Estatística de Padrões Sísmicos: decomposição em multiescala**. 2007, 122f. Tese de Doutorado em Física da Matéria Condensada - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

LIU, H.; HUANG, W.; WANG, S.; ZHU, Z. Adaptive spectral kurtosis filtering based on Morlet wavelet and its application for signal transients detection. **Signal Processing**. v. 96, p118-124, 2014.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

MACIEL, C. R. **Análise da relação entre características do ambiente urbano e comportamento de variáveis microclimáticas: Estudo de caso em Cuiabá-MT**.

2011. 127f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

MACIEL, C. R. **Condições Microclimáticas De Espaços Abertos: Simulação De Estratégias Por Meio Do Software Envi-Met**. 2014. 93f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá. 2012.

MALETZKE, A. G. **Uma metodologia para extração de conhecimento em séries temporais por meio da identificação de *motifs* e da extração de características**. 2009. 139f. Dissertação. (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional). São Carlos, 2009.

MALLAT, S. G. **A Wavelet Tour of Signal Processing**, Academic Press, 1998.

MARAUN, D.; KURTHS, J. Cross Wavelet Analysis: significance testing and pitfalls. **Nonlinear Processes in Geophysics**. v.11, p.505-514, 2004.

MARIANO, R. T. G. **Análise Espectral De Séries Temporais De Variáveis Micro-Climatológicas Em Uma Área De Ecótono Entre Os Biomas Amazônia E Cerrado No Norte De Mato Grosso**. 2008. 79f. Dissertação. (Mestrado em Física Ambiental, **Análise e Modelagem Microclimática e de Ecologia de Ecossistemas**). Cuiabá, 2008.

MARTINS, N. C. **Desenvolvimento de técnicas de realce baseados em filtros wavelets para imagens de mamografia digital direta**. 2012.121f. (Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica) - Universidade do Minho. Escola de Engenharia. 2012.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M. G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76-84, 1999.

MENEZES, A. S.. **Uma contribuição à análise espectral de sinais estacionários e não estacionários**. 2014. 232 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2014.

MILLS, G., CHING, J., SEE, L., BECHTEL, B., FEDDEMA, J., MASSON, V., STEWART, I., NEOPHYTOU, M., O'CONNOR, M., CHEN, F., MARTILLI, A., GRIMMOND, S., ALEXANDER, P., FOLEY, M., GAL, T., WANG, X., MITRA, C., PEREIRA, N., STEENEVELD, G.- J. Introduction to the WUDAPT Project Proceedings, **9th International Conference on Urban Climate** (jointly with 12th Symposium on the Urban Environment), Toulouse, France, July, 2015.

MISITI, M. et al. **Wavelet Toolbox User's Guide: for use with matlab**. The MathWorks, R2017b, 2017. Disponível: <
https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/wavelet/wavelet Ug.pdf >. Acesso em: 27 Out. 2017.

MITRA, S. K. Digital Signal Processing: **A Computer-Based Approach**. Fourth. [S.l.]: McGraw-Hill, 2011.

MORAES, M. G. S. **Variação sazonal do albedo da superfície no cerrado *stricto sensu* da baixada cuiabana**. 2013. 47f. Dissertação. (Mestrado em Física Ambiental). UFMT. Cuiabá, 2013.

MOREIRA, A. G., SCHAWARTZMAN, S. **As Mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros**. Brasília. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. 2000 342p.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. **Análise de Séries Temporais**. 2ed. São Paulo: Egard Blucher. 2006. 531p.

MORLET, J. **Sampling theory and wave propagation**. NATO ASI Series Springer. v.1, 1983. p. 233.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; FRANCO, F M.; MUSIS, C R.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, J. S. Atributos bioclimáticos urbanos uma análise sobre o ponto de vista qualitativo. **REMOA/UFSM**. v.10, n.10, 2012.

OLIVEIRA, H. M.; **Análise de Sinais para Engenheiros: uma abordagem via wavelets**. Rio de Janeiro. Brasport, 2007.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Metheun, 1987.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. IOM Report, TD. World Organization, Geneva, 2006.

OPPENHEIM, A V.; WILLSKY, A S. **Sinais e Meteorological Sistemas**. 2a Edição, Always Learning (Person). Tradutores Daniel Vieira e Rogério Bettoni. 2ª Reimpressão, São Paulo. SP. Junho 2013.

PINHEIRO, M. R. **Frequências Dominantes de Variáveis Micrometeorológicas de uma Floresta de Transição do Norte de Mato Grosso**. 2007. 74f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

PINTO NETO, O., PINTO, I. R. C. A., PINTO JUNIOR, O. The relationship between thunderstorm and solar activity for Brazil from 1951 to 2009. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. 98 (2013) 12-21.

PRADO, M. **Desenvolvimento de uma metodologia para a obtenção de informações sobre o saldo de radiação a partir da temperatura do ar em ecossistemas naturais**. 2017. 87f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física - Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2017.

QUERINO, J. K. A. S. **Caracterização termohigrométrica e de conforto térmico em Porto Velho no período de transição seco-chuvoso**. 2017. 72f. Tese (Doutorado

em Física Ambiental) - Instituto de Física - Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2017.

RIBEIRO, K. F. A., **Análise da influência da vegetação arbórea no comportamento térmico dos diferentes tipos de revestimento do solo**. 2016. Dissertação. (Mestrado em Física Ambiental). UFMT, Cuiabá, 2016.

ROCHA, V. B. **Uma abordagem de Wavelets Aplicada à Combinação de previsões: Uma análise teórica e experimental**. 2008. 155f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia), Curitiba, 2008.

ROCHA, A. F. Fissuras uma manifestação patológica das construções. **1º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2014**, Foz do Iguaçu, PR. 2014.

ROMERO, M. A. B. - **Princípios Bioclimáticos Para o Desenho Urbano**. São Paulo: Projeto, 2ª edição, 2000. 128 p.

ROMERO, M. A. B. Princípios bioclimáticos para o desenho urbano. 2ª. Edição. São Paulo: Projeto, 2001.

SÁ, L. D. A.; BOLZAN, M. J. A.; PRASAD, G. S. D. Percentagem do Fluxo Turbulento associado à ocorrência de Estruturas coerentes e sua variação em função da Instabilidade Atmosférica acima do Pantanal (Estação seca). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.14, n.1, p.87-96, 1999.

SANCHES, S. N. **Análise da Relação da Radiação Solar na Formação de Ilhas de Calor em Diferentes Configurações Urbanas em Cuiabá - MT**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) Instituto de Física, UFMT, Cuiabá, 2016.

SAMPAIO, M. M. A. **Análise do desempenho térmico e lumínico de habitações populares em Cuiabá-MT**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) Instituto de Física, UFMT, Cuiabá, 2006.

SANTOS, F. M. M. **Influência da ocupação do solo na variação termo-higrométrica na cidade de Cuiabá-MT**. 2012. 87f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) Instituto de Física, UFMT, Cuiabá, 2012.

SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, M. C. J. A. **Análise da influência da ocupação do solo na variação termohigrométrica por meio de transectos noturnos em CUIABÁ-MT**. Caminhos de Geografia v. 13, n. 41 p.187-194 Uberlândia, mar/2012.

SILVA, S. T. **Reconstrução da dinâmica não linear da temperatura do ar em Cuiabá-MT**. 2015. 96f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2015.

SOON, W.; DUTTA, K.; LEGATES D.R; VELASCO, V.; ZHANG, W. Variation in surface air temperature of China during the 20th century. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. v. 73, p.2331-2344, October, 2011.

STRANG, G. Wavelet transform versus Fourier transforms. **USA, Bulletin of the American Mathematical Society**, v. 26, n.2, p. 288-304, 1993.

TORRENCE, C.; COMPO, Y. G. P. A practical guide to Wavelet analysis. **Bulletins of American Meteorological Society**, v.79, p.61-78, 1998. Disponível em <http://paos.colorado.edu/research/wavelets>. Acesso em 27/Nov/2016.

TORRENCE, C.; WEBSTER, P. J. Interdecadal Changes in the Enso-monsoon System. **Journal of Climate**. v. 12, n. 08, p. 2679-2690, 1999.

Valdés-Barrón, M.; Peláez-Chávez, J. C.; Bonifaz-Alfonzo, R.; RiverosRosas, D.; Velasco-Herre^ora, V.; Estévez-Pérez, H. UVB solar radiation climatology for Mexico. **Geofísica Internacional**. v.52-1, p. 31-42, 2013.

VARANIS, M. V. M.; PEDERIVA R. **Deteção de Correlação entre Séries Temporais Utilizando Espectro Cruzado Wavelet e Coerência Wavelet**. In: Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações, 10., 2011, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: DINCON. p. 711-714, 2011.

VIEIRA, P. C.; BOLZAN, M. J. A. Ondeleta Aplicada na Variação Solar Medida pelo Satélite SOHO **Revista Physicæ**. v. 7, 2008.

VIDAL, L. A. **Análise De Séries Meteorológicas De Altitude Na Grande Cuiabá Com Métodos Da Teoria Da Complexidade**. 2012. 78f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Universidade Federal do Estado de Mato Grosso. 2012.

VILANI, M. T. **Análise de Fourier e wavelet em Variáveis Micrometeorológicas em diferentes Tipologias de Ocupação**. Cuiabá, 2011. 135p., Tese (Doutorado) - Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso. 2011.

VILANI, M. T.; SANCHES, L. Análise de Fourier e Wavelets aplicada à temperatura do ar em diferentes tipologias de ocupação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1340-1346, 2013.

WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. (Tese) Universidade de Brasília, p.373, Brasília, DF. 2006

WEEKS, M. **Processamento Digital de Sinais - Utilizando Matlab e Wavelets**. Georgia State University. 2a Edição, LTC. Tradutor e revisor Edson Tanaka. Rio de Janeiro, 2012.

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**, Boston, v. 51, n. 17, p. 2523-2541, 1994.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the atmospheric sciences**. 2º ed. San Diego, Academic Press. 2006. 629 p.

YATES, T. T.; SI, B. C.; FARRELL, R. E.; PENNOCK, D. J. Wavelet spectra of nitrous oxide emissions from hummocky terrain during spring snowmelt. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.1110-1120, 2006

6.2 - Bibliografias Consultadas

ABREU, L. V.; LABAKI, L. C. Conforto Térmico Propiciado por Algumas Espécies Arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103 - 117. 2010.

AGUIAR, G. R. **Balanço de energia em ecossistema amazônico por modelo de Regressão robusta com bootstrap e validação cruzada**. 2013. 85f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, UFMT, Cuiabá, 2013.

ALVES, E. D. L. **Caracterização Microclimática do Campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso** 2011. 91 f Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 8, n. 1, p. 101 - 111. 2012.

AMORIM, J. H.; RODRIGUES, V.; TAVARES, R.; VALENTE, J.; BORREGO, C. CFD modelling of the aerodynamic effect of trees on urban air pollution dispersion. **Science of the Total Environment**, v. 461-462, p. 541-551. 2013

ANNUNCIAÇÃO, L. **Instrumentação, modelagem e validação de procedimentos a partir de gradientes de temperatura e umidade relativa**. 2016. 72f. (Doutorado em Física Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, UFMT, Cuiabá, 2016

AUTH, C. Continuous wavelet transform and wavelet coherence - implementation and application to the diversification analysis of hedge fund returns. **Warwick Business School**, set. 2013.

BALDOCCHI, D. D., FALGE, E. and WILSON, K. B. A spectral analysis of biosphere-atmosphere trace gas flux densities and meteorological variables across hour to multi-year time scales. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.107, p.1-27. 2001.

BARBOZA, E. B. M. ROSA, R. R., VIJAYKUMAR, N. L., BOLZAN, M. J. A., TOMASELLA, J. **Caracterização por Ondeletas de Processos Físicos Não-Lineares**. **Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional**. São Paulo, SP, Brasil, 2005. Disponível em: <http://www.sbmec.org.br/>. Acesso em 15 de junho de 2017.

BARBOSA, E. B. M. **Estudo da Variabilidade de Séries Temporais Ambientais através de Espectros de Assimetria Implementados em Software Científico Livre**. 2007. 110f. Dissertação- Programa de Pós Graduação em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE-14670-TDI/1223, 2007.

BARBOZA, F. M. **Estudo da transformada rápida wavelet e sua conexão com bancos de filtros**. 2008. 71f. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada e Estatística) -Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

BLAIN, G. C. ; MORAES, S. O. ; Statistical characterization of eight maximum daily precipitation series of the State of São Paulo, Brazil; **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, ISSN 0102-7786; v. 26, n. 2, 2011.

BLAIN, G. C.; LULU, J. Valores anuais absolutos de séries diárias de temperaturas máximas e mínimas do ar no Estado de São Paulo: Tendências periodicidade e probabilidades associadas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, p.29-40, 2011.

BOLZAN, M. J. A. Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p.37-41, 2004.

CADIMA, P. S. P. **Transitional Spaces, Architectural**. Architectural Association Graduate School, London, 2000.

CALLEJAS, I. J.; CAMPOS, A. C.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. Índices arbóreos e suas relações com o microclima urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais**. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2012/docs/1000.pdf>

CARLSON, J. Quantifying the diurnal thermal variability of urban surface pavements in a hot climate region. Thesis (M.S.) Arizona State University. 2006. Disponível em <<http://asusmart.com/projects/climate/urban-heat-island-surface-analysis>>. Acesso em 27 nov 2017.

CARRASCO-H., R.; SMEDLEY, A. R.; WEBB, A. R. Using urban canyon geometries obtained from Google Street View for atmospheric studies: Potential applications in the calculation of street level total shortwave irradiances. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 340-348. 2014.

CHANDLER, T. J. Temperature and humidity Travers across London, **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, 1962, Vol.48, nº6, 394-399.

CHEN, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee, M., Wang, U., He, Z. Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. **Int. J. Climatol.** v. 32, p. 121–136, 2012.

COX, E. P. **Interação entre clima e superfície urbanizada: o caso da cidade de Várzea Grande/MT**. 2008. 141f. Dissertação em Física Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, UFMT, Cuiabá, 2008.

CUIABÁ, **Prefeitura Municipal de Cuiabá/ Evolução Urbana de Cuiabá**. IPDU - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. Cuiabá, 2010.

DAUBECHIES, I.; MALLAT, S.; WILLSKY, A., Introduction to the special issue on wavelet transforms and multiresolution signal analysis. **IEEE Trans. Inf. Theory**, v. 38, n.2, p. 528-531, 1992.

DAUBECHIES, I. Ten lectures on wavelets, Philadelphia, **SIAM (CBMS-NSF Regional Conference Series on Applied Mathematics)** p. 357. 1992.

DAUBECHIES I., PLANCHON F. Adaptive Gabor transforms. *Applied and Computational. Harmonic Analysis*. v. 13, p 1–21. 2002.

DONOHOO, D. L., JOHNSTONE, I.M. Ideal Spatial Adaptation via Wavelet Shrinkage. **Technical Report**, Stanford University, 1992.

DONOHOO, D. L., JOHNSTONE, I. M. Adaptating to Unknown Smoothness via Wavelet Shrinkage. **Technical Report**, Stanford University, 1993.

DONOHOO, D. L., JOHNSTONE, I. M. Ideal denoising in an orthonormal basis chosen from a library of bases. **Technical Report**, Stanford University, 1994.

DONOHOO, D. L. De-noising by soft-thresholding. **IEEE Transaction on Information Theory**, v.41, pp.613-627, 1995.

DONOHOO, D. L., JOHNSTONE, I. M., KERKYACHARIAN, G., PICARD. D. Universal near Minimacity of Wavelet Shrinkage. **Technical Report**, Stanford University, 1995.

DUARTE, D. H. S. A Reposição do Verde em Áreas Urbanas: Desmistificação e proposição de alternativas para o caso de Cuiabá. 1997, Salvador. **ANAIS DO IV ENCAC**. Salvador, BA: FAUFBA/LACAM/ANTAC.

DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlação e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**. v.3, n.2, p.7-20, abr./jun.2003. ISSN 1415- 8876. Porto Alegre, 2003.

EVANS, M. K. **Practical Business Forecasting**. Oxford: Blackwell Publishers, 2003.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. 244 p.

FENG Y., LIANG C. Developing a thermal atlas for climate-responsive urban design based on empirical modeling and urban morphological analysis. **Energy and Buildings**. Shanghai, China, v.111, p. 120-130, jan. 2016.

FIEDLER, N. C.; AZEVEDO I. N. C.; REZENDE A. V., MEDEIROS, M. B.; VENTUROILI, F. Efeito de Incêndios Florestais na Estrutura e Composição Florística de uma Área de Cerrado Sensus Stricto na Fazenda Água Limpa-DF. **Revista Árvore**. Viçosa-MG. v.28, p.129-138, 2004.

FISCHER, S. Series invariantes de tempo - metodologia de Box & Jenkins. **Fundação de Economia e Estatística**, Porto Alegre, RS, 1982.

FRICK, P., GROSSMANN A. and TCHAMITCHIAN, P. Wavelet analysis of signals with gaps. **Journal of Mathematical Physics**, v.39, 4091-4107, 1998.

GEISSBUEHLER M. and LASSER T., **Optics Express** v. 21, p. 9862-9874, 2013.

GOMES, F. D.; SANCHES, L.; ALVES, M. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S. The relationship between meteorological variables and clearness index for four urban/suburban areas of Brazilian cities. **Journal of Environmental Science and Engineering**. v.1, p.1-12, 2012.

GONÇALVES, A.; CAMARGO, L. S.; SOARES, P. F. Influência da vegetação no conforto térmico urbano: Estudo de caso na cidade de Maringá – Paraná. **Anais do III Seminário de Pós-Graduação em Engenharia Urbana**, 2012. Disponível em: <http://www.eventos.uem.br/index.php/simpgeu/simpgeu/paper/view/970/585>.

GRIMMOND, C. S. B., Potter, S. K., Zutter, H.N., & Souch, C. Rapid Methods to Estimate Sky-View Factors Applied to Urban Areas. **Int. J. Climatology**. v. 21. p. 903-913. 2001

GRINSTED, A. Projected Change - Sea Level. In Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin (pp. 253-263). **Springer International Publishing**. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16006-1_14, 2015.

GRINSTED A., JEVREJEVA S., RIVA R., DAHL-JENSEN D. Sea level rise projections for Northern Europe under RCP8.5, **Climate Research**., doi: 10.3354/cr01309. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/284563576_Developing_a_thermal_atlas_for_climate, 2015.

GROSSMANN, A.; MORLET, J., Decomposition of Hardy Functions into Square Integrable Wavelets of Constant Shape. **SIAM Journal Mathematical Analysis**. v. 15, p.723, 1984.

GUARIM, V. L. M. S.; VILANOVA, S. R. F. **Parques Urbanos de Cuiabá, Mato Grosso: Mãe Bonifácia e Massairo Okamura**. Entrelinhas EDUFMT, Cuiabá, MT, 2008.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística Básica e Aplicada**. Uberlândia - MG UFU, 2004. 78p.

GULYÁS, A.; UNGER, J.; MATZARAKIS, A. Assessment of the Microclimatic and Thermal Comfort Conditions in a Complex Urban Environment: modeling and measurements. **Building and Environment**, v. 41, p. 1713-1722, 2006.

HAIR, Joseph F. Jr.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L.; BLACK, William C. Tradução de: Adinai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto. **Análise Multivariada de Dados**, 5ª Edição, Artmed Editora S.A. (Bookman Companhia Editora, Porto Alegre, RS., reimpressão 2006), 2005.

HAIR, J. F.; BLACK, R.; ANDERSON, E., TATHAM, R L. **Análise Multivariada de Dados**. Bookman, 6 Ed, 2009. 688p.

HOMSY, G. V., PORTUGAL, M. S., ARÚJO, J. P. Ondas e previsões de séries de tempo: uma análise empírica. **XXII Encontro Brasileiro de Econometria**. Campinas, 2000

HÖPPE, P. The Physiological Equivalent Temperature: a index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v.43, p.71-75. 1999

HONG, J.; KIM, J. Impacto of the Asian monsoon climate on ecosystem carbon and water exchanges: a Wavelet analysis and its ecosystem modeling implications. **Global Change Biology**, v.17, p.1900-1916, 2011.

HUDGINS, L.; FRIEBE, C. and MAYER, M. **Physical Review Letters**. v.71, p.3279. 1993.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Available from: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64529_cap6.pdf, 2010.

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Censo Demográfico: Brasil**, Rio de Janeiro, 2010.

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Síntese de indicadores sociais: Brasil**, Rio de Janeiro, 2012.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA). **Biomass do Brasil**, 2005. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/>. Acesso em: 25.01.2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico (2010). Disponível em <http://www.ibge.gov.br/> Acesso em 25.01.2017.

INMET - Instituto Nacional De Meteorologia. **Climatologia**. Available from: <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>, 2003.

INMET - Instituto Nacional De Meteorologia. **Climatologia**. 2003. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>. Acesso em: 08/06/2017.

INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia. Dados Meteorológicos** (2011). Disponível em: <http://www.cecs.unimontes.br/index.php/pt/dadosmeteorologicos/356-dados-meteorologicos.html>. Acesso em 13.01.2017.

INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia. Dados Meteorológicos** (2012). Disponível em: <http://www.cecs.unimontes.br/index.php/pt/dadosmeteorologicos/356-dados-meteorologicos.html>. Acesso em 13.01.2017.

INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia. Dados Meteorológicos** (2016). Disponível em: <http://www.cecs.unimontes.br/index.php/pt/dadosmeteorologicos/356-dados-meteorologicos.html>. Acesso em 13.01.2017.

JESUS DE PAULA, D. C. **Análise termohigrométrica pós intervenções urbanas em Cuiabá-MT**. 2017. 104f. (dissertação). UFMT, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2017.

JEVREJEVA, S., MOORE, J.C., GRINSTED, A. Influence of the Arctic Oscillation and El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on ice conditions in the Baltic Sea: The wavelet approach, **Journal Geophysical Research**, 108(D21), 4677, doi:10.1029/2003JD003417, 2003.

JOHNSON, Richard A.; WICHERN, Dean W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Sixth Edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2007.

JOHNSON, G. T.; WATSON, I. D. The Determination of View-Factors in Urban Canyons. **Journal of Applied Climate and Meteorology**. v. 23, p. 329-335, 1984

JOHNSTONE, I. M., SILVERMAN, B. Wavelet Threshold Estimators for data with Correlated Noise. **Technical Report**, Stanford University, 1996.

KELENCZ, C. A. **Análise matemática dos sinais eletromiográficos aplicados a engenharia biomédica**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Biomédica). Universidade do Vale do Paraíba São José dos Campos-SP. 2009.

KLINK, C. A.; MACHADO R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**. v.1, n.1, jul. 2005.

KULKA, D. D. **Conforto Térmico em Áreas Verdes Urbanas no Município de Itapetinga, Bahia**. 2014. 72f. Dissertação Área de Concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, Bahia, 2014.

LABAT, D. Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and selected climate indices. **Journal of Hydrology**. v. 385, p. 269-278, mai 2010.

LABAKI, L. C. et al. Vegetação E Conforto Térmico Em Espaços Urbanos Abertos. **Fórum Patrimônio**. v. 4, n. 1, 2013.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/arquivos>. Acesso em: 15 abr. 2017.

LEÃO, E. B. **Carta Bioclimática de Cuiabá**. 2007, 147 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, UFMT. Cuiabá, MT. 2007.

LIMA, P. C. Wavelets em Processamento de Imagens, Depto de Matemática - ICEX-UFMG. Agosto, 2001. Disponível em <http://www.mat.ufmg.br> Acesso em 10 de maio de 2016.

LINDBERG, F.; GRIMMOND C. S. B. The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation. **Theoretical and Applied Climatology**. v.105, p.311-323. 2011. DOI 10.1007/s00704-010-0382-8.

LIN, T. P., MATZARAKIS, A., & HWANG, R. L. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. **Building and Environment**, , v.45(1), p. 213–221. 2010.

MACIEL, C. R.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S. Cobertura do solo e sua influência na temperatura de microclimas urbanos na cidade de Cuiabá - MT. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 39, p. 40-57. 2011.

MALLAT, S. G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation, **IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.11, p. 674-693, Jul 1989.

MAITELLI, G. T. Interações Atmosfera-Superfície. In: Moreno G.; Higa T. C. S. organizadores. **Geografia de Mato Grosso: território, sociedade e ambiente**. Entrelinhas: Cuiabá, 2005. 296p.

MAITELLI, G. T. Balanço de Energia Estimado para a Cidade de Cuiabá: Uma Abordagem de Balanço de Energia pelo Método De Bowen. **Clima Urbano e Planejamento das Cidades**, v.4, n.2, 2010. Disponível em: http://www.forumpatrimonio.com.br/view_full.php?articleID=183&modo=1. Acesso em: 4 Julho 2017.

MALLAT, S. G. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**. v. II, n. 7. July 1989.

MALLAT, S. G. Multiresolution approximation and wavelet orthogonal bases of $L^2(\mathbb{R})$, **Transactions of the American Mathematical Society**, v.315, n.1, p.69-87, set 1989.

MARAUN D., **What Can We Learn from Climate Data? Methods for Fluctuation, Time/Scale and Phase Analysis**. PhD Thesis, University of Potsdam, 2006.

- MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Sagra - DC Luzzatto, 1996.
- MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. L. **Vegetação Urbana**. Porto Alegre. 3ª Edição. 2010. p.204.
- MATLAB, **The language of technical Computing**, versão 6.0.0.88, release 12, 2000.
- MATLAB, **Wavelet Toolbox**. <http://www.mathworks.com/products/wavelet/>
- MENDES, F. H.; CELLA, A. C.; SILVA FILHO, D. F.; POLIZEL, J. L. Estimativa do Índice de Área Foliar para diferentes espécies arbóreas urbanas. In: **XVIII CONGRESSO BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA**, 2014. **METEOROLOGIA**, v. 25, p.324-332, 2010, <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000300001>.
- MEYER, Y. **Wavelets: Algorithms and Applications**, SIAM, Philadelphia, 1993.
- MILANO, M. S. **Avaliação quali-quantitativa da arborização urbana: exemplo de Maringá - PR**. 1988. 120 f. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais). UFPR. Curitiba - PR, 1988.
- MORENO, M. M. **Parâmetros para implementação efetiva de áreas verdes em bairros periféricos de baixa densidade**. 2006. 147f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil). Unicamp, São Paulo, 2006.
- MORETTIN, P. A. **Ondas e ondoletas: da análise de Fourier à análise de ondoletas**. EDUSP, 1999.
- MONTEIRO .L. M.; ALUCCI. M. P.; Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos - 2007. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-58, jul./set. 2007.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Comparação cruzada entre pesquisas laboratoriais e de campo em conforto térmico em espaços abertos urbanos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.10, n.4, p.79-101, out./dez.2010.
- MORLET, J.: Wave propagation and sampling theory. **Geophys**, 47, 222-236, 1982.
- NETO, A. A. C. **Estudo Bioclimático no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso Cuiabá-MT** 2007. 177 f Dissertação (Mestrado em Física Ambiental). Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.
- NICOLIS, G.; PRIGOGINE, I. **Exploring Complexity- An Introduction**. 5ª edição. New York, U.S.A.: W.H. Freeman and Company. 1989. 312 p.
- NINCE, P. C. do C.; SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, J. S.; NOGUEIRA, M. C. D. J. A. Conforto térmico dos usuários em vegetação e revestimentos urbanos no campus da UFMT em Cuiabá-MT. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, 2014, v. 13, n. 4, p.3299 - 3305.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, J. S. Conforto térmico em escola pública em Cuiabá-MT: estudo de caso. *Revista eletrônica em educação ambiental*. Rio Grande/RS, V.14, 2005.

OLIVEIRA, A. S.; SANCHES, L.; DE MUSIS, C. R.; NOGUEIRA, M. C. D. J. A. Benefícios da arborização em praças urbanas - o caso de Cuiabá/MT. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, n. 9, p. 1900-1915, 2013.

OLIVEIRA, A. S. **Influência da vegetação arbórea no microclima e uso de praças públicas**. Cuiabá. 2011. 146f. Tese. (Doutorado em Física Ambiental). Programa de Pós-graduação em Física Ambiental. UFMT, 2011.

O'NEILL, C. O. et al. IPCC reasons for concern regarding climate change risks. **Nature Climate Change**, v. 7, p. 28-37, Jan 2017.

OKE, T. R. **Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites**. In: *Air Pollution Modeling and its Application XVII*, Borrego, C. and A. L. Norman (Eds), Springer, 2004.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer heat islands. **Atmosphere**. p. 268-277. 1976.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v.1, p. 237-254, 1981.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440p

OPPENHEIM, A. V.; VERGHESE, G. C. **Class Notes for 6.011: Introduction to Communication, Control and Signal Processing Spring 2010**. SIGNALS, SYSTEMS, and INFERENCE, MIT, 2010. 250p.

PALÚ, A. E. R. **Determinação do Tempo de Defasagem Mais Adequado Para Análise de Séries Temporais de Variáveis Microclimatológicas Medidas Numa Floresta de Transição no Norte de Mato Grosso**. Cuiabá, 2008. 48f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física - Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2008.

PAULO, I. J. C.; NETO, M. J.; PAULO, S. R. **Introdução a Teoria da Complexidade**. Fascículo. UFMT. 2012.

PENHA, R. M. L. **Análise de Sinais em regime transiente aplicando a técnica de Wavelet**. Instituto de Pesquisas Energética e, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PLATT, T.; DENMAN, K. L. Spectral Analysis in Ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**. v. 6, p. 189-210, Nov., 1975. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.06.110175.001201>.

PINHEIRO, M. R.; PAULO, S.R. Utilização da análise de Fourier no estudo de variáveis micro meteorológicas de uma floresta de transição do norte de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, v.41, p.39-46, 2011.

REBOITA, M. S. **Elementos da Variabilidade Climática no Extremo Sul do Brasil, no Período de 1990 a 2001**. 2004. 211f Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), Universidade Federal do Rio Grande , Rio Grande, 2004.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **As principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J.F. Cerrado: ecologia e flora. Embrapa: Brasília - DF, 2008. 1.279p

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenvolvimento urbano**. São Paulo: Projeto. 2ªedição, 2001, 128p.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007.

ROTH, M. Review of urban climate research in (sub) tropical regions. **International journal of Climatology**. v. 27, n. 14, p. 1859-1873. 2007.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. São Paulo: Ministério do Trabalho e Emprego - FUNDACENTRO, 2001.

SANTOS, N. R.; TEIXEIRA, I. F. **Arborização de vias públicas: ambiente x vegetação**. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2001. 135 p.

SILVA, N.; ROBERTO, J. **Detecção e localização acústica em águas rasas usando transformada wavelet contínua e outras técnicas espectrais**. 2005, 126f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

SILVA, D. F.; SOUSA, F. A. S.; KAYANO, M. T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na Bacia hidrográfica do Rio Mundaú. **Revista Brasileira de Metrologia**. 2010, v.25, n.3, p 324-332.

SILVEIRA, T.; KOZAKEVICIUS, A. J. **Transformada Wavelet de Haar: Conceitos, Formulações e Aplicações**. 1 ed. IV Colóquio de Matemática da Região Sul, RS, Sociedade Brasileira de Matemática, 2016. 59p.

SHINZATO, P. **Impacto da vegetação nos microclimas urbanos em função das interações solo-vegetação-atmosfera**. 2014. 205f Tese. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 2014.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **The principles and practice of statistics in biological research**. W.H. Freeman and Company. New York, 1995.

SOUZA, L. C. L. D., Tente, C. M., Giunta, M. B., & Nakata, C. M. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**. p. 155-167. 2010.

SOUZA, L. G. R. **Estudo da variabilidade da precipitação das capitais do nordeste do Brasil por meio da transformada wavelet**. 2015. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. 2015.

SPANGENBERG, J., SHINZATO, P., JOHANSSON, E., & DUARTE, D. The impact of urban vegetation on microclimate in hot humid São Paulo. **PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE**, Singapore, 2007.

TANNUS, R. N. **Funcionalidade e sazonalidade sobre cerrado e sobre ecótono floresta-cerrado: uma investigação com dados micrometeorológicos de energia e CO₂**. 2004. 92f. Dissertação de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 2004.

VARANIS, M. V. M. **Detecção de Falhas em Motores Elétricos Utilizando a Transformada Wavelet Packet e Métodos de Redução de Dimensionalidade**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) UNICAMP, CAMPINAS, 2014.

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

VETTERLI M.; KOVACEVIC J.; GOYAL V. K., **Foundations of Signal Processing**. Cambridge University Press, Cambridge 2014.

VIEIRA, P. C.; BOLZAN, M. J. A. Ondeleta Aplicada na Variação Solar Medida pelo Satélite SOHO **Revista Physicæ**. v. 7, 2008.

VILANOVA, S. R. F.; MAITELLI, G.T. A importância da Conservação de áreas verdes remanescentes no Centro Político Administrativo de Cuiabá-MT. **UNICIência**, v.13, p.55-71, 2009.

VITORINO, M. I., SILVA DIAS, P. L. Estudo da Variabilidade Climática em São Paulo a partir da Análise de Ondeleta Morlet. In: **II Conferência Regional sobre Mudanças Globais: América do Sul**. Blue Tree Convention, São Paulo - SP, 6-10 nov, 2005.

VOURLITIS, G. L; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO JR., J. H. Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brazil. **Water Resources Research**, v. 38, nº 6, p. 1-30. 2002.

VOOGT, J. A. Urban Heat Islands: Hotter Cities. Disponível em: <<http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>> Acesso em 27 nov 2017.

WATSON, I. D, Johnson, GT. Graphical estimation of sky-view factors in urban environments. **Journal of Climatology**, v.7, p. 193-197, 1987.

YI, H.; SHU, H. The improvement of the Morlet wavelet for multi-period analysis of climate data. **Computes Rendus Geoscience**. v.344, p. 483-497. 2012

ANEXO - Algoritmos utilizados:

Chris-Torrence: Paos Colorado - NINO3

Aslak Grinsted: Continous WT

Cross Wavelet Transform XWT

Wavelet Coherence WTC

```

%*****%
%
% WAVETEST Example Matlab script for WAVELET, using NINO3 SST dataset
% See https://github.com/chris-torrence/wavelets/tree/master/wave\_matlab
% Written January 1998 by C. Torrence
%
% Modified Oct 1999, changed Global Wavelet Spectrum (GWS) to be sideways,
%   changed all "log" to "log2", changed logarithmic axis on GWS to
%   a normal axis.
%
%*****%

load 'sst_nino3.dat'    % input SST time series
sst = sst_nino3;

%----- Computation

% normalize by standard deviation (not necessary, but makes it
easier
% to compare with plot on Interactive Wavelet page, at
% "http://paos.colorado.edu/research/wavelets/plot/"
variance = std(sst)^2;
sst = (sst - mean(sst))/sqrt(variance) ;

n = length(sst);
dt = 0.25 ;
time = [0:length(sst)-1]*dt + 1871.0 ; % construct time array
xlim = [1870,2000]; % plotting range
pad = 1; % pad the time series with zeroes (recommended)
dj = 0.25; % this will do 4 sub-octaves per octave
s0 = 2*dt; % this says start at a scale of 6 months
j1 = 7/dj; % this says do 7 powers-of-two with dj sub-octaves
each
lag1 = 0.72; % lag-1 autocorrelation for red noise background
mother = 'Morlet';

% Wavelet transform:
[wave,period,scale,coi] = wavelet(sst,dt,pad,dj,s0,j1,mother);
power = (abs(wave)).^2 ; % compute wavelet power spectrum

% Significance levels: (variance=1 for the normalized SST)
[signif,fft_theor] = wave_signif(1.0,dt,scale,0,lag1,-1,-1,mother);
sig95 = (signif')*(ones(1,n)); % expand signif --> (J+1)x(N) array
sig95 = power ./ sig95; % where ratio > 1, power is
significant

% Global wavelet spectrum & significance levels:
global_ws = variance*(sum(power')/n); % time-average over all
times
dof = n - scale; % the -scale corrects for padding at edges
global_signif = wave_signif(variance,dt,scale,1,lag1,-1,dof,mother);

% Scale-average between El Nino periods of 2--8 years
avg = find((scale >= 2) & (scale < 8));
Cdelta = 0.776; % this is for the MORLET wavelet
scale_avg = (scale')*(ones(1,n)); % expand scale --> (J+1)x(N)
array
scale_avg = power ./ scale_avg; % [Eqn(24)]

```

```

scale_avg = variance*dj*dt/Cdelta*sum(scale_avg(avg,:));
% [Eqn(24)]
scaleavg_signif = wave_signif(variance,dt,scale,2,lag1,-
1,[2,7.9],mother);

whos

%----- Plotting

%--- Plot time series
subplot('position',[0.1 0.75 0.65 0.2])
plot(time,sst)
set(gca,'XLim',xlim(:))
xlabel('Time (year)')
ylabel('NINO3 SST (degC)')
title('a) NINO3 Sea Surface Temperature (seasonal)')
hold off

%--- Contour plot wavelet power spectrum
subplot('position',[0.1 0.37 0.65 0.28])
levels = [0.0625,0.125,0.25,0.5,1,2,4,8,16];
Yticks = 2.^(fix(log2(min(period))):fix(log2(max(period))));
contour(time,log2(period),log2(power),log2(levels)); %*** or use
'contourfill'
%imagesc(time,log2(period),log2(power)); %*** uncomment for 'image'
plot
xlabel('Time (year)')
ylabel('Period (years)')
title('b) NINO3 SST Wavelet Power Spectrum')
set(gca,'XLim',xlim(:))
set(gca,'YLim',log2([min(period),max(period)]), ...
'YDir','reverse', ...
'YTick',log2(Yticks(:)), ...
'YTickLabel',Yticks)
% 95% significance contour, levels at -99 (fake) and 1 (95% signif)
hold on
contour(time,log2(period),sig95,[-99,1],'k');
hold on
% cone-of-influence, anything "below" is dubious
plot(time,log2(coi),'k')
hold off

%--- Plot global wavelet spectrum
subplot('position',[0.77 0.37 0.2 0.28])
plot(global_ws,log2(period))
hold on
plot(global_signif,log2(period),'--')
hold off
xlabel('Power (degC^2)')
title('c) Global Wavelet Spectrum')
set(gca,'YLim',log2([min(period),max(period)]), ...
'YDir','reverse', ...
'YTick',log2(Yticks(:)), ...
'YTickLabel','')
set(gca,'XLim',[0,1.25*max(global_ws)])

%--- Plot 2--8 yr scale-average time series
subplot('position',[0.1 0.07 0.65 0.2])

```

```

plot(time,scale_avg)
set(gca,'XLim',xlim(:))
xlabel('Time (year)')
ylabel('Avg variance (degC^2)')
title('d) 2-8 yr Scale-average Time Series')
hold on
plot(xlim,scaleavg_signif+[0,0], '--')
hold off

% end of code

%%*****
%                               INICIO JGrinsted    WT                               %
%                                                                                               %
%%*****
function varargout=wt(d,varargin)
%% Continous Wavelet Transform
% Creates a figure of wavelet power in units of
% normalized variance.
%
% USAGE: [wave,period,scale,coi,sig95]=wt(d[,params])
%
% d: a time series
% wave: the wavelet transform of d
% period: a vector of "Fourier" periods associated with wave
% scale: a vector of wavelet scales associated with wave
% coi: the cone of influence
%
% Settings: Pad: pad the time series with zeros?
% .         Dj: Octaves per scale (default: '1/12')
% .         S0: Minimum scale
% .         J1: Total number of scales
% .         Mother: Mother wavelet (default 'morlet')
% .         MaxScale: An easier way of specifying J1
% .         MakeFigure: Make a figure or simply return the output.
% .         BlackandWhite: Create black and white figures
% .         AR1: the ar1 coefficient of the series
% .              (default='auto' using a naive ar1 estimator. See ar1nv.m)
%
% Settings can also be specified using abbreviations. e.g. ms=MaxScale.
% For detailed help on some parameters type help wavelet.
%
%
% Example:
%     wt([0:200;sin(0:200)], 'dj', 1/20, 'bw', 'maxscale', 32)
%
% (C) Aslak Grinsted 2002-2014
%
% http://www.glaciology.net/wavelet-coherence

% -----
%The MIT License (MIT)
%
%Copyright (c) 2014 Aslak Grinsted
%Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a
%copy
%of this software and associated documentation files (the "Software"), to
%deal
%in the Software without restriction, including without limitation the
%rights
%to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell
%copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is

```



```

%%*****
%                               INICIO JGrinsted    XWT                               %
%                                                                           %
%%*****

function varargout=xwt(x,y,varargin)
%% Cross wavelet transform
% Creates a figure of cross wavelet power in units of
% normalized variance.
%
% USAGE: [Wxy,period,scale,coi,sig95]=xwt(x,y,[,settings])
%
% x & y: two time series
% Wxy: the cross wavelet transform of x against y
% period: a vector of "Fourier" periods associated with Wxy
% scale: a vector of wavelet scales associated with Wxy
% coi: the cone of influence
%
% Settings: Pad: pad the time series with zeros?
% .         Dj: Octaves per scale (default: '1/12')
% .         S0: Minimum scale
% .         J1: Total number of scales
% .         Mother: Mother wavelet (default 'morlet')
% .         MaxScale: An easier way of specifying J1
% .         MakeFigure: Make a figure or simply return the output.
% .         BlackandWhite: Create black and white figures
% .         AR1: the ar1 coefficients of the series
% .             (default='auto' using a naive ar1 estimator. See
ar1nv.m)
% .         ArrowDensity (default: [30 30])
% .         ArrowSize (default: 1)
% .         ArrowHeadSize (default: 1)
%
% Settings can also be specified using abbreviations. e.g.
ms=MaxScale.
% For detailed help on some parameters type help wavelet.
%
% Example:
%     t=1:200;
%     xwt(sin(t),sin(t.*cos(t*.01)),'ms',16)
%
% Phase arrows indicate the relative phase relationship between the
series
% (pointing right: in-phase; left: anti-phase; down: series1 leading
series2 by 90deg)
%
% Please acknowledge the use of this software in any publications:
%     "Crosswavelet and wavelet coherence software were provided by
%     A. Grinsted."
%
% (C) Aslak Grinsted 2002-2014
%
% http://www.glaciology.net/wavelet-coherence
%
% -----
%The MIT License (MIT)
%
%Copyright (c) 2014 Aslak Grinsted
%

```

```

%Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a
copy
%of this software and associated documentation files (the "Software"), to
deal
%in the Software without restriction, including without limitation the
rights
%to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell
%copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
%furnished to do so, subject to the following conditions:
%
%The above copyright notice and this permission notice shall be included in
%all copies or substantial portions of the Software.
%
%THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR
%IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY,
%FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE
%AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER
%LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING
FROM,
%OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN
%THE SOFTWARE.
%-----

% -----validate and reformat timeseries.
[x,dt]=formatts(x);
[y,dtY]=formatts(y);
if dt~=dtY
    error('timestep must be equal between time series')
end
t=(max(x(1,1),y(1,1)):dt:min(x(end,1),y(end,1)))'; %common time
period
if length(t)<4
    error('The two time series must overlap.')
end

n=length(t);

%-----default arguments for the wavelet transform-----
Args=struct('Pad',1,...      % pad the time series with zeroes
(recommended)
    'Dj',0.25, ...      % this will do 12 sub-octaves per octave
    'S0',2*dt,...      % this says start at a scale of 2 years
    'J1',10/0.25,... %12
    'Mother','Morlet', ...
    'MaxScale',[],...  %a more simple way to specify J1
    'MakeFigure',(nargout==0),...
    'AR1','auto',...
    'ArrowDensity',[30 30],...
    'ArrowSize',1,...
    'ArrowHeadSize',1);
Args=parseArgs(varargin,Args,{'BlackandWhite'});
if isempty(Args.J1)
    if isempty(Args.MaxScale)
        Args.MaxScale=(n*.17)*2*dt; %auto maxscale
    end
    Args.J1=round(log2(Args.MaxScale/Args.S0)/Args.Dj);
end

```

```

ad=mean(Args.ArrowDensity);
Args.ArrowSize=Args.ArrowSize*30*.03/ad;
Args.ArrowHeadSize=Args.ArrowHeadSize*Args.ArrowSize*220;

if strcmpi(Args.AR1,'auto')
    Args.AR1=[arlnv(x(:,2)) arlnv(y(:,2))];
    if any(isnan(Args.AR1))
        error('Automatic AR1 estimation failed. Specify them manually (use the arcov or arburg estimators).')
    end
end

%nx=size(x,1);
sigmax=std(x(:,2));

%ny=size(y,1);
sigmay=std(y(:,2));

%-----:----- ANALYZE -----:-----

[X,period,scale,coix] =
wavelet(x(:,2),dt,Args.Pad,Args.Dj,Args.S0,Args.J1,Args.Mother);%#ok
[Y,period,scale,coiy] =
wavelet(y(:,2),dt,Args.Pad,Args.Dj,Args.S0,Args.J1,Args.Mother);

% truncate X,Y to common time interval (this is first done here so
that the coi is minimized)
dte=dt*.01; %to cricumvent round off errors with fractional
timesteps
idx=find((x(:,1))>=(t(1)-dte)) & (x(:,1))<=(t(end)+dte));
X=X(:,idx);
coix=coix(idx);

idx=find((y(:,1))>=(t(1)-dte)) & (y(:,1))<=(t(end)+dte));
Y=Y(:,idx);
coiy=coiy(idx);

coi=min(coix,coiy);

% ----- Cross
Wxy=X.*conj(Y);

% sinv=1./(scale');
% sinv=sinv(:,ones(1,size(Wxy,2)));
%
% sWxy=smoothwavelet(sinv.*Wxy,dt,period,dj,scale);
%
Rsq=abs(sWxy).^2./(smoothwavelet(sinv.*(abs(wave1).^2),dt,period,dj,
scale).*smoothwavelet(sinv.*(abs(wave2).^2),dt,period,dj,scale));
% freq = dt ./ period;

%---- Significance levels
%Pk1=fft_theor(freq,lag1_1);
%Pk2=fft_theor(freq,lag1_2);
Pks=arlspectrum(Args.AR1(1),period./dt);

```

```

Pky=arlspectrum(Args.AR1(2),period./dt);

V=2;
Zv=3.9999;
signif=sigmax*sigmay*sqrt(Pkx.*Pky)*Zv/V;
sig95 = (signif)*(ones(1,n)); % expand signif --> (J+1)x(N) array
sig95 = abs(Wxy) ./ sig95;
if ~strcmpi(Args.Mother,'morlet')
    sig95(:)=nan;
end

Eixo_x= 1:365;
Eixo_x= Eixo_x';
if Args.MakeFigure
    Yticks = 2.^(fix(log2(min(period))):fix(log2(max(period))));

    imagesc(t,log2(period),log2(abs(Wxy/(sigmax*sigmay))));%#ok
    % logpow=log2(abs(Wxy/(sigmax*sigmay)));
    %
    [c,H]=contourf(t,log2(period),logpow,[min(logpow(:)).25:max(logpow(:))]);
    % set(H,'linestyle','none')

    clim=get(gca,'clim'); %center color limits around log2(1)=0
    clim=[-1 1]*max(clim(2),3);
    set(gca,'clim',clim)

    HCB=colorbar;
    set(HCB,'ytick',-7:7);
    barylbls=rats(2.^(get(HCB,'ytick')));
    barylbls([1 end],:)= ' ';
    barylbls(:,all(barylbls==' ',1))=[];
    set(HCB,'yticklabel',barylbls);

    %set(gca,'XLim',xlim(:)) %Mudando os limites do eixo x
    set(gca,'YLim',log2([min(period),max(period)]), ...
        'YDir','reverse', ...
        'YTick',log2(Yticks(:)), ...
        'YTickLabel',num2str(Yticks'), ...
        'layer','top')
    %xlabel('Time')
    ylabel('Period')
    hold on

    aWxy=angle(Wxy);

    phs_dt=round(length(t)/Args.ArrowDensity(1));
    tidx=max(floor(phs_dt/2),1):phs_dt:length(t);
    phs_dp=round(length(period)/Args.ArrowDensity(2));
    pidx=max(floor(phs_dp/2),1):phs_dp:length(period);

    phaseplot(t(tidx),log2(period(pidx)),aWxy(pidx,tidx),Args.ArrowSize,
        Args.ArrowHeadSize);

    if strcmpi(Args.Mother,'morlet')
        [c,h] = contour(t,log2(period),sig95,[1 1],'k');%#ok
        set(h,'linewidth',2)
    end

```

```

else
    warning('XWT:sigLevelNotValid','XWT Significance level
calculation is only valid for morlet wavelet.')
    %TODO: alternatively load from same file as wtc (needs to be coded!)
end
tt=[t([1 1])-dt*.5;t;t([end end])+dt*.5];
hcoi=fill(tt,log2([period([end 1]) coi period([1 end])])), 'w');
set(hcoi, 'alphadatamapping', 'direct', 'facealpha', .5)
hold off
end

```

```

varargout={Wxy,period,scale,coi,sig95};
varargout=varargout(1:nargout);

```

```

%%*****
%                               FIM   JGrinsted   XWT                               %
%                               %                               %
%%*****

```

```

%%*****
%                               INICIO JGrinsted   WTC                               %
%                               %                               %
%%*****

```

```

function varargout=wtc(x,y,varargin)
%% Wavelet coherence
%
% USAGE: [Rsqr,period,scale,coi,sig95]=wtc(x,y,[,settings])
%
% Settings: Pad: pad the time series with zeros?
% .         Dj: Octaves per scale (default: '1/12')
% .         S0: Minimum scale
% .         J1: Total number of scales
% .         Mother: Mother wavelet (default 'morlet')
% .         MaxScale: An easier way of specifying J1
% .         MakeFigure: Make a figure or simply return the output.
% .         BlackandWhite: Create black and white figures
% .         AR1: the ar1 coefficients of the series
% .             (default='auto' using a naive ar1 estimator. See ar1nv.m)
% .         MonteCarloCount: Number of surrogate data sets in the
% .             significance calculation. (default=300)
% .         ArrowDensity (default: [30 30])
% .         ArrowSize (default: 1)
% .         ArrowHeadSize (default: 1)
%
% Settings can also be specified using abbreviations. e.g. ms=MaxScale.
% For detailed help on some parameters type help wavelet.
%
% Example:
%     t=1:200;
%     wtc(sin(t),sin(t.*cos(t*.01)),'ms',16)
%
% Phase arrows indicate the relative phase relationship between the
% series
% (pointing right: in-phase; left: anti-phase; down: series1 leading
% series2 by 90°)
%
% Please acknowledge the use of this software in any publications:
% "Crosswavelet and wavelet coherence software were provided by
% A. Grinsted."
%

```

```

% (C) Aslak Grinsted 2002-2014
%
% http://www.glaciology.net/wavelet-coherence

% -----
%The MIT License (MIT)
%
%Copyright (c) 2014 Aslak Grinsted
%
%Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy
%of this software and associated documentation files (the "Software"), to deal
%in the Software without restriction, including without limitation the rights
%to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell
%copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
%furnished to do so, subject to the following conditions:
%
%The above copyright notice and this permission notice shall be included in
%all copies or substantial portions of the Software.
%
%THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR
%IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY,
%FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE
%AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY CLAIM, DAMAGES OR OTHER
%LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM,
%OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN
%THE SOFTWARE.
%-----

% -----validate and reformat timeseries.
[x,dt]=formatts(x);
[y,dt]=formatts(y);
if dt~=dt
    error('timestep must be equal between time series')
end
t=(max(x(1,1),y(1,1)):dt:min(x(end,1),y(end,1)))'; %common time
period
if length(t)<4
    error('The two time series must overlap.')
end

n=length(t);

%-----default arguments for the wavelet transform-----
Args=struct('Pad',1,... % pad the time series with zeroes
(recommended)
'Dj',0.25, ... % this will do 12 sub-octaves per
octave
'S0',2*dt,... % this says start at a scale of 2 years
'J1',12/0.25,...
'Mother','Morlet', ...
'MaxScale',[],... %a more simple way to specify J1
'MakeFigure',(nargout==0),...
'MonteCarloCount',300,...
'AR1','auto',...
'ArrowDensity',[30 30],...
'ArrowSize',1,...
'ArrowHeadSize',1);
Args=parseArgs(varargin,Args,{'BlackandWhite'});
if isempty(Args.J1)
    if isempty(Args.MaxScale)
        Args.MaxScale=(n*.17)*2*dt; %auto maxscale
    end
    Args.J1=round(log2(Args.MaxScale/Args.S0)/Args.Dj);

```

```

end

ad=mean(Args.ArrowDensity);
Args.ArrowSize=Args.ArrowSize*30*.03/ad;
%Args.ArrowHeadSize=Args.ArrowHeadSize*Args.ArrowSize*220;
Args.ArrowHeadSize=Args.ArrowHeadSize*120/ad;

if ~strcmpi(Args.Mother,'morlet')
    warning('WTC:InappropriateSmoothingOperator','Smoothing operator
is designed for morlet wavelet.')
end

if strcmpi(Args.AR1,'auto')
    Args.AR1=[arlnv(x(:,2)) arlnv(y(:,2))];
    if any(isnan(Args.AR1))
        error('Automatic AR1 estimation failed. Specify it manually
(use arcov or arburg).')
    end
end

nx=size(x,1);
%sigmax=std(x(:,2));

ny=size(y,1);
%sigmay=std(y(:,2));

%----:-----:----- ANALYZE -----:-----:-----

[X,period,scale,coix] =
wavelet(x(:,2),dt,Args.Pad,Args.Dj,Args.S0,Args.J1,Args.Mother);%#ok
[Y,period,scale,coiy] =
wavelet(y(:,2),dt,Args.Pad,Args.Dj,Args.S0,Args.J1,Args.Mother);

%Smooth X and Y before truncating! (minimize coi)
sinv=1./(scale');

sX=smoothwavelet(sinv(:,ones(1,nx)).*(abs(X).^2),dt,period,Args.Dj,scale);
sY=smoothwavelet(sinv(:,ones(1,ny)).*(abs(Y).^2),dt,period,Args.Dj,scale);

% truncate X,Y to common time interval (this is first done here so
that the coi is minimized)
dte=dt*.01; %to cricumvent round off errors with fractional
timesteps
idx=find((x(:,1))>=(t(1)-dte)&(x(:,1))<=(t(end)+dte));
X=X(:,idx);
sX=sX(:,idx);
coix=coix(idx);

idx=find((y(:,1))>=(t(1)-dte)&(y(:,1))<=(t(end)+dte));
Y=Y(:,idx);
sY=sY(:,idx);
coiy=coiy(idx);

coi=min(coix,coiy);

```



```

% ----- Cross wavelet -----
Wxy=X.*conj(Y);

% ----- Wavelet coherence -----
---
sWxy=smoothwavelet(sinv(:,ones(1,n)).*Wxy,dt,period,Args.Dj,scale);
Rsq=abs(sWxy).^2./(sX.*sY);

if (nargout>0) || (Args.MakeFigure)

wtcsig=wtcsignif(Args.MonteCarloCount,Args.AR1,dt,length(t)*2,Args.Pad,Args.
Dj,
Args.S0,Args.J1,Args.Mother,.6);
wtcsig=(wtcsig(:,2))*(ones(1,n));
wtcsig=Rsq./wtcsig;
end

if Args.MakeFigure

Yticks = 2.^(fix(log2(min(period))):fix(log2(max(period))));

H=imagesc(t,log2(period),Rsq);%#ok
%[c,H]=safecontourf(t,log2(period),Rsq,[0:.05:1]);
%set(H,'linestyle','none')

set(gca,'clim',[0 1])

HCB=colorbar;%#ok

set(gca,'YLim',log2([min(period),max(period)]), ...
'YDir','reverse','layer','top', ...
'YTick',log2(Yticks(:)), ...
'YTickLabel',num2str(Yticks'), ...
'layer','top')
ylabel('Period')
hold on

%phase plot
aWxy=angle(Wxy);
aaa=aWxy;
aaa(Rsq<.5)=NaN; %remove phase indication where Rsq is low
%[xx,yy]=meshgrid(t(1:5:end),log2(period));

phs_dt=round(length(t)/Args.ArrowDensity(1));
tidx=max(floor(phs_dt/2),1):phs_dt:length(t);
phs_dp=round(length(period)/Args.ArrowDensity(2));
pidx=max(floor(phs_dp/2),1):phs_dp:length(period);

phaseplot(t(tidx),log2(period(pidx)),aaa(pidx,tidx),Args.ArrowSize,A
rgs.ArrowHeadSize);

if ~all(isnan(wtcsig))
[c,h] = contour(t,log2(period),wtcsig,[1 1],'k');%#ok
set(h,'linewidth',2)
end
%suptitle([sTitle ' coherence']);
tt=[t([1 1])-dt*.5;t;t([end end])+dt*.5];

```


APÊNDICE - Rotina confeccionada para chamada de funções:

CTorrence: Paos Colorado modificada

JGrinsted: WT modificada

XWT (vide Anexo)

WTC (vide Anexo)

```

close all; % Limpando a Base de Dados
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               IMPORTAÇÃO da SÉRIE DE DADOS                               %
%                               ROTINA CONFECCIONADA PARA CHAMADA DE FUNÇÕES                %
%                               Formato do arquivo : Data,Hora,Cont,Temp,UR,vento,Pressao    %
%                               CALCULANDO O VALOR HORÁRIO da SÉRIE                      %
%                               - Valores originais obtidos em intervalo de 5min em 5min      %
%                               - Calcula-se média horária a cada 12 valores originais      %
%                               Função meanSemZero()                                     %
%                               calcula-se a média sempre desprezando os valores zerados da média %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

dados = csvread(ArquivoDados.csv',1,2);
tempMedia=[];
dadostempMedia=[];
urMedia=[];
dadosURMedia=[];
PressaoMedia=[];
dadosPressaoMedia=[];
VentoMedia=[];
dadosVentoMedia=[];
contador=0;
for i = 1:12:length(dados)
    contador = contador +1;
    % *****
    % Temperatura
    % *****
    temp_a= meanSemZero(dados(i:(i+11),2));
    tempMedia=[tempMedia; temp_a];
    dadostempMedia(contador,:)= [contador; temp_a];
    % *****
    % Umidade
    % *****
    temp_b=meanSemZero(dados(i:(i+11),3));
    urMedia=[urMedia;temp_b ];
    dadosURMedia(contador,:)= [contador; temp_b];
    % *****
    % Vento
    % *****
    temp_d=meanSemZero(dados(i:(i+11),4));
    VentoMedia=[VentoMedia;temp_d ];
    dadosVentoMedia(contador,:)= [contador; temp_d];
    % *****
    % Pressão
    % *****
    temp_c= meanSemZero(dados(i:(i+11),5));
    PressaoMedia=[PressaoMedia; temp_c];
    dadosPressaoMedia(contador,:)= [contador; temp_c];
end

```

```

%%*****
%
%          PREPARANDO ROTINA WAVELET CTorrence
%
%%*****

seriesname={'Media Temperatura' 'Media Umidade ' 'Media Vento '
'Media Pressão'};
QtdeDiasDados= 126;      % Total de dias com leituras
Indice_dt = 1/24;        % Intervalo de tempo em horas
IndPeriodicidade = 10;   % Intervalo de periodicidade

% *****
% GERANDO WAVELET Temperatura
% *****
figure('color',[1 1 1])
OrigemDados =seriesname{1};
CTorrence(tempMedia,QtdeDiasDados,OrigemDados,Indice_dt,IndPeriodici
dade);

% *****
% GERANDO WAVELET Umidade
% *****
figure('color',[1 1 1])
OrigemDados =seriesname{2};
CTorrence
(urMedia,QtdeDiasDados,OrigemDados,Indice_dt,IndPeriodicidade);

% *****
% GERANDO WAVELET Vento
% *****
figure('color',[1 1 1])
OrigemDados =seriesname{3};
CTorrence
(VentoMedia,QtdeDiasDados,OrigemDados,Indice_dt,IndPeriodicidade);

% *****
% GERANDO WAVELET Pressão
% *****
figure('color',[1 1 1])
OrigemDados =seriesname{4};
CTorrence
(PressaoMedia,QtdeDiasDados,OrigemDados,Indice_dt,IndPeriodicidade);

%% *****
%
%          PREPARANDO ROTINA WAVELET JGrinsted TWC
%
%%*****

% *****
% GERANDO WAVELET Temperatura e Umidade
% *****
figure('color',[1 1 1])
subplot('position',[0.1 0.55 0.70 0.35]) %Posição do gráfico na tela

```

```

posicaoGraficoTela= 0.55;           %Posição do 2º gráfico na tela

Indice_dt = 1/24;                   % Intervalo de tempo em horas
QtdeDiasDados= 126;                 % Total de dias com leituras
IndPeriodicidade = 10;              % Intervalo de periodicidade
varargin= 1;
TituloTabela =seriesname{1};
JGrinstedContinua(dadostempMedia,Indice_dt,posicaoGraficoTela,QtdeDiasDados,
TituloTabela,IndPeriodicidade, varargin)

subplot('position',[0.1 0.1 0.70 0.35])%Posição do 3ºgráfico na tela
posicaoGraficoTela= 0.1;             %Posição do 4º gráfico na tela
TituloTabela =seriesname{2};
JGrinstedContinua(dadosURMedia,Indice_dt,posicaoGraficoTela,QtdeDiasDados,
TituloTabela,IndPeriodicidade, varargin)

% *****%
% GERANDO WAVELET Vento e Pressao
% *****%
figure('color',[1 1 1])
subplot('position',[0.1 0.55 0.70 0.35])%Posição do gráfico na tela
posicaoGraficoTela= 0.55;           %Posição do 2º gráfico na tela

TituloTabela =seriesname{3};
JGrinstedContinua(dadosVentoMedia,Indice_dt,posicaoGraficoTela,QtdeDiasDados,
TituloTabela,IndPeriodicidade, varargin)

subplot('position',[0.1 0.1 0.70 0.35])%Posição do 3ºgráfico na tela
posicaoGraficoTela= 0.1;             %Posição do 4º gráfico na tela
TituloTabela =seriesname{4};
JGrinstedContinua(dadosPressaoMedia,Indice_dt,posicaoGraficoTela,QtdeDiasDados,
TituloTabela,IndPeriodicidade, varargin)

%%*****%
%
% TRANSFORMADA WAVELET CRUZADA (TWX)
%
% OBS: Gerando as Wavelets Cruzadas de
% Temperatura, Umidade, Vento e Pressão
%*****%

seriesname={'Temperatura ' 'Umidade' 'Vento' 'Pressão' 'PERIODO'};

% *****%
% TRANSFORMADA CRUZADA - Temperatura - Umidade
% *****%
figure('color',[1 1 1])
xwt(dadostempMedia,dadosURMedia)
title(['TWX ' seriesname{5} ':' seriesname{1} '-' seriesname{2} ] )

% *****%
% TRANSFORMADA CRUZADA - Temperatura - Vento

```

```

% *****%
figure('color',[1 1 1])
xwt(dadostempMedia,dadosVentoMedia)
title(['TWX ' seriesname{5} ':' seriesname{1} '-' seriesname{3} ] )

% *****%
% TRANSFORMADA CRUZADA - Temperatura - Pressão
% *****%
figure('color',[1 1 1])
xwt(dadostempMedia,dadosPressaoMedia)
title(['TWX ' seriesname{5} ':' seriesname{1} '-' seriesname{4} ] )

% *****%
% TRANSFORMADA CRUZADA - Umidade-Vento
% *****%
figure('color',[1 1 1])
xwt(dadosURMedia,dadosVentoMedia)
title(['TWX ' seriesname{5} ':' seriesname{2} '-' seriesname{3} ] )

% *****%
% TRANSFORMADA CRUZADA - Vento - Pressão
% *****%
figure('color',[1 1 1])
xwt(dadosURMedia,dadosPressaoMedia)
title(['TWX ' seriesname{5} ':' seriesname{2} '-' seriesname{4} ] )

% *****%
% TRANSFORMADA CRUZADA - Pressão - Vento
% *****%
figure('color',[1 1 1])
xwt(dadosPressaoMedia,dadosVentoMedia)
title(['TWX ' seriesname{5} ':' seriesname{4} '-' seriesname{3} ] )

%%*****%
%
%                               %
%                               %
%                               %
% OBS: Gerando as Wavelets Coherence %
%                               %
%                               %
%%*****%

% *****%
% TRANSFORMADA WAVELET COERÊNCIA - Temperatura - Umidade
% *****%
figure('color',[1 1 1])
wtc(dadostempMedia,dadosURMedia)
title(['CW: ' seriesname{1} '-' seriesname{2} ] )

% *****%
% TRANSFORMADA WAVELET COERÊNCIA - Temperatura - Vento
% *****%
figure('color',[1 1 1])
wtc(dadostempMedia,dadosVentoMedia)

```

```

title(['CW: ' seriesname{1} '-' seriesname{3} ] )

% *****%
% TRANSFORMADA WAVELET COERÊNCIA - Temperatura - Pressão
% *****%
figure('color',[1 1 1])
wtc(dadostempMedia,dadosPressaoMedia)
title(['CW: ' seriesname{1} '-' seriesname{4} ] )

% *****%
% TRANSFORMADA WAVELET COERÊNCIA - Umidade - Vento
% *****%
figure('color',[1 1 1])
wtc(dadosURMedia,dadosVentoMedia)
title(['CW: ' seriesname{2} '-' seriesname{3} ] )

% *****%
% TRANSFORMADA WAVELET COERÊNCIA - Umidade - Pressão
% *****%
figure('color',[1 1 1])
wtc(dadosURMedia,dadosPressaoMedia)
title(['CW: ' seriesname{2} '-' seriesname{4} ] )

% *****%
% TRANSFORMADA WAVELET COERÊNCIA - Pressão - Vento
% *****%
figure('color',[1 1 1])
wtc(dadosPressaoMedia,dadosVentoMedia)
title(['CW: ' seriesname{4} '-' seriesname{3} ] )
%%*****%

```



```

%%*****
%
%           PREPARANDO ROTINA WAVELET CTorrence
%
% https://github.com/chris-torrence/wavelets/tree/master/wave\_matlab%
%   Arquivos fontes originais encontrados no link acima
%
%   CTorrence(dados,TotalDias,nomeGrafico,dt,IndiceVertical)
%
%
%   Dados      : Valores das médias dos dados
%   TotalDias   : quantidade de tempo a ser analisado
%   nomeGrafico : Cabeçalho do gráfico
%   dt          : Intervalo de tempo
%   IndiceVertical: Intervalo de periodicidade
%
%%*****

function
varargout=CTorrence(dados,TotalDias,NomeGrafico,dt,IndiceVertical)

sst=dados; % importa os dados
%----- Computation

% normalize by standard deviation (not necessary, but makes it easier
% to compare with plot on Interactive Wavelet page, at
% "http://paos.colorado.edu/research/wavelets/plot/"
variance = std(sst)^2;
sst = (sst - mean(sst))/sqrt(variance) ;

n = length(sst);
time = [0:length(sst)-1]*dt + 1.0 ; % construct time array
xlim = [1,TotalDias]; % plotting range
pad = 1; % pad the time series with zeroes (recommended)
dj = 0.25; % this will do 4 sub-octaves per octave
s0 = 2*dt; % this says start at a scale of 6 months
j1 = IndiceVertical/dj; % this says do 7 powers-of-two with dj sub-
octaves each
lag1 = 0.72; % lag-1 autocorrelation for red noise background
mother = 'Morlet';

% Wavelet transform:
[wave,period,scale,coi] = wavelet(sst,dt,pad,dj,s0,j1,mother);
power = (abs(wave)).^2 ; % compute wavelet power spectrum

% Significance levels: (variance=1 for the normalized SST)
[signif,fft_theor] = wave_signif(1.0,dt,scale,0,lag1,-1,-1,mother);
sig95 = (signif')*(ones(1,n)); % expand signif --> (J+1)x(N) array
sig95 = power ./ sig95; % where ratio > 1, power is
significant

% Global wavelet spectrum & significance levels:
global_ws = variance*(sum(power')/n); % time-average over all
times
dof = n - scale; % the -scale corrects for padding at edges
global_signif = wave_signif(variance,dt,scale,1,lag1,-1,dof,mother);

```

```

% Scale-average between El Nino periods of 2--8 years
avg = find((scale >= 2) & (scale < 8));
Cdelta = 0.776; % this is for the MORLET wavelet
scale_avg = (scale')*(ones(1,n)); % expand scale --> (J+1)x(N)
array
scale_avg = power ./ scale_avg; % [Eqn(24)]
scale_avg = variance*dj*dt/Cdelta*sum(scale_avg(avg,:)); %
[Eqn(24)]

scaleavg_signif = wave_signif(variance,dt,scale,2,lag1,-
1,[2,7.9],mother);

whos

%----- Plotting

%--- Plot time series
subplot('position',[0.1 0.75 0.65 0.2])
plot(time,sst)
set(gca,'XLim',xlim(:))
xlabel('Tempo (dias)')
ylabel('Variabilidade')
title([' NomeGrafico ' ] )
hold off

%--- Contour plot wavelet power spectrum
subplot('position',[0.1 0.37 0.65 0.28])
levels = [0.0625,0.125,0.25,0.5,1,2,4,8,16] ;
Yticks = 2.^(fix(log2(min(period))):fix(log2(max(period))));
contour(time,log2(period),log2(power),log2(levels));
xlabel('Tempo (dias)')
ylabel('Periodo (dias)')
title([' NomeGrafico ' ] )
set(gca,'XLim',xlim(:))
set(gca,'YLim',log2([min(period),max(period)]), ...
'YDir','reverse', ...
'YTick',log2(Yticks(:)), ...
'YTickLabel',Yticks)
% 95% significance contour, levels at -99 (fake) and 1 (95% signif)
hold on
contour(time,log2(period),sig95,[-99,1],'k');
hold on
% cone-of-influence, anything "below" is dubious
plot(time,log2(coi),'k')
hold off
%colorbar;

%--- Plot global wavelet spectrum
subplot('position',[0.77 0.37 0.2 0.28])
plot(global_ws,log2(period))
hold on
plot(global_signif,log2(period),'--')
hold off
xlabel('Energia')
title('Espectro de Energia Global')
set(gca,'YLim',log2([min(period),max(period)]), ...
'YDir','reverse', ...
'YTick',log2(Yticks(:)), ...
'YTickLabel','')

```

[illegible]

```

%%*****
%
%
%               PREPARANDO ROTINA WAVELET JGrinstedContinua
%               https://github.com/grinsted/wavelet-coherence
%*****

function varargout=
JGrinstedContinua(d,dt,posicaoGrafico,QtdeDias,NomeGrafico,
Periodicidade, tipoWavelet, varargin)
%% Continuous Wavelet Transform
% Creates a figure of wavelet power in units of
% normalized variance.
%
% USAGE: [wave,period,scale,coi,sig95]= JGrinstedContinua (d[,params])
%
% d: a time series
% wave: the wavelet transform of d
% period: a vector of "Fourier" periods associated with wave
% scale: a vector of wavelet scales associated with wave
% coi: the cone of influence
%
% Settings: Pad: pad the time series with zeros?
% .      Dj: Octaves per scale (default: '1/12')
% .      S0: Minimum scale
% .      J1: Total number of scales
% .      Mother: Mother wavelet (default 'morlet')
% .      MaxScale: An easier way of specifying J1
% .      MakeFigure: Make a figure or simply return the output.
% .      BlackandWhite: Create black and white figures
% .      AR1: the ar1 coefficient of the series
% .      (default='auto' using a naive ar1 estimator. See ar1nv.m)
%
% Settings can also be specified using abbreviations. e.g. ms=MaxScale.
% For detailed help on some parameters type help wavelet.
%
%
% Example:
%      wt([0:200;sin(0:200)],'dj',1/20,'bw','maxscale',32)
%
% (C) Aslak Grinsted 2002-2014
%
% http://www.glaclology.net/wavelet-coherence
% -----
%The MIT License (MIT)
%
%Copyright (c) 2014 Aslak Grinsted
%
%Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining
%a copy of this software and associated documentation files (the
%"Software"), to deal in the Software without restriction, including
%without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish,
%distribute, sublicense, and/or sell
%copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is
%furnished to do so, subject to the following conditions:
%
%The above copyright notice and this permission notice shall be
%included in all copies or substantial portions of the Software.
%
%THE SOFTWARE IS PROVIDED "AS IS", WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND,
%EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF
%MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT.
%IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY
%CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT,
%TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE
%SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE.
%-----

% -----validate and reformat timeseries.
[d,dt2]=formatts(d);
variance = std(d(:,2))^2; %Realiza o desvio padriço e normaliza

```

```

d(:,2) = (d(:,2) - mean(d(:,2)))/sqrt(variance) ;
n=size(d,1);
sigma2=var(d(:,2));
lag1 = 0.72; % lag-1 autocorrelation for red noise background

%-----default arguments for the wavelet transform-----
Args=struct('Pad',1,...% pad the time series with zeroes
(recommended)
    'Dj',0.25,...%this will do 12 sub-octaves per octave (1/24=1h em1h)
    'S0',2*dt,... % this says start at a scale of 2 years
    'J1',Periodicidade/0.25,... %12
    'Mother',tipoWavelet, ... %
    'MaxScale',[],... %a more simple way to specify J1
    'MakeFigure',(nargout==0),...
    'AR1','auto');
Args=parseArgs(varargin,Args,{'BlackandWhite'});
if isempty(Args.J1)
    if isempty(Args.MaxScale)
        Args.MaxScale=(n*.17)*2*dt; %automaxscale
    end
    Args.J1=round(log2(Args.MaxScale/Args.S0)/Args.Dj);
end

if strcmpi(Args.AR1,'auto')
    Args.AR1=ar1nv(d(:,2));

    if any(isnan(Args.AR1))
        error('Automatic AR1 estimation failed. Specify it manually
(use arcov or arburg).')
    end
end

%----- Analyze: -----

[wave,period,scale,coi] =
wavelet(d(:,2),dt,Args.Pad,Args.Dj,Args.S0,Args.J1,Args.Mother);

t=d(:,1);
power = (abs(wave)).^2 ; % compute wavelet power spectrum
signif = wave_signif(1.0,dt,scale,0,Args.AR1,-1,-1,Args.Mother);
sig95 = (signif)*(ones(1,n)); % expand signif --> (J+1)x(N) array
sig95 = power ./ (sigma2*sig95);

% Global wavelet spectrum & significance levels:
global_ws = variance*(sum(power')/n); % time-average over all
times
dof = n - scale; % the -scale corrects for padding at edges
global_signif = wave_signif(variance,dt,scale,1,lag1,-
1,dof,Args.Mother);

levels = [0.0625,0.125,0.25,0.5,1,2,4,8,16,32,64,128,256] ;
Yticks = 2.^(fix(log
title(NomeGrafico)
    clim=get(gca,'clim'); %center color limits around log2(1)=0
    clim=[-1 1]*max(clim(2),3);
    set(gca,'clim',clim)

```

