

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

**DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA
COMPUTACIONAL DE PROCESSAMENTO ESPAÇO-
TEMPORAL APLICADA EM SÉRIES DE
PRECIPITAÇÃO**

GRACYELI SANTOS SOUZA GUARIENTI

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSIEL MAIMONE DE FIGUEIREDO

Cuiabá, MT

Maio de 2015

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

**DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA
COMPUTACIONAL DE PROCESSAMENTO ESPAÇO-
TEMPORAL APLICADA EM SÉRIES DE
PRECIPITAÇÃO**

GRACYELI SANTOS SOUZA GUARIENTI

*Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Física Ambiental da
Universidade Federal de Mato Grosso, como
parte dos requisitos para obtenção do Título
de Mestre em Física Ambiental.*

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSIEL MAIMONE DE FIGUEIREDO

Cuiabá, MT

Maio de 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S237d Santos Souza Guarienti, Gracyeli.
DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA
COMPUTACIONAL DE PROCESSAMENTO ESPAÇO-
TEMPORAL APLICADA EM SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO /
Gracyeli Santos Souza Guarienti. -- 2015
120 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Josiel Maimone de Figueiredo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física
Ambiental, Cuiabá, 2015.
Inclui bibliografia.

1. Séries de precipitação. 2. Resolução temporal. 3.
monitoramento ambiental. 4. Dynamic Time Warping (DTW). 5.

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: DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA
COMPUTACIONAL DE PROCESSAMENTO ESPAÇO-
TEMPORAL APLICADA EM SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO

AUTORA: GRACYELI SANTOS SOUZA GUARIENTI

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 27 de maio de 2015, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. Josiel Maimone de Figueiredo
Orientador
Instituto de Computação – UFMT


Prof. Dr. Raphael de Souza Rosa Gomes
Examinador Interno
Instituto de Computação – UFMT


Prof. Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá - UNIC

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu esposo César, que sempre esteve ao meu lado me apoiando e me incentivando a conquistar os meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

- À Deus pelo dom da vida e todas as graças concedidas.
- Aos meus pais Izaildo Santos Souza e Doralina B. Santos Souza, minha irmã Victória, que mesmo sofrendo com a distância continuam me apoiando e incentivando a vencer os momentos difíceis.
- Ao meu esposo César, meu companheiro de todas as horas, cujo amor me deu forças para encarar todas as dificuldades durante este período.
- Ao professor Dr. José de Souza Nogueira (Paraná) que desde o início mostrou-se amigo, sempre disposto a ajudar, aconselhar e incentivar meu crescimento intelectual e pessoal.
- A professora Dr.^a Marta Nogueira, pelo apoio e acolhimento.
- Ao professor Dr. Josiel Maimone de Figueiredo, pela oportunidade de ser sua orientanda, pela confiança depositada, paciência e por tudo que tem feito por mim desde quando nos conhecemos.
- À professora Dr.^a Luciana Sanches, pelo tempo que disponibilizou para me auxiliar, sendo paciente e atenciosa em vários momentos.
- Ao professor Dr. Peter Zeilhofer, por tudo que me ensinou desde o começo de nossa amizade, pelo incentivo e força nos momentos difíceis.
- Allan, Raphael, Nielsen e Thiago Meirelles por me ajudarem todas as vezes que precisei, tornando-se verdadeiros amigos.
- Aos meus colegas Jéssica e Sérgio, por todos os momentos dificuldades compartilhados.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro.

- A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Não importa onde você parou,
em que momento da vida você cansou, o
que importa é que sempre é possível e
necessário recomeçar.”*

Carlos Drummond de Andrade

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XVIII
RESUMO	XX
ABSTRACT	XXI
INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 MONITORAMENTO AMBIENTAL	3
2.2 PRECIPITAÇÃO	8
2.3 ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO.....	11
2.4 PROJETO TRMM.....	11
2.5 MONITORAMENTO DE PRECIPITAÇÃO	15
2.6 SÉRIES TEMPORAIS	17
2.6.1 <i>Método de Análise de Séries Temporais</i>	18
2.7 BUSCA POR SIMILARIDADE EM SÉRIES TEMPORAIS	22
2.7.1 <i>Dynamic Time Warping (DTW)</i>	23
2.8 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 DADOS DE ESTUDO	26
3.2 TRATAMENTO DOS DADOS	27
3.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	29
3.3.1 <i>Processo nas Wavelets</i>	30
3.3.2 <i>Processo nos Dados Originais</i>	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 RESULTADO MENSAL.....	32

4.1.1	<i>Amazônia</i>	33
4.1.2	<i>Cerrado</i>	36
4.1.3	<i>Pantanal</i>	39
4.1.4	<i>Mata Atlântica</i>	42
4.2	RESULTADO SEMESTRAL	46
4.2.1	<i>Amazônia</i>	47
4.2.2	<i>Cerrado</i>	50
4.2.3	<i>Pantanal</i>	53
4.2.4	<i>Mata Atlântica</i>	56
4.3	RESULTADO ANUAL	59
4.3.1	<i>Mata Atlântica</i>	60
4.3.2	<i>Amazônia</i>	63
4.3.3	<i>Pantanal</i>	66
4.3.4	<i>Cerrado</i>	69
4.4	RESULTADO SÉRIE COMPLETA	72
4.4.1	<i>Amazônia</i>	73
4.4.2	<i>Cerrado</i>	76
4.4.3	<i>Mata Atlântica</i>	79
4.4.4	<i>Pantanal</i>	82
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
5.1	CONTRIBUIÇÕES	87
5.2	TRABALHOS FUTUROS	88
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do monitoramento ambiental. Fonte: Adaptado de Alcântara, Moresi e Prado (2010).	4
Figura 2: Modelo de Processos para Mineração de Dados, CRISP-DM. Fonte: Chapman <i>et al.</i> , (2000)	5
Figura 3: Tipos de chuva. Fonte: Forsdyke (1978).	9
Figura 4: Pluviógrafo.....	10
Figura 5: Pluviômetro.....	10
Figura 6: Órbita do satélite TRMM. Fonte: NASA (2015).	13
Figura 7: Esquema de funcionamento dos sensores. Fonte: TRMM (2015).	14
Figura 8: Visualização do <i>wavelet</i> de Morlet, linha contínua. Fonte: Depizzol (2008).	20
Figura 9: Exemplo de duas séries temporais deslocadas horizontalmente, mas similares. Fonte: Keogh e Ratanamahatana (2005)	24
Figura 10: Funcionamento do DTW. Fonte: Berndt e Clifford (1994)	24
Figura 11: Localização da área de estudo.....	27
Figura 12: Fluxograma do pré-processamento de dados	28
Figura 13: Tabela gerada pelo script Python TM para manipulação dos dados de precipitação do projeto TRMM.	29
Figura 14: Diagrama de desenvolvimento da técnica espaço-temporal proposta.	30
Figura 15: Mapa com os pontos de referência, e seus pontos similares mensais.	33

Figura 16: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Amazônia, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002. 34

Figura 17: Séries temporais das *wavelets* de precipitação similares. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Amazônia, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002. 35

Figura 18: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Amazônia, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2003; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2001. 36

Figura 19: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Cerrado, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002. 37

Figura 20: Séries temporais da *wavelets* de precipitação similares. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Cerrado, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002. 38

Figura 21: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Cerrado, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2005. 39

Figura 22: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Pantanal, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2005; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002. 40

Figura 23: Séries temporais das <i>wavelets</i> de precipitação similares. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Pantanal, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2005; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002.	41
Figura 24: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Pantanal, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2004; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002.	42
Figura 25: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> . (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Mata Atlântica, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2005; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2003.	43
Figura 26: Séries temporais das <i>wavelets</i> de precipitação similares. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Mata Atlântica, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2005; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2003.	44
Figura 27: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Mata Atlântica, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2005; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2003.	45
Figura 28: Mapa com os pontos de referência e seus pontos similares.....	47
Figura 29: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> do bioma Amazônia. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2006; Ponto3: segundo semestre 2011; Ponto4: segundo semestre 2003.	48
Figura 30: Séries temporais das <i>wavelets</i> de precipitação similares do bioma Amazônia. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2006; Ponto3: segundo semestre 2011; Ponto4: segundo semestre 2003.	49

Figura 31: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação do bioma Amazônia. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2005; Ponto3: segundo semestre 2009; Ponto4: segundo semestre 2011.....	50
Figura 32: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> do bioma Cerrado. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2002; Ponto4: segundo semestre 2002.	51
Figura 33: Séries temporais das <i>wavelets</i> de precipitação similares do bioma Cerrado. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2002; Ponto4: segundo semestre 2002.	52
Figura 34: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação do bioma Cerrado. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2003; Ponto4: segundo semestre 2002.....	53
Figura 35: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> do bioma Pantanal. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2003; Ponto3: segundo semestre 2009; Ponto4: segundo semestre 2011.	54
Figura 36: Séries temporais das <i>wavelets</i> de precipitação similares do bioma Pantanal. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2003; Ponto3: segundo semestre 2009; Ponto4: segundo semestre 2011.	55
Figura 37: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação do bioma Pantanal. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2003; Ponto4: segundo semestre 2010.....	56
Figura 38: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> do bioma Mata Atlântica. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2002; Ponto4: segundo semestre 2012.....	57
Figura 39: Séries temporais das <i>wavelets</i> de precipitação similares do bioma Mata Atlântica. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2002; Ponto4: segundo semestre 2012.....	58

Figura 40: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação do bioma Mata Atlântica. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2003; Ponto4: segundo semestre 2011.....	59
Figura 41: Mapa com a relação de pontos referência e seus pontos similares	60
Figura 42: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> do bioma Mata Atlântica. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 2002; Ponto4: ano 2009.	61
Figura 43: Séries temporais das <i>wavelets</i> similares do bioma Mata Atlântica. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 2002; Ponto4: ano 2009.	62
Figura 44: Resultado do DTW aplicado aos dados originais de precipitação do bioma Mata Atlântica. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 2002; Ponto4: ano 2003.....	63
Figura 45: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> de precipitação do bioma Amazônia. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 1998; Ponto4: ano 2002.....	64
Figura 46: Séries temporais das <i>wavelets</i> de precipitação similares do bioma Amazônia. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 1998; Ponto4: ano 2002.....	65
Figura 47: Resultado do DTW aplicado aos dados brutos para o bioma Amazônia. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 2002; Ponto4: ano 2002.....	66
Figura 48: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> de precipitação do bioma Pantanal. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2003; Ponto3: ano 2007; Ponto4: ano 2002.....	67
Figura 49: Séries temporais das <i>wavelets</i> de precipitação similares do bioma Pantanal. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2003; Ponto3: ano 2007; Ponto4: ano 2002.....	68
Figura 50: Resultado do DTW aplicado aos dados originais de precipitação do bioma Pantanal. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 2007; Ponto4: ano 2002.	69

Figura 51: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> do bioma Cerrado. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2006; Ponto3: ano 2006; Ponto4: ano 2003.....	70
Figura 52: Séries temporais das <i>wavelets</i> similares do bioma Cerrado. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2006; Ponto3: ano 2006; Ponto4: ano 2003.	71
Figura 53: Resultado do DTW aplicado aos dados originais do bioma Cerrado. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2003; Ponto3: ano 2002; Ponto4: ano 2003.	72
Figura 54: Mapa dos pontos de referência e os pontos similares para a série toda.	73
Figura 55: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> . (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Amazônia; (Ponto2) Primeiro ponto similar; (Ponto3) Segundo ponto similar; (Ponto4) Terceiro ponto similar.	74
Figura 56: Séries temporais das <i>wavelets</i> similares do bioma Amazônia.	75
Figura 57: Resultado do DTW aplicado aos dados brutos para o bioma Amazônia.	76
Figura 58: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> . (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Cerrado; (Ponto2) Primeiro ponto similar; (Ponto3) Segundo ponto similar; (Ponto4) Terceiro ponto similar.	77
Figura 59: Séries temporais das <i>wavelets</i> similares do bioma Cerrado.....	78
Figura 60: Resultado do DTW aplicado aos dados brutos para o bioma Cerrado.	79
Figura 61: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> . (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Mata Atlântica; (Ponto2) Primeiro ponto similar; (Ponto3) Segundo ponto similar; (Ponto4) Terceiro ponto similar.	80
Figura 62: Séries temporais das <i>wavelets</i> similares do bioma Mata Atlântica.....	81
Figura 63: Resultado do DTW aplicado aos dados brutos para o bioma Mata Atlântica.	82

Figura 64: Similaridade entre espectros de energia das <i>wavelets</i> . (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Pantanal; (Ponto2) Primeiro ponto similar; (Ponto3) Segundo ponto similar; (Ponto4) Terceiro ponto similar.	83
Figura 65: Séries temporais das <i>wavelets</i> similares do bioma Pantanal.....	84
Figura 66: Resultado do DTW aplicado aos dados brutos para o bioma Pantanal.....	85

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CSV	<i>Comma-separated values.</i>
DTW	<i>Dynamic Time Warping</i>
GV	<i>Ground Validation</i>
GPI	<i>Goes Precipitation Index</i>
HDF	<i>Hierarchical Data Format</i>
JAXA	<i>Japan Aerospace Exploration Agency.</i>
LIS	<i>Lighting Imaging Sensor</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration.</i>
NetCDF	<i>Network Common Data Form</i>
PR	<i>Precipitation Radar</i>
PGFA	Programa de Pós Graduação em Física Ambiental
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados.
SIG	Sistema de Informação Geográfica.
TIROS	<i>Television and InfraRed Observation Satellite</i>
TMI	<i>TRMM Microwave Imager</i>

TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission.</i>
TWC	Transforma de <i>Wavelet</i> Contínua
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
VIRS	<i>Visible and Infrared Radiometer System</i>

RESUMO

GUARIENTI, G, S, S. **Desenvolvimento de uma técnica computacional de processamento espaço-temporal aplicada em séries de precipitação.** Cuiabá, 2015. 120p. Dissertação (Mestrado) - Pós Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

Variáveis climatológicas podem ser estudadas a partir de seu comportamento temporal. Nesse sentido, este trabalho desenvolveu uma técnica computacional de processamento espaço-temporal de variáveis climatológicas que utiliza busca por similaridade e a possibilidade de comparação em várias resoluções temporais. Para demonstração do uso da técnica e verificação dos resultados, sequências de processamento foram aplicadas em séries de precipitação de um período de quinze anos usando os algoritmos *Dynamic Time Warping* (DTW) e *wavelet* em quatro biomas: Amazônia, Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica. A técnica foi aplicada nas séries originais e em suas *wavelets*, com resoluções temporais mensal, semestral, anual e quinze anos de forma a permitir que análises específicas em cada resolução possam ser aplicadas. A flexibilidade e a variedade de resoluções temporais permitidas pela técnica torna possível acrescentar aos processos de monitoramento ambiental novas perspectivas em tomadas de decisão.

Palavras-chave: Séries de precipitação, Resolução temporal, monitoramento ambiental, *Dynamic Time Warping* (DTW) e *wavelet*.

ABSTRACT

GUARIENTI, G, S, S. *Development of a computational technique spatiotemporal processing applied in precipitation series*. Cuiabá, 2015. 120p. Dissertação (Mestrado) - Pós Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

Climatic variables can be studied from its temporal behavior. In this sense, this study developed a temporal analysis technique for climatological variables using similarity search and the possibility of comparison in various temporal resolution levels. For the income statement, several processing sequences were applied in series of precipitation a period of fifteen years using the Dynamic Time Warping algorithm (DTW) and wavelet on four biomes: Amazon, Cerrado, Pantanal and Atlantic Forest. The technique was applied to the original data and wavelets, in the temporal resolution of time monthly, semi-annual, annual and fifteen years enable visualization and comparison of data on these different scales. Application the technique developed in this study, provide new perspectives to decision-making in environmental monitoring processes.

Keywords: Precipitation series, temporal resolution, environmental monitoring, Dynamic Time Warping (DTW) and wavelet.

1. Introdução

Compreender as variáveis climáticas é fundamental para que a sociedade mantenha seu desenvolvimento e sobrevivência. Exemplos de variáveis climáticas que influenciam diretamente a vida na Terra são a temperatura, os índices pluviométricos e umidade relativa do ar.

Para a realização de análises estudos ambientais é necessário utilização de dados que possam ser obtidos por diversos equipamentos. Esses equipamentos são compostos por sensores utilizados para monitorar o ambiente, podendo gerar dados com características espaços temporais diversas.

A necessidade de manter e analisar os dados obtidos por esses equipamentos faz com que seja necessário utilizar técnicas computacionais para facilitar as buscas. A análise dos dados utilização de equipamentos para medir variáveis climáticas como a precipitação é importante, pois afeta a sociedade e a natureza.

As análises realizadas em dados de precipitação podem oferecer maneiras para realizar previsões e gerar modelos de planejamento econômicos, adequados à tarefa de gerenciar os recursos de uma maneira eficiente e sustentável.

O Programa de Pós-graduação em Física Ambiental (PGFA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) utiliza dados das estações micrometeorológicas, radares e satélites para obter dados de diversas variáveis climatológicas, como a precipitação. Esses dados são medidos ordenadamente no tempo, integrando assim, longas séries temporais.

A análise das séries temporais de dados ambientais e a recuperação de informações torna-se uma atividade complexa e custosa, por conta do volume de dados. A dificuldade em extrair e processar informações deste grande volume dados em diferentes resoluções temporais é uma necessidade em áreas como agricultura para planejar o período de colheita e plantio.

Neste contexto, o uso de técnicas focadas nas propriedades espaço-temporal possibilita e facilita a análise de dados climatológicos, auxiliando os pesquisadores que utilizam essas informações em suas pesquisas e tomadas de decisões.

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma técnica de processamento espaço-temporal para dados ambientais com foco na precipitação que flexibilize a análise desse tipo de dado.

1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Obter, estudar e pré-processar os dados de precipitação do projeto *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).
- Modelar o banco de dados para manipular os dados de precipitação do projeto TRMM.
- Utilizar o algoritmo de *wavelet* em séries temporais com diferentes resoluções de tempo.
- Implementar a técnica de similaridade de dados *Dynamic Time Warping* (DTW) em séries temporais e *wavelets* com diferentes resoluções de tempo.
- Avaliar resultados.

2. Fundamentação Teórica

O monitoramento ambiental pode ser realizado por meio da análise de medidas das variáveis ambientais e sua evolução no tempo. Assim, as medidas podem ser realizadas em diversas localidades em períodos curtos ou longos de tempo, o que permite que técnicas de análise espaço-temporal sejam aplicadas para o entendimento do comportamento das mesmas e com isso o comportamento do próprio ambiente.

2.1 Monitoramento Ambiental

O impacto ambiental é um desequilíbrio provocado pelo choque da relação do homem com o meio ambiente (SÁNCHEZ, 2006). O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1986), em sua resolução nº 1 de 23/01/1986, definiu-o como:

“[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que diretamente ou indiretamente afetam: a saúde, a segurança, e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias ambientais e a qualidade dos recursos ambientais”.

A solução dos problemas ambientais tem sido considerada cada vez mais urgente para garantir o futuro da humanidade e depende da relação que se estabelece entre sociedade e a natureza. Por meio do monitoramento ambiental é possível mensurar as ações decorrentes da influência da sociedade na natureza. As principais funções do monitoramento ambiental são: aprender sobre os eventos e tendências no ambiente; estabelecer relações entre eles; interpretar os dados e extrair informações para tomada de decisão e desenvolvimento de estratégias (ALCÂNTARA, MORESI e PRADO, 2010).

Por meio do monitoramento ambiental é possível obter informações sobre os fatores que influenciam o estado de conservação, preservação, degradação e recuperação ambiental da região estudada. Assim, para minimizar os impactos

ambientais, utiliza-se o monitoramento ambiental, que consiste no processo de coleta de dados, estudo e acompanhamento sistemático dos recursos ambientais. A fim de identificar e avaliar as condições dos recursos naturais em um período definido, bem como as tendências dessas variáveis ao longo do tempo (TUCCI e MENDES, 2006).

As etapas do monitoramento ambiental são utilizadas por pesquisadores para diversos estudos de recursos ambientais. A Figura 1 apresenta o ciclo das etapas para o monitoramento ambiental.



Figura 1: Etapas do monitoramento ambiental. Fonte: Adaptado de Alcântara, Moresi e Prado (2010).

Segundo Alcântara, Moresi e Prado (2010), o ciclo das etapas para monitoramento ambiental inicia-se pelo Planejamento e Direção, como mostra a Figura 1. Nesta fase os pesquisadores realizam o estudo sobre as necessidades da pesquisa de determinado recurso ambiental. Esse procedimento é importante, pois viabiliza o conhecimento do problema e lista as necessidades de monitorar determinado ambiente.

Então são utilizadas ferramentas para armazenar e processar as informações. Essa fase consiste no Armazenamento e Processamento de Informações do ciclo das etapas de monitoramento ambiental.

A próxima fase é a Coleta e Relatórios Adequados que de modo geral, corresponde à fase em que os pesquisadores buscam os dados referentes à pesquisa em questão, e produzem relatórios desses dados verificando sua relevância.

Na fase de Análises e Produção é feito a avaliação das hipóteses por meio de simulações com os dados obtidos da fase anterior, para que na fase seguinte seja avaliada a decisão considerada necessária, ou seja, na fase de Disseminação os pesquisadores realizam a tomada de decisão elaborando as ações a serem tomadas com base nos procedimentos já executados.

As etapas do monitoramento ambiental são semelhantes ao *Cross Industry Standard Process for Data Mining* (CRISP-DM) que apesar de inicialmente ser usado para indústria, também pode ser utilizado em projetos ambientais como meio de elencar as fases de um processo, como nos trabalhos de Thamada *et al.* (2013), Dourado *et al.* (2013), e, Meira e Rodrigues (2005).

O CRISP-DM, não depende de fornecedor e pode ser utilizado em qualquer aplicação. Shearer (2000) e Wirth (2000) apresentaram oficialmente em seus trabalhos o CRISP-DM, que apesar de ter sido proposto em 1996, foi exposto a comunidade científica somente no ano 2000. A Figura 2 mostra as etapas do CRISP-DM.

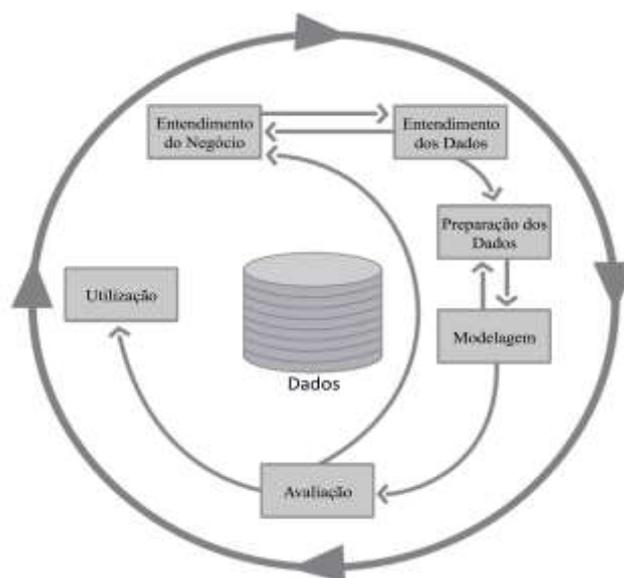


Figura 2: Modelo de Processos para Mineração de Dados, CRISP-DM. Fonte: Chapman *et al.*, (2000)

A primeira fase do CRISP-DM é o entendimento do negócio onde os objetivos do projeto são listados e a definição do problema é feita. Nessa fase é feita a coleta de dados e a escolha de como as variáveis serão medidas.

A segunda fase consiste no entendimento dos dados, onde todo conhecimento deve ser levantado e analisado para verificar, por exemplo, falhas que desqualifiquem os dados. Nesta etapa são executadas atividades que proporcionam entendimento prévio sobre o comportamento e os significados dos dados.

Os dados brutos são transformados para realização da mineração de dados, essa é a terceira fase que consiste na preparação dos dados. No caso das variáveis climáticas, podem ser aplicados filtros para retirada de ruídos, preenchimento de falhas para garantir a qualidade dos dados.

Na fase de modelagem, várias técnicas como detecção de padrões e agrupamento, classificação são selecionadas e aplicadas. Nessa etapa, que tem por objetivo a extração de conhecimento dos dados, é comum voltar à etapa anterior para corrigir problemas descobertos.

A quarta fase do CRISP-DM, consiste na avaliação dos modelos utilizados na fase anterior. São avaliados os padrões encontrados e comportamento dos dados. É importante destacar que nesta fase, a atuação do especialista, é imprescindível para avaliar os resultados dos modelos gerados. Na quinta e última fase do processo de mineração de dados CRISP-DM, o conhecimento adquirido é consolidado e disseminado para a comunidade.

O modelo de processos CRISP-DM assemelha-se com o monitoramento ambiental, pois possui um ciclo de atividades necessárias para extração de conhecimento de dados ambientais.

Diversas variáveis climatológicas são estudadas por pesquisadores no monitoramento ambiental. Neste contexto, os diferentes biomas podem influenciar os dados coletados do monitoramento ambiental, havendo a necessidade de também estudar os biomas durante o processo CRISP-DM para análise de dados ambientais.

Os biomas interferem na dinâmica climática tanto a nível local quanto a nível global. Colinvaux (1993) se refere ao bioma como um grande ecossistema composto por plantas e clima específico, porém não se deve supor que bioma e ecossistema sejam sinônimos, pois, esse possui uma unidade ecológica, estrutural e funcional, com seus componentes bióticos e abióticos.

Diversos autores tratam os biomas como formações ou complexo, assim o bioma é um agrupamento de fisionomia homogênea independente da composição florística. As principais formações vegetais naturais na comunidade terrestre correspondem aos biomas que estendem-se por um grande área e é controlada pelo macroclima. (DAJOZ, 1973). Este conceito também se aplica na influencia das variáveis climatológicas como a precipitação nos biomas brasileiros. O Quadro 1 apresenta a área aproximada e total dos biomas, onde é possível observar a abrangência e a variedade de biomas contidos no Brasil.

QUADRO 1: Biomas do Brasil.

Biomias Continentais Brasileiros	Área Aproximada (km²)	Área/Total Brasil
Bioma Amazônia	4.196.943	49.29%
Bioma Cerrado	2.036.448	23.92%
Bioma Mata Atlântica	1.110.182	13.04%
Bioma Caatinga	844.453	9.92%
Bioma Pampa	176.496	2.07%
Bioma Pantanal	150.355	1.76%
Área total Brasil	8.514.877	100%

FONTE: IBGE (2005).

Análises em diferentes biomas são executadas em monitoramento ambiental em diferentes resoluções de tempo, por exemplo, mensal, anual e semestral, para descoberta

de padrões em variáveis ambientais (TORRENCE e COMPO, 1998; TORRENCE e WEBSTER, 1999; NAKKEN, 1998; REBOITA, 2004; GUEDES *et al.* 2005 e BLAIN, 2010). Entre estas variáveis, a precipitação pluviométrica foi escolhida como objeto de estudo deste trabalho.

2.2 Precipitação

A água é imprescindível para vida no planeta, pois atua como um regulador térmico do ambiente. Isso ocorre principalmente porque ela mitiga a desigualdade de temperatura noturna, pois possui as propriedades de alto calor específico (0,5 cal/g °C), alto calor latente de vaporização (536 cal/g) e calor latente de fusão elevado (80 cal/g) (FREITAS e CASTRO JÚNIOR, 2004).

A energia solar incidida sobre a Terra retira em forma de vapor, a água, de sua superfície e adiciona ao sistema de circulação geral da atmosfera. Que então gera condições precipitáveis pelo resfriamento do ar úmido formando as nuvens e devolvendo a água para superfície terrestre através da chuva (WARD e ROBINSON, 2000).

São três os tipos de chuvas na natureza (Figura 3):

- Chuvas Convectivas são formadas por massas de ar quente, carregadas de vapor d'água, que ascendem, então o ar sofre resfriamento provocando a condensação, e, conseqüentemente, a precipitação. São características deste tipo de precipitação as chuvas em áreas pequenas, a curta duração, alta intensidade, trovoadas (KUO e ORVILLE 1973).
- Chuvas Orográficas são provenientes de uma massa de ar quente e úmido que se movimenta em paralelo a superfície até encontrar alguma barreira, provocando à elevação forçada do ar, que se esfria causando a condensação do vapor de água e como consequência a formação de nuvens que se precipitam. Este tipo de chuva é caracterizada por ter longa duração, baixa intensidade e não apresentar qualquer tipo de descarga elétrica (LUTGENS e TARBUCK, 1998; OLIVER e HIDORE, 2002).

- Chuvas Frontais são provenientes do deslocamento de frentes frias ou quentes contra frentes contrárias termicamente. A frente fria por ser mais densa, eleva a massa de ar quente e quando esta possuir umidade relativa elevada a chuva acontece. Este tipo de precipitação é caracterizada por ter menor intensidade e longa duração, durando vários dias, apresentando pausas e chuviscos entre fases mais intensas. Pode produzir ventos fortes e grande quantidade de raios. Ocorre em uma imensa área simultaneamente (KOUSKY, 1979).

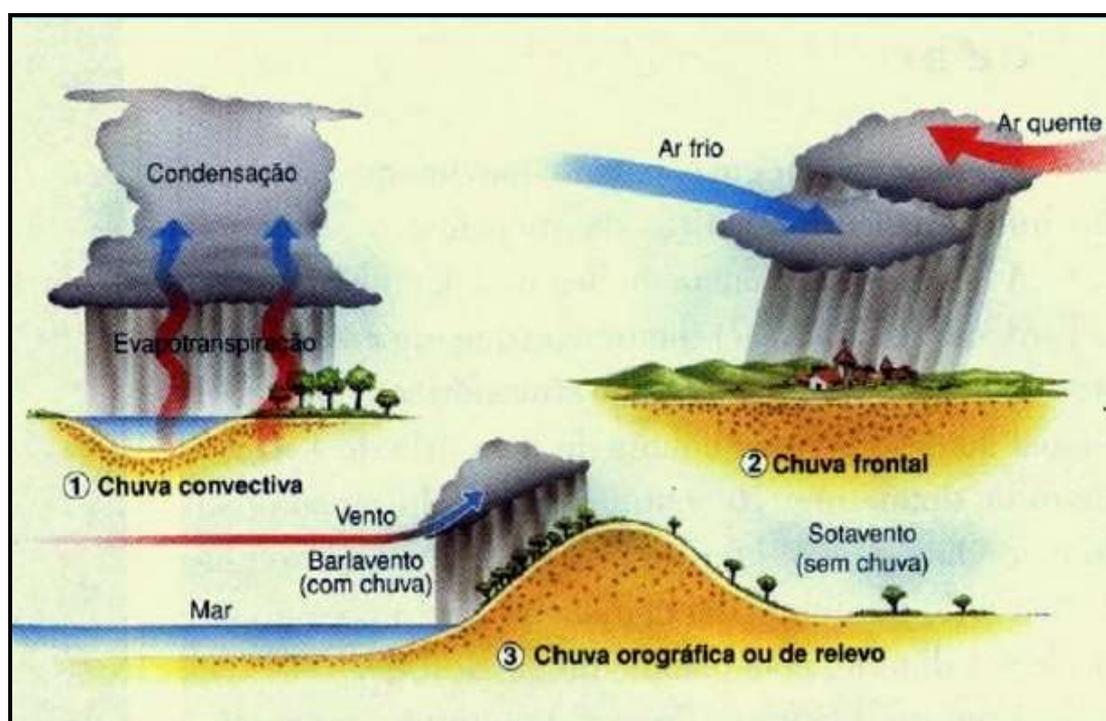


Figura 3: Tipos de chuva. Fonte: Forsdyke (1978).

A circulação do vapor d'água é importante para definir o clima de várias regiões, pois por meio dela ocorre a distribuição da precipitação em diferentes partes do planeta.

O volume, a distribuição e a periodicidade das precipitações determinam as características dos principais biomas terrestres, portanto a necessidade de monitorar esta variável climatológica é iminente.

A estimativa de precipitação é realizada comumente por pluviógrafo (Figura 4) e pluviômetro (Figura 5). Porém, muitas observações pluviométricas utilizando estes instrumentos apresentam falhas em seus registros devido à ausência do observador ou

por defeitos no aparelho, outra desvantagem é que os dados não representam uma região, apenas a precipitação pontual.



Figura 4: Pluviógrafo.



Figura 5: Pluviômetro.

As variações da precipitação no tempo e no espaço torna difícil sua estimativa (PARTAL e KIŞI, 2007). Atualmente pode ser estimada com sensoriamento remoto, por meio de satélites e radares meteorológicos, os quais, também permitem a quantificação da precipitação por áreas.

2.3 Estimativa de Precipitação por Sensoriamento Remoto

O *Television and InfraRed Observation Satellite* (TIROS I) foi o primeiro satélite meteorológico, que iniciou o processo de estimativa de precipitação por sensoriamento remoto. Isso possibilitou em abril de 1960, obter a estimativa e intensidade da chuva através da resposta espectral, por meio das primeiras imagens de topos de nuvem (PETTY, 1994).

Barrett (1970) observou que a radiação refletiva dos topos das nuvens poderia ser um indicador da sua espessura e volume de água. Nesta época as imagens não eram digitais, portanto seu método era simples, assumindo um volume de precipitação para cada tipo de nuvem. Só no final da década de 1970, as imagens começaram a ser digitais melhorando assim as estimativas.

Desenvolvido por Arkin (1979) o método de estimativa de precipitação usava o canal infravermelho do GOES, para calcular como se relacionava a cobertura e a temperatura do topo da nuvem, para estimar a precipitação da superfície na região dos trópicos.

Arkin e Meisner (1987) criaram o método Goes "*Precipitation Index*" (GPI), que se baseia na correlação entre a área de chuva e nuvens com temperaturas inferiores a -38.150°C , por ser simples este método ainda é usado atualmente.

Diversos estudos, inicialmente, utilizaram métodos baseados em imagens nas bandas visíveis e infravermelho, mas com o tempo começaram a utilizar imagens de sensores micro-ondas, disponibilizadas por exemplo, pelo satélite desenvolvido pelo projeto *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). Assim, tais técnicas poderiam ser expandidas e melhoradas para outros produtos além da precipitação.

2.4 Projeto TRMM

Com o objetivo de medir a precipitação nos trópicos e servir como fonte de dados para os pesquisadores, a *National Aeronautics And Space Administration*

(NASA¹) em parceria com a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA²) lançou o satélite TRMM no dia 27 de novembro de 1997 no Centro Espacial Tanegashima.

Desde seu lançamento, o número de pesquisas para comparar os dados estimados pelo projeto e avaliar sua acurácia tem crescido exponencialmente (BARRETT *et al.*, 1994; EBERT *et al.*, 1996; SMITH *et al.*, 1998; ADLER *et al.*, 2001; NICHOLSON *et al.*, 2003; FISHER, 2004). Estes trabalhos mostram que o satélite com seus sensores produzem bons resultados (LAYBERRY *et al.*, 2006).

As estimativas geradas pelo projeto TRMM são consideradas mais confiáveis do que outros satélites (BARRERA, 2005; NICHOLSON, 2005). São validados por *Ground Validation* (GV), que contém os valores de precipitação de várias estações localizados na superfície terrestre (WOLFF *et al.*, 2005).

A quantidade de trabalhos que utilizam os dados do TRMM para análise de dados de precipitação é significativa (COLLISCHONN, 2006; COLLISCHON *et al.*, 2007; NÓBREGA *et al.*, 2008), vários autores destacam sua importância, visto que a disponibilização dos dados contribui para a formação de uma base de dados de pluviosidade, tanto espacial, quanto temporal sendo utilizada em estudos climatológicos (NÓBREGA, 2008).

O satélite foi desenvolvido de maneira que pudesse medir os índices de precipitação das chuvas entre as latitudes 35°N e 35°S, e observar a influência destas no clima global (KUMMEROW *et al.*, 2000).

As observações incluem grandes áreas do oceano onde não há equipamentos para medição de precipitação. Os sensores disponíveis no satélite permitem o monitoramento de precipitação em locais de difícil acesso, sendo uma ferramenta útil para obter dados desses lugares (COLLISCHONN *et al.*, 2007).

¹ Disponível em < <http://www.nasa.gov/> > Acesso em 24 de janeiro de 2015.

² Disponível em < <http://www.jaxa.jp/> > Acesso em 24 de janeiro de 2015.

Os dados fornecidos pelo satélite TRMM são aplicados em várias pesquisas pelo mundo, destacando-se em contextos que tratam de locais onde não há registro de dados. A Figura 6 ilustra na região clara, os locais cobertos pelo satélite.

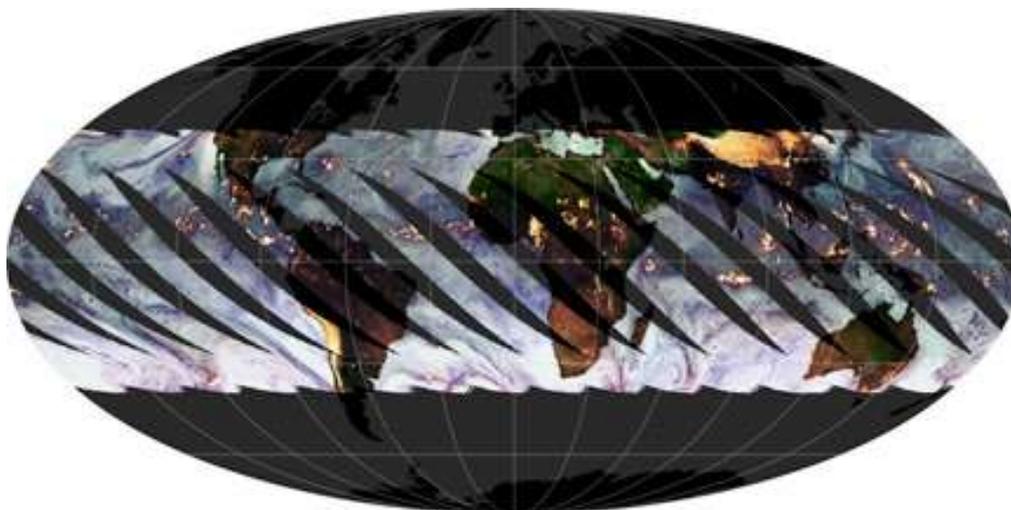


Figura 6: Órbita do satélite TRMM. Fonte: NASA (2015).

O satélite TRMM possui a bordo sensores que possibilitam a estimativa da precipitação, são eles: Imageador de Micro-ondas TRMM (TMI); Radar de Precipitação (PR) e Sistema de Radiômetro Visível e Infravermelho (VIRS). Possui ainda os sensores para mapeamento de relâmpagos (LIS) e sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (TRMM, 2015).

Os sensores presentes no satélite monitoram nuvens, precipitações, raios e outros aspectos do ciclo da água (PASSOW, 2010).

A Figura 7 apresenta o esquema de funcionamento dos sensores que terão os dados correlacionados para estimativa de precipitação.

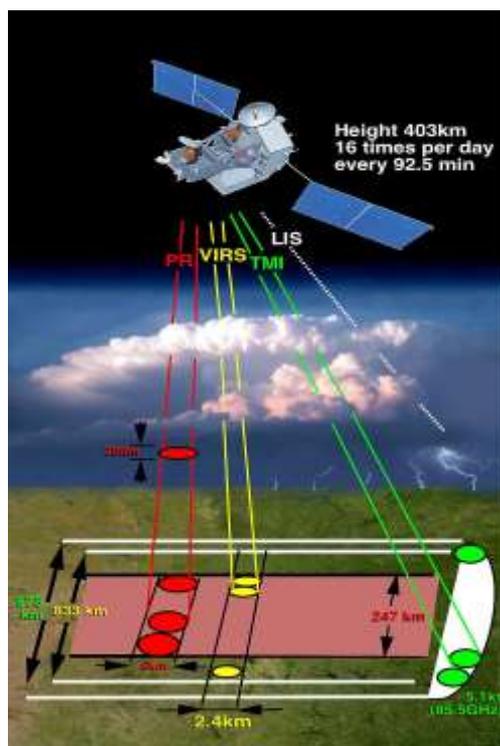


Figura 7: Esquema de funcionamento dos sensores. Fonte: TRMM (2015).

Segundo Macedo (2013), para refinar as estimativas de diferentes formações de nuvens, utiliza-se o PR, que é o primeiro radar meteorológico em órbita no mundo capaz de fornecer mapas tridimensionais com diversas estruturas.

O VIRS serve como um indicador indireto de condições precipitantes e o TMI é o principal instrumento na estimativa da precipitação, obtida através da lei inversa de Planck e correlação com a temperatura do topo da nuvem.

O projeto TRMM gera diversos produtos (estimativas) de acordo com a combinação de instrumentos usada no algoritmo de cálculo. Disponibiliza dados de precipitação com uma resolução temporal de três horas e resolução espacial de 0.25° por resultado do produto 3B42RT, para dados diários o produto 3B42 e dados mensais 3B43 (TRMM, 2015).

O conjunto dos dados produzidos por esses sensores permite a estimativa dos dados de precipitação para qualquer ponto dentro da órbita do satélite.

A grande vantagem ao usar os dados de precipitação do projeto TRMM é a abrangência do satélite sobre lugares onde existem apenas medidas pontuais, pois ao obter a precipitação por métodos tradicionais (pluviômetros e pluviógrafos) as informações refletem a chuva ocorrida exclusivamente no local que se encontram os instrumentos e, neste caso, é estendida para todo o território com base em métodos estatísticos ou matemáticos como interpolação de dados (NÓBREGA *et al.*, 2008).

O acesso aos dados de precipitação com uma boa qualidade é importante em muitas aplicações meteorológicas e hidrológicas. A insuficiência de dados para representação espacial e a falta de dados nas estações pluviométricas estimulam a utilização de imagens de satélites para representar a precipitação dessas áreas (MACEDO, 2013).

Segundo Nóbrega (2008), a NASA disponibiliza os dados de precipitação por padrão em formato binário, *Hierarchical Data Format* (HDF) ou *Network Common Data Form* (NetCDF). O conjunto de dados fornecidos pelo projeto integram dados históricos, que auxiliam no monitoramento da precipitação.

2.5 Monitoramento de Precipitação

Estudos da precipitação e sua distribuição no espaço e tempo são importantes para o gerenciamento sustentável dos recursos naturais. O aspecto da precipitação é amplamente estudado por vários pesquisadores, pois afeta diretamente múltiplos setores da sociedade e do meio ambiente (SANTOS *et al.*, 2002).

A análise da precipitação pode ser realizada em diferentes resoluções de tempo, por exemplo, em segundos, minutos, horas, dias, semanas, meses e etc. dependendo da necessidade da pesquisa.

Análise do comportamento de precipitação possibilita detectar tendências ou alterações no clima, em escalas locais ou regionais sendo possível compreender e elaborar projetos para a organização e planejamento (SANT' ANNA NETO, 2000).

São várias as consequências decorrentes do excesso, ou escassez das chuvas que podem ocasionar desastres ambientais, problemas de abastecimento hídrico, sanitário, afetando a produção agrícola, entre outros (KOBAYAMA *et al.*, 2006). Os eventos extremos de precipitação, por exemplo, estão associados às anomalias de temperatura registradas em quantidades específicas do oceano Pacífico, provocando o aquecimento superficial das águas do Pacífico Equatorial ou o resfriamento, respectivamente denominados El Niño e La Niña (MARCUSO e ROMERO, 2013).

As alterações do comportamento climático, como a precipitação, seca, cheia, frentes frias e intensidade dos ventos alísios, que atingem o centro-sul brasileiro, o nordeste, e também a região norte, representam o cenário que o El Niño e a La Niña podem promover (MARCUSO e ROMERO, 2013).

Há outros desastres ambientais que ocorrem no planeta, onde a precipitação está envolvida, podendo-se citar inundações ou deslizamentos ocasionados por tempestades, fortes chuvas e ventos, tornando-se mais graves quando ocorrem em regiões habitadas (TOMINAGA, 2009).

A escassez de precipitação também gera problemas como a seca permanente ou a estiagem, que dificultam a vida da população que vive nesses ambientes (AGUIAR, 2005).

Estudos que identificam as áreas mais suscetíveis a esses tipos de desastres e suas prováveis causas são importantes para prevenir e planejar ações de assistência para a população. É necessário auxiliar os gestores públicos em suas tomadas de decisões ligadas a trabalhos de prevenção de desastres e de direcionamento de recursos (PERETTI e NUMMER, 2012).

Os diferentes estudos feitos pelos cientistas que trabalham com monitoramento de precipitação avaliam o comportamento de séries temporais e os impactos da sociedade no meio ambiente com o objetivo de registrar os dados, prevenir possíveis desastres ambientais (TUCCI e MENDES, 2006).

2.6 Séries Temporais

Uma série temporal pode ser definida como conjunto de dados de qualquer acontecimento observados ordenadamente no tempo. Neste contexto, Savi (2006) caracteriza uma série temporal como um conjunto de valores discreto e numerável de uma variável.

É um termo genérico que apresenta comportamento dos dados e características em diferentes áreas de estudo. Exemplos de aplicações:

- Economia: preços diários de ações; taxa de desemprego.
- Medicina: níveis de eletrocardiograma ou eletroencefalograma.
- Epidemiologia: casos semanais de sarampo; casos mensais de AIDS, casos anuais de dengue.
- Meteorologia: temperatura; registro de marés, precipitação, velocidade do vento.

Segundo Ehlers (2009), os principais objetivos da análise de séries temporais são:

- Compreender a construção da série temporal.
- Predizer o comportamento futuro da série.
- Descrever o comportamento da série, ou seja, padrões e tendências.
- Procurar periodicidade relevante nos dados, análise espectral.
- Controlar a trajetória da série.

Nesse contexto, as análises realizadas nas séries podem ser executadas com diversas resoluções temporais para extrair diferentes informações da série de dados. Por exemplo, ao realizar uma análise em uma série de trinta anos, obtém-se o comportamento deste período, não sendo possível analisar comportamento diário, pois suas características estariam implícitas.

Segundo Chechi e Sanches (2013), nos últimos anos devido à influência exercida pelo clima, a análise de séries temporais aplicadas a dados meteorológicos tem atraído interesse em especial a precipitação.

Informações temporais de precipitação podem ser integradas a dados espaciais, permitindo manter um acompanhamento do histórico das mudanças nos objetos espaciais ao longo do tempo (SANTOS, 2010).

A visão do espaço e do tempo é uma experiência subjetiva do ser humano. Um dado espacial é um dado complexo, em que o espaço e o tempo se misturam ao se descrever uma realidade (KAVOURAS, 2001).

Em áreas em que o interesse básico é a periodicidade nos dados de uma série temporal, a análise espectral é fundamental (BLAIN e MORAES, 2011).

Um método que está sendo frequentemente utilizado para análise de séries temporais é a análise de ondaletas, ou *wavelets* (FURON *et al.*, 2008; ROCHA, 2008; LOH, 2003; FARIA, 1997; ALVES, FILHO e SILVEIRA, 2013).

2.6.1 Método de Análise de Séries Temporais

2.6.1.1 Transformada de Wavelet

Criada por Alfred Haar em 1909, para a análise de sinais, a Transformada de *wavelet*, desenvolvida década de 70 por Jean Morlet, visava descobrir o tratamento de sinais geofísicos com uma forma melhor (HARTER, 2004).

O primeiro a desenvolver um algoritmo para calcular a transformada de *wavelet*, foi o estudante de processamento de imagens, Stephane Mallat, que possibilitou o processamento de sinais de maneira computacional (BOLZAN, 2004).

Devido à natureza temporal de seus sinais, as variáveis meteorológicas demandam investigações baseadas no espaço tempo-frequência a fim de revelar características espectrais (NAKKEN, 1998).

A análise de *wavelets* é adequada para investigar tendências não estacionárias no sentido que suas propriedades estão continuamente mudando com o tempo (CHATFIELD *et al.*, 1996). Revela mudanças íngremes, pontos de quebra e descontinuidade nos sinais desse elemento (ROCHA, 2008).

Análises no domínio da frequência buscam a representação da série temporal em termos da contribuição de cada escala temporal, o conceito de espectro de uma série temporal é similar ao de um espectro óptico que fornece a repartição da energia, irradiada por determinada fonte, em função da frequência ou comprimento de onda. No caso do espectro de uma série temporal indica a contribuição das oscilações obtidas em várias frequências à variância total da série investigada (BLAIN, 2010).

A análise espectral é fundamental em áreas em que o interesse básico é a procura de periodicidade nos dados. Para a análise de dados meteorológicos, a transformada de *wavelet* é uma técnica útil, que possibilita a análise de séries temporais em tempo, escala e intensidade de energia (VILANI, 2011).

Transformada de *wavelet* contínua (TWC) é uma ferramenta excelente para mapear as mudanças de propriedades em séries não estacionárias. Dentre as técnicas de TWC, estão a do Chapéu Mexicano, a de Paul e a de Morlet, que permite a análise da fase e do módulo do sinal (SÁ *et al.*, 1999). Sua expressão é dada por:

$$TWC_f^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad \text{eq.(1)}$$

Onde $f(t)$ é a série utilizada e os parâmetros τ e s são chamados de translação e escala, respectivamente. O $\psi(t)$ é uma função chamada de ondaleta mãe, sendo:

$$\psi_{s,\tau}(t) = |s|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad \text{eq.(2)}$$

Usualmente são tomados valores especiais para τ e s : $s = 2^{-j}$, $\tau = k2^{-j}$.

A ondaleta-mãe funciona como uma janela de abertura finita percorrendo a função $f(t)$. A translação τ está relacionada a posição da janela, ou seja a posição que a

janela assume através do sinal. A escala s refere-se ao comprimento da abertura da janela.

Torrence e Compo (1998) e Nakken (1998) em seus estudos, afirmam que a escolha da *wavelet* depende do padrão de estudo, e que para o estudo de séries temporais com características oscilatórias, a *wavelet* Morlet é a mais apropriada para analisar a amplitude e a fase do sinal. A representação da *wavelet* Morlet é apresentada na Figura 8.

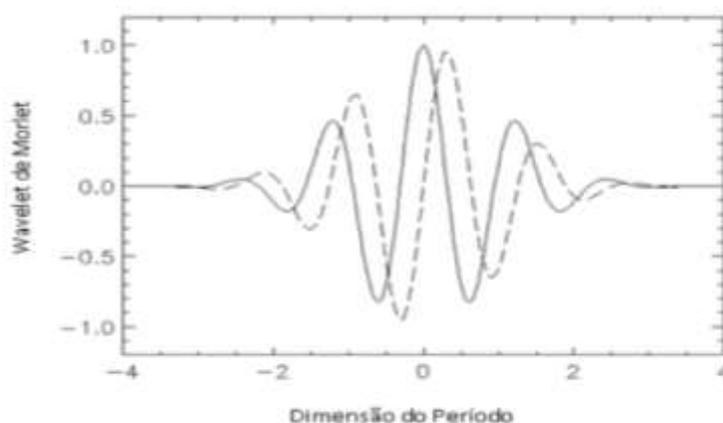


Figura 8: Visualização do *wavelet* de Morlet, linha contínua. Fonte: Depizzol (2008).

A equação 3, é uma forma aproximada da *wavelet* Morlet. O ψ é o valor da *wavelet* para um parâmetro não-adimensional, t e w_0 fornecem o número de oscilações dentro da *wavelet*, adota-se $w_0=6$ para satisfazer a condição de admissibilidade, que os erros devido a média não iguais a zero são menores que os erros típicos de arredondamento e t refere-se ao período ou escala temporal de análise..

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} e^{-t^2/2} e^{-i\omega_0 t} \quad \text{eq.(3)}$$

A transformada de *wavelet* Morlet pode representar um sinal de uma função em tempo e frequência simultaneamente, permitindo analisar qualquer sinal, seja ele não estacionário ou descontínuo o que comprova a tese de que para seu uso, não importam as características da série que se esteja analisando (LOH, 2003). Este é o maior benefício para utilização da transformada *wavelet* e motivo de seu emprego em várias aplicações (ROCHA, 2008).

Utilizando a transformada *wavelets* é possível revelar por meio do tempo e frequências (escalas), a parte do sinal que transporta energia significativa e em qual lugar isso acontece (BARBOZA *et al.*, 2005).

O resultado final da análise utilizando a transformada de *wavelet* possui o efeito de borda, dessa forma, é necessário utilizar o cone de influência que é representado por uma linha, sendo que os períodos fora da parte superior deste cone devem ser desconsiderados por não possuírem confiança estatística adequada (BARBOZA *et al.*, 2005). Na análise do espectro de energia, o eixo x mostra o comprimento temporal, ou seja, a resolução temporal (diária, mensal, anual), e o eixo y representa os períodos presentes na série; a escala de cores indica a energia associada a cada período da série.

O espectro de energia indica a amplitude observada (níveis de cores) no tempo (eixo das abcissas). O Quadro 2, apresenta uma legenda das cores do espectro de energia e seus significados.

QUADRO 2: Representação das cores do espectro de energia das *wavelets* e seus significados.

Legenda do nível de energia	
Representação	Significado
	Alto nível de energia
	Nível de energia intermediário a alto.
	Nível de energia baixo a intermediário.
	Baixo nível de energia.
	Não possui energia.

A análise do espectro de energia das *wavelets* tem sido utilizada em vários ramos da ciência, como em economia na econometria no tratamento de séries temporais utilizadas para realizar previsão (TORRENCE e COMPO, 1998; MORETTIN, 1999), em sistemas hidrológicos (NORDEMANN, 1998), no estudo do número de manchas

solares (BOLZAN, 2004), visão computacional e humana, estudos sobre turbulência atmosférica (SÁ *et al.*, 1999), processamento de imagens (OLIVEIRA e FAVERO, 2002), descontaminação de sinais (TASWELL, 2000), detecção de rupturas e bordas, tons musicais (FARIA, 1997), em eletrocardiogramas (REDDY *et al.*, 1992), visualização volumétrica, previsão de mercados financeiros, solução de equações diferenciais ordinárias e parciais (OLIVEIRA *et al.*, 2002), e, atualmente, em estudos na área ambiental, especialmente no que se refere a estudos do clima.

Para realizar a análise da Transformada *wavelet*, é necessário utilizar dados ordenados sequencialmente no tempo, que em sua maioria integram um grande volume de dados.

2.7 Busca por Similaridade em Séries Temporais

Comparar dados complexos não é uma tarefa simples, pois estes dados são comumente comparados utilizando características do seu conteúdo, que descreve o dado a nível semântico.

Em séries temporais, a comparação por similaridade implica na criação de vetores de características que é definido pelo conjunto de elementos e sua relação de similaridade.

A busca por similaridade em dados complexos pode ter vários objetivos como classificação, recuperação por conteúdo, agrupamento, detecção de anomalias, identificação de padrões, extração de regras de associação e também previsão de valores futuros (LAST *et al.*, 2004).

Por meio de uma função distância é possível obter o grau de similaridade entre as séries espaço-temporais. Segundo Traina *et al.* (2002), seja as séries x , y e z , a distância deve satisfazer três requisitos para seu cálculo:

- Simetria ($d(x, y) = d(y, x)$)
- Não negatividade ($0 < d(x, y) < \infty$, $x \neq y$, $d(x, x) = 0$)

- Desigualdade Triangular ($d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$).

O requisito simetria diz que a distância entre os dois objetos x e y é igual a distancia y e x . A não negatividade implica que o resultado da função distância sempre será maior que zero. E por fim, a Desigualdade Triangular, diz que a soma entre as distancias é sempre maior ou igual a distância entre os objetos.

Uma maneira para calcular a distância entre dois pontos, ou séries temporais é a *Dynamic Time Warping* que permite o alinhamento entre as séries temporais comparadas.

2.7.1 *Dynamic Time Warping (DTW)*

A técnica para análise de similaridade conhecida como *Dynamic Time Warping* (DTW) tem aplicações em análise do histórico de preços de ações, mineração de dados (RATANAMAHATANA e KEOGH, 2004), reconhecimento de gestos (ALON *et al.*, 2009) processamento da fala (ZHANG e GLASS, 2011), comparação entre séries de imagens médicas (FELIPE *et al.*, 2005) e reconhecimento de fala (BERNDT e CLIFFORD, 1994).

Alguns pesquisadores afirmam que o DTW é a melhor técnica para medir distâncias entre domínios (RAKTHANMANON *et al.*, 2012). O DTW apresenta as comparações de curvas com resultados que fazem sentido, esta característica dele faz com que seu uso seja desejado (NIELS, 2004).

As comparações entre as séries são feitas com maior flexibilidade, ou seja, uma série pode ser comparada com pontos adjacentes de várias séries. A Figura 9, em **A** observa-se as séries temporais similares, após os cálculos de distâncias, tem-se em **B** a matriz de distâncias, ponto a ponto entre as séries. Em **C** é mostrado as duas séries alinhadas o que possibilita executar o cálculo do DTW entre as séries.

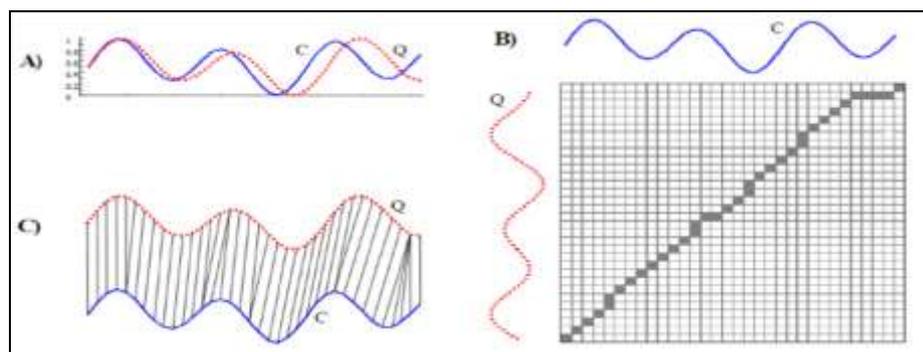


Figura 9: Exemplo de duas séries temporais deslocadas horizontalmente, mas similares.

Fonte: Keogh e Ratanamahatana (2005)

O DTW funciona da seguinte maneira: dado duas séries temporais, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ e $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$ alinha as séries na forma de um grid $n \times m$ (Figura 10), onde n e m são os tamanhos das séries e cada ponto $\{i, j\}$ do grid corresponde a um alinhamento entre os elementos das séries.

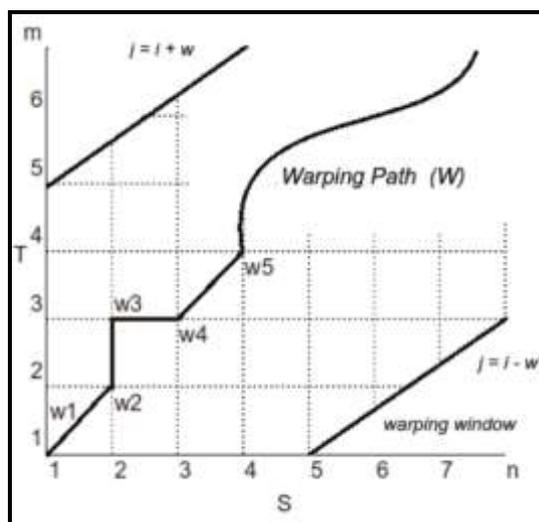


Figura 10: Funcionamento do DTW. Fonte: Berndt e Clifford (1994)

Para encontrar a sequência de pontos no grid $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$, o DTW utiliza programação dinâmica para verificar a proximidade das séries, diminuindo a medida da distância entre séries que possuem desenvolvimentos semelhantes (KEOGH e RATANAMAHATANA, 2005).

Para Berndt e Clifford (1994) a DTW é então dada por:

$$DTW(X, Y) = \min \left\{ \sqrt{\sum_{k=1}^K w_k} \right\} \quad \text{eq.(4)}$$

A utilização de técnicas de análise de similaridade, como DTW para extração de informação em séries espaço-temporais de precipitação auxilia pesquisadores no monitoramento ambiental, facilitando assim as tomadas de decisões por meio da comparação entre as séries.

2.8 Conclusão do Capítulo

Os dados ambientais representados por meio de séries temporais podem ter seu comportamento analisado seguindo processos de mineração de dados em diferentes resoluções temporais. As etapas de tratamento e processamentos dos dados são realizadas com técnicas de *wavelets* e análise por similaridade que permitem uma análise minuciosa de séries temporais de dados ambientais.

3. Materiais e Métodos

Este trabalho utiliza a Transformada de *wavelet* e dados originais em várias resoluções de temporais para realização de uma análise espaço-temporal com foco na precipitação, a análise de similaridade DTW foi utilizada para recuperação por conteúdo.

3.1 Dados de Estudo

Para o desenvolvimento da análise, foram utilizados dados de precipitação do período de 1998 a 2013 do projeto TRMM, com resolução temporal mensal, semestral, anual, e uma série de quinze anos de precipitação.

A área de estudo possui 2600 pontos localizados em uma região de diferentes biomas: Amazônia, Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica.

O estudo da precipitação em biomas diferentes permite a visualização do comportamento temporal em locais que possuem vegetação distinta. Segundo Collischonn *et al.*, (2008), estudos da precipitação estimada por satélite no bioma Amazônia pode ser uma alternativa prática para verificar o comportamento temporal da precipitação, no Cerrado, o segundo maior bioma brasileiro a precipitação estimada pelo TRMM foi considerada como uma ferramenta de grande eficiência para análise dos dados (SILVA e FERREIRA, 2013), assim como no bioma Pantanal (SOUSA *et al.*, 2013)).

Os pontos utilizados para o processamento foram escolhidos aleatoriamente em cada bioma pertencente à área de estudo. A Figura 11 ilustra a localização da área de estudo e os pontos escolhidos para processamento utilizados neste trabalho.

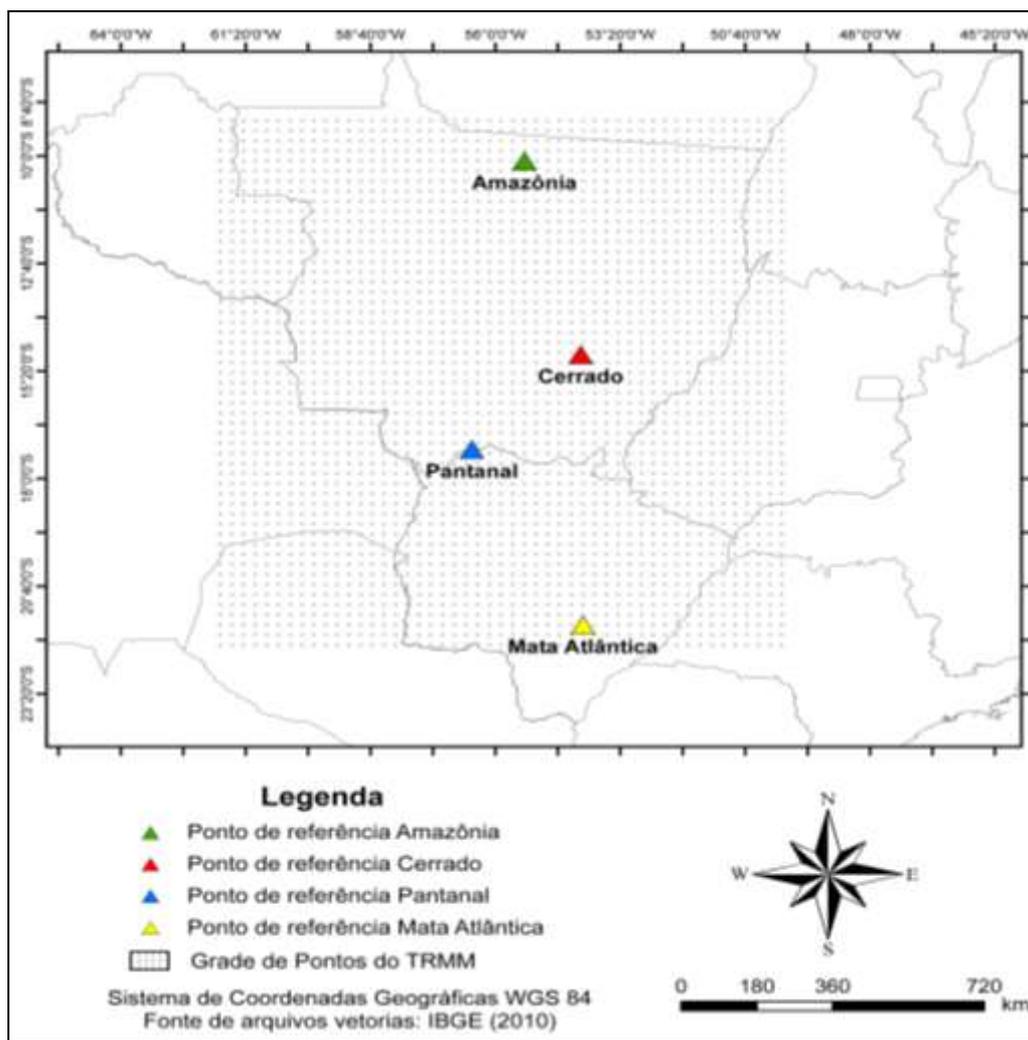


Figura 11: Localização da área de estudo.

Os dados de precipitação do projeto TRMM utilizados no presente trabalho estão em formato binário NetCDF dispostos em forma de matriz, portanto para executar buscas temporais com maior facilidade foi realizado o tratamento dos dados e armazenados no banco de dados.

3.2 Tratamento dos dados

Este estudo utilizou ferramentas computacionais, que auxiliaram na extração e sintetização espaço-temporal de dados diários de precipitação provenientes produto 3B42 do projeto TRMM.

O fluxograma apresentado na Figura 12 mostra as atividades necessárias para o tratamento dos dados de precipitação.



Figura 12: Fluxograma do pré-processamento de dados

Na primeira etapa foi feito o *download* dos dados do produto 3B42 que possui resolução temporal diária e resolução espacial de 0.25° . Por conta do formato em que os dados são disponibilizados, sua manipulação utilizando banco de dados, planilhas eletrônicas, programas estatísticos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) torna-se uma atividade complicada.

Desse modo na segunda etapa do processamento dos dados foi feita conversão dos dados de precipitação disponibilizados em arquivos NetCDF em forma de matriz em um arquivo CSV³, utilizando *script* PythonTM, desenvolvido durante o presente estudo. Este *script* é executável independente de plataforma, e transformou os dados matriciais em uma tabela que contém os atributos data, latitude, longitude e a precipitação em milímetros.

³*Comma-Separated Values* (CSV) é um formato de arquivo que armazena dados tabelados, separados por um delimitador, geralmente vírgulas e a quebra de linha para separar os valores.

Na terceira etapa os dados processados do projeto TRMM, foram armazenados no banco de dados, a Figura 13 apresenta a representação dos dados. O SGBD escolhido foi o PostgreSQL⁴ na versão 9.1, que possui código aberto, confiabilidade e integridade na transação de dados.

TRMM
Data: date
Latitude: numeric
Longitude: numeric
Valor_precipitado: numeric
Latitude_Longitude_data: index

Figura 13: Tabela gerada pelo script PythonTM para manipulação dos dados de precipitação do projeto TRMM.

As etapas de tratamento dos dados de precipitação possibilitaram a construção do banco de dados para realização do processamento espaço-temporal das *wavelets* e das séries temporais originais, realizadas no presente trabalho.

3.3 Processamento dos dados

O padrão de modelagem de processos de negócio, *Business Process Model and Notation* (BPMN) fornece uma notação gráfica para especificação de processos. Sendo uma excelente alternativa para modelar os processos realizados no neste trabalho.

A Figura 1 apresenta as etapas do processo, para realização aplicação da técnica do processamento espaço-temporal utilizando o modelo de negócios BPMN. A aplicação da técnica nos processos foi implementada no *software* Matlab para todos os pontos⁵ da grade de dados do TRMM. Os dados utilizados em ambos processos, estão armazenados no SGBD PostgreSQL.

⁴ Disponível em <<http://www.postgresql.org/>> Acesso em 30 de setembro de 2014.

⁵ Pontos refere-se as coordenadas geográficas.

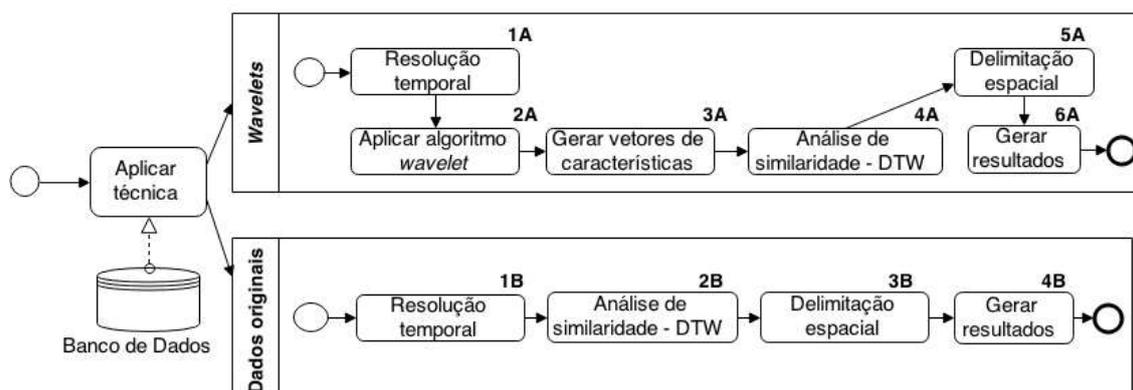


Figura 14: Diagrama de desenvolvimento da técnica espaço-temporal proposta.

Os resultados de cada etapa dos processos foram armazenados totalizando 32 *gigabytes*, possuindo 468.000 arquivos na análise com resolução temporal mensal, 78.000 arquivos com resolução semestral, 39.000 arquivos com resolução anual e 2600 arquivos com a resolução de quinze anos.

Para iniciar os processos ilustrados pela Figura 14, foram definidos na etapa de “Aplicar técnica”, dois processos: processamento de similaridade das *wavelets* e dos dados originais.

3.3.1 Processo nas *Wavelets*

O processo que consistiu em analisar o espectro de energia das *wavelets*, possui seis etapas. A etapa (1A) inicia-se com a delimitação da resolução temporal. Assim, para o processamento realizado com frequência mensal, semestral, anual, foram utilizados os dados de precipitação diária, e, para o processamento de quinze anos foi utilizada a precipitação acumulada mensal.

Na etapa (2A) foi aplicado o algoritmo de *wavelet* Morlet implementado no Matlab, com as resoluções temporais especificadas, gerando várias imagens. O processamento do espectro de energia das *wavelets* foi realizado levando-se em consideração a parte superior do cone de influência, pois devido à transformada de *wavelet* não ser completamente localizada no tempo, o resultado final possui efeitos de bordas que é próprio do método, por isso existe a necessidade do uso o cone de

influência, em que os efeitos de borda podem ser desprezados (BARBOZA e BLITZKOW, 2008).

Na etapa (3A) foi realizada a distribuição de frequências das *wavelets* utilizando histogramas para representar cada linha das *wavelets*. Os valores da parte inferior do cone de influência foram retirados para que a análise de similaridade fosse realizada apenas nas linhas da parte superior do cone, dessa forma foram gerados vetores de características para representar as *wavelets*.

Na etapa (4A) foi utilizada a análise de similaridade DTW para verificar qual vetor de característica possui similaridade ao vetor selecionado para análise, dessa forma, o vetor de característica escolhido foi comparado com todos os vetores de características de todos os pontos do banco de dados.

A análise espacial foi realizada na etapa (5A) com a delimitação espacial, ou seja, os dados recuperados da análise DTW foram filtrados para retirar os pontos com coordenadas vizinhas. Na última etapa (6A), foram gerados os resultados da técnica aplicada na análise do espectro de energia das *wavelets*.

3.3.2 Processo nos Dados Originais

O processo que consistiu em aplicar a técnica nos dados brutos apresentado, possui quatro etapas. Sendo assim, na etapa (1B) foi feito a delimitação da resolução temporal: mensal, semestral, anual, utilizando dados diários, e para aplicar a técnica na série completa de quinze anos foi utilizado a precipitação acumulada mensal.

Na etapa (2B), foi executada a análise de similaridade DTW diretamente nos dados originais de precipitação, ou seja foi verificada a similaridade entre as séries armazenadas no banco de dados.

Na etapa (3B) foi executada a análise espacial, retirando os pontos próximos ao ponto de referência. E por fim, na última etapa (4B), foram gerados os resultados do processamento dos dados brutos.

4. Resultados e Discussão

Para realizar o processamento dos dados de precipitação no presente trabalho, foram escolhidos quatro pontos em biomas diferentes e aplicado a técnica de similaridade DTW sobre as *wavelets* e os dados brutos com resolução temporal: mensal, semestral, anual e da série completa de quinze anos.

4.1 Resultado Mensal

A técnica de análise por similaridade DTW foi realizada em *wavelets* com resolução temporal mensal. Para isso, o algoritmo *wavelet* utilizou as séries históricas armazenadas em dados diários no banco de dados PostgreSQL.

O processamento levou em consideração as frequências do espectro de energia dentro do cone de influência, visto que os períodos fora desta área devem ser desconsiderados devido ao efeito de borda, característico da análise de *wavelets*.

O mapa apresentado na Figura 15 mostra os pontos de referência, as séries temporais similares e as *wavelets* semelhantes ao ponto selecionado para processamento.

O Ponto 1, é o ponto de referência cujo o mês utilizado para processamento foi janeiro do ano de 2002 por possuir precipitação na maior parte dos dias do mês. O mês escolhido foi o mesmo para todos os pontos analisados e comparados com todos os meses do ano de todas as séries temporais e *wavelets*. O primeiro ponto selecionado para processamento situa-se no bioma Amazônia.

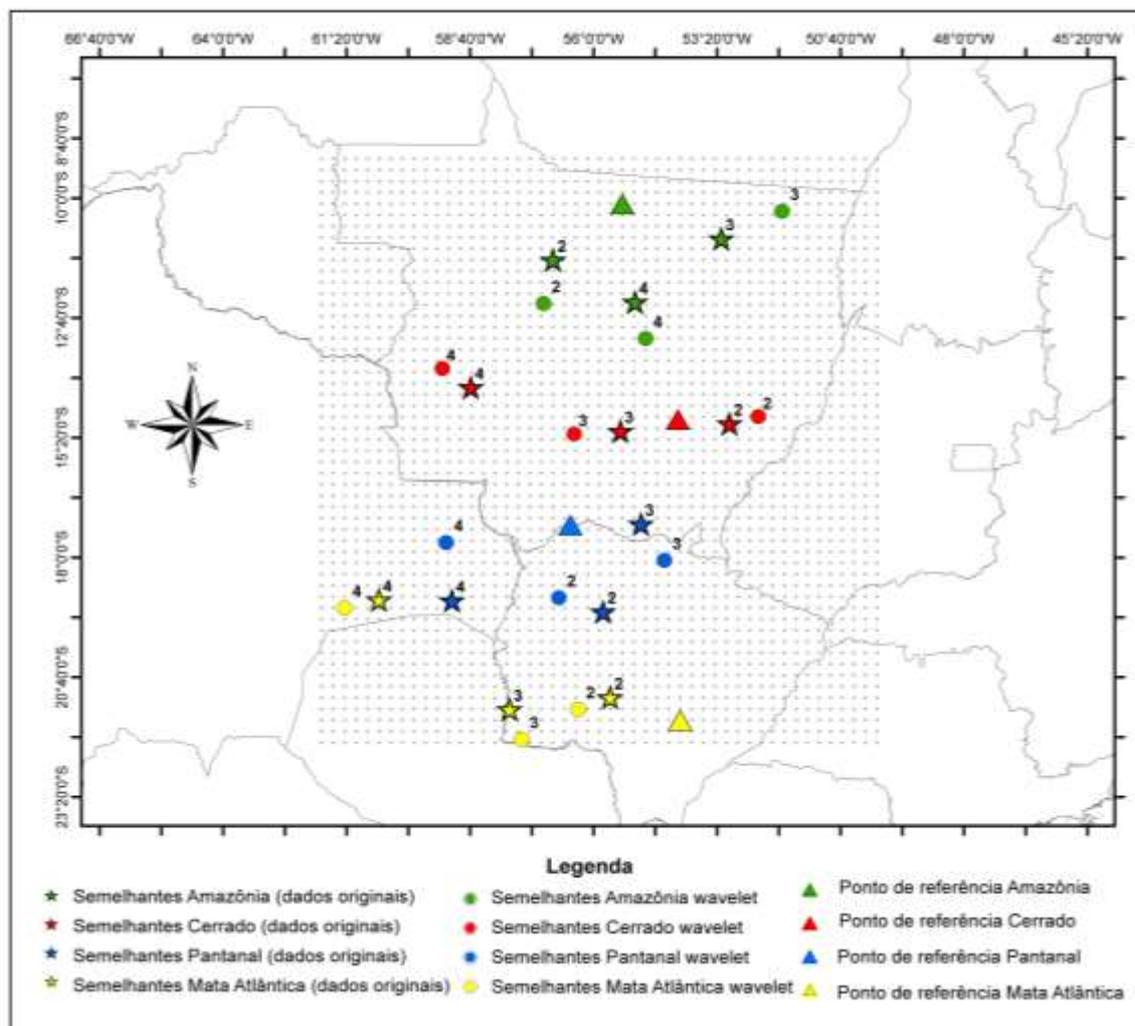


Figura 15: Mapa com os pontos de referência, e seus pontos similares mensais.

4.1.1 Amazônia

Na Figura 16, é apresentada a *wavelet* de referência ao bioma Amazônia (Ponto 1) e suas *wavelets* mensais similares. Verifica-se que o espectro entre as *wavelets* é semelhante, pois os níveis de energia dentro do cone de influência nos eixos x e y estão localizados em regiões semelhantes, por exemplo, o Ponto 1 possui alto nível energia do dia 13 ao dia 17 com uma frequência de 1 a 2 dias, e isso se repete nos outros pontos similares apresentados.

Os níveis de energia intermediários baixo também são similares, observando os dias 14 a 16 na frequência de 1 dia e os dias 17 a 20 com frequência de 0 a 1 dia, que acontecem em todas as *wavelets* apresentadas na Figura 15.

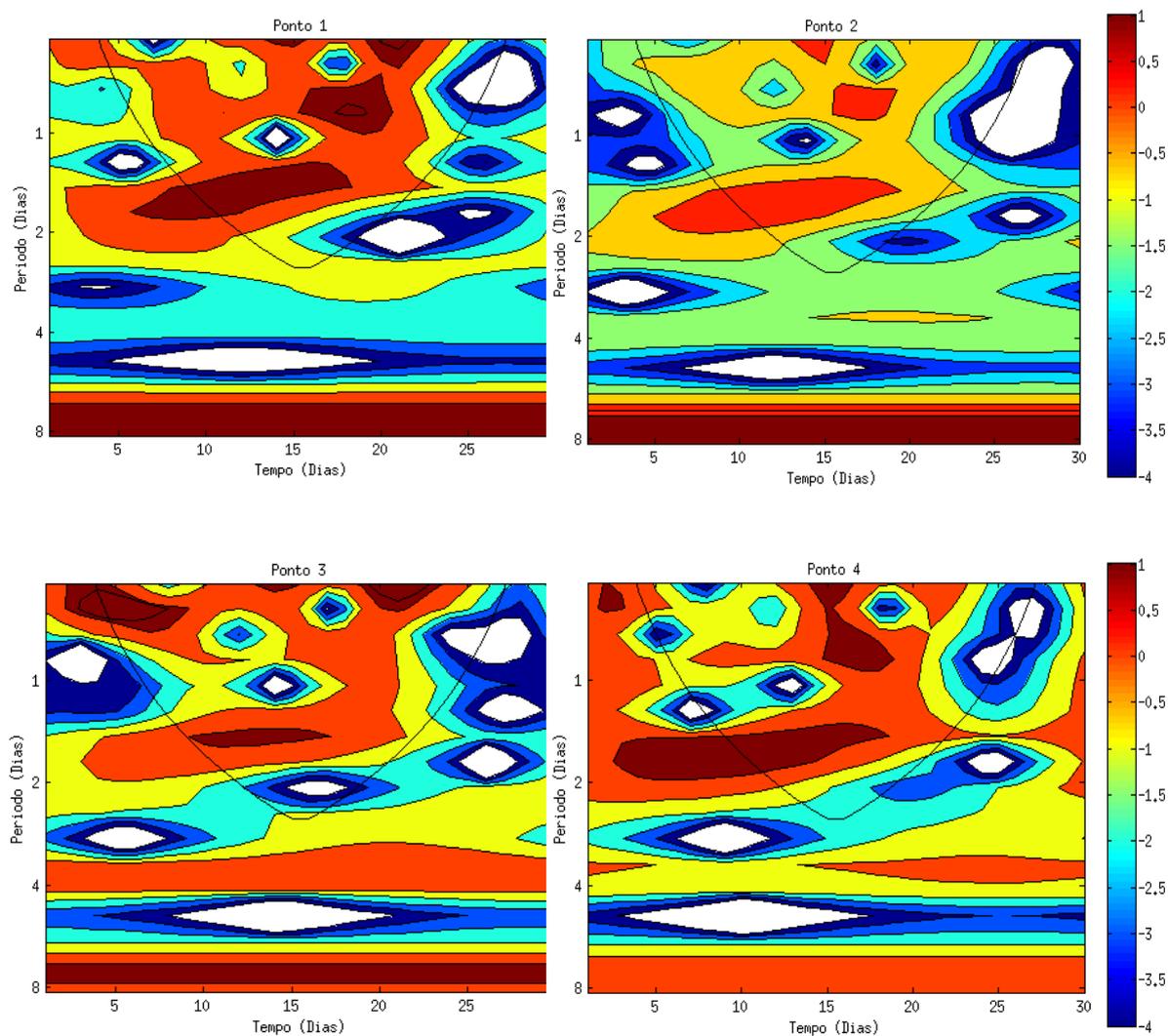


Figura 16: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Amazônia, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002.

As séries temporais que representam as *wavelets* são apresentadas na Figura 17, é possível notar que, o comportamento da precipitação é similar, pois os períodos em que ocorrem a precipitação no Ponto 1 também ocorrem nos demais pontos similares.

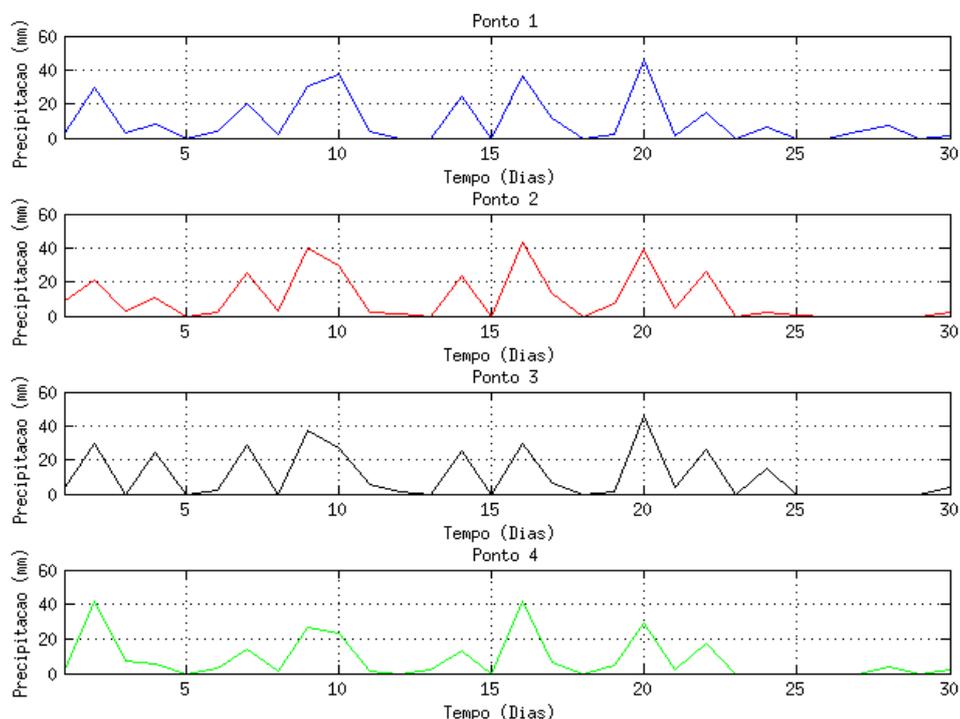


Figura 17: Séries temporais das *wavelets* de precipitação similares. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Amazônia, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002.

A análise de similaridade DTW, foi realizada na série temporal mensal original do ponto de referência ao bioma Amazônia. O processamento feito sobre os dados originais permite identificar comportamentos semelhantes das séries, já nas *wavelets* os comportamentos identificados relacionam-se com informações como intensidade de energia, frequência e escala.

A Figura 18 apresenta o resultado do DTW aplicado aos dados originais, onde é possível verificar a similaridade, observando o comportamento da série, ou seja, a série do Ponto 1, assemelha-se com as outras séries que apesar de estarem deslocadas no tempo possuem um comportamento similar de ondas.

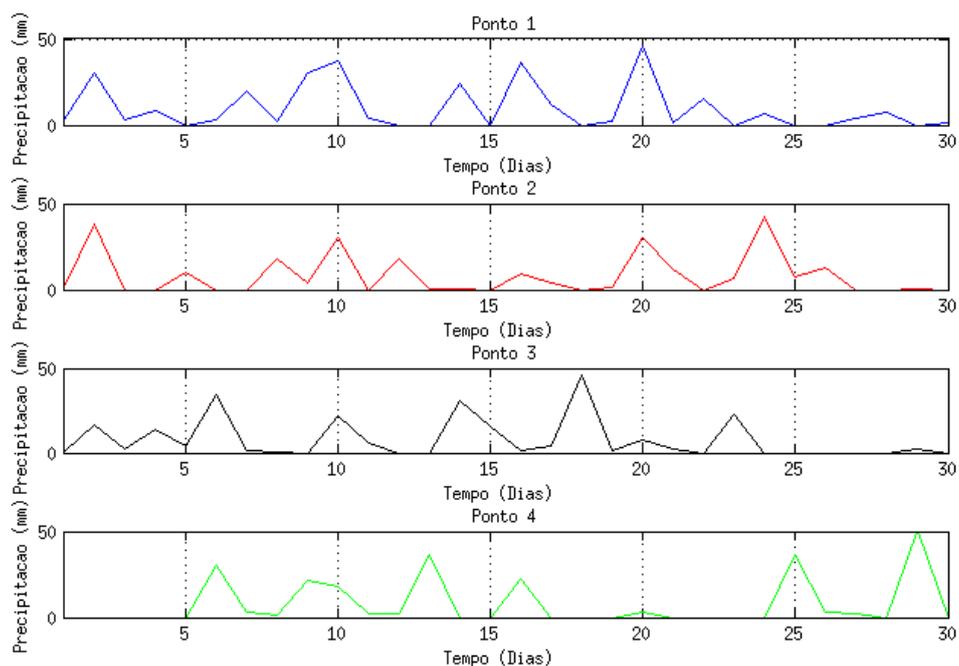


Figura 18: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Amazônia, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2003; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2001.

Além do processamento de *wavelets* e da série temporal original no bioma Amazônia, foi realizada também o processamento mensal de um ponto situado no bioma Cerrado.

4.1.2 Cerrado

O DTW retornou as *wavelets* semelhantes ao ponto de referência do bioma Cerrado (Ponto 1) em que é possível verificar a similaridade entre elas analisando as frequências em tempo e escala, observando que a intensidade de energia acontece em períodos semelhantes. A Figura 19 apresenta a *wavelet* de referência ao bioma Cerrado (Ponto 1), e suas semelhantes (Pontos 2, 3 e 4).

Verifica-se a similaridade entre as *wavelets* dos pontos observando que período de alta frequência acontece dos dias 8 a 15 em todos os espectros e possuem variação de 1 a 2 dias, e os períodos de frequência intermediária baixa também ocorrem em dias de série similares (dias 15 a 22) com frequência de 2 dias.

Observa-se que o espectro entre as *wavelets* possuem o mesmo comportamento periódico mensal. A variação temporal de energia é semelhante, visto que o comportamento da alta intensidade de energia ocorre em tempos similares.

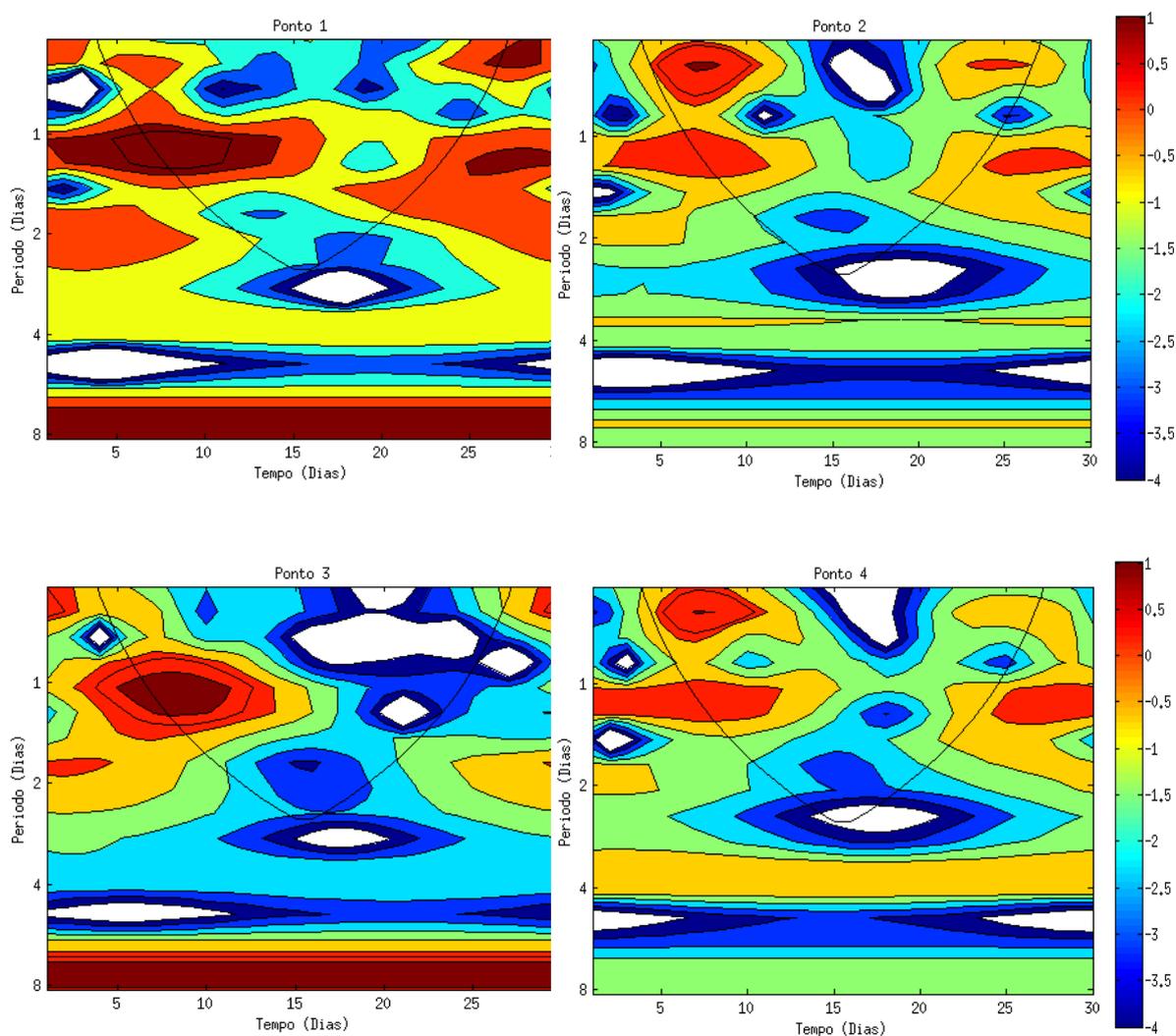


Figura 19: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Cerrado, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002.

As séries temporais que representam as *wavelets* similares do bioma Cerrado são apresentadas na Figura 20, percebe-se que o período de dias que ocorrem a precipitação são semelhantes variando apenas no volume precipitado.

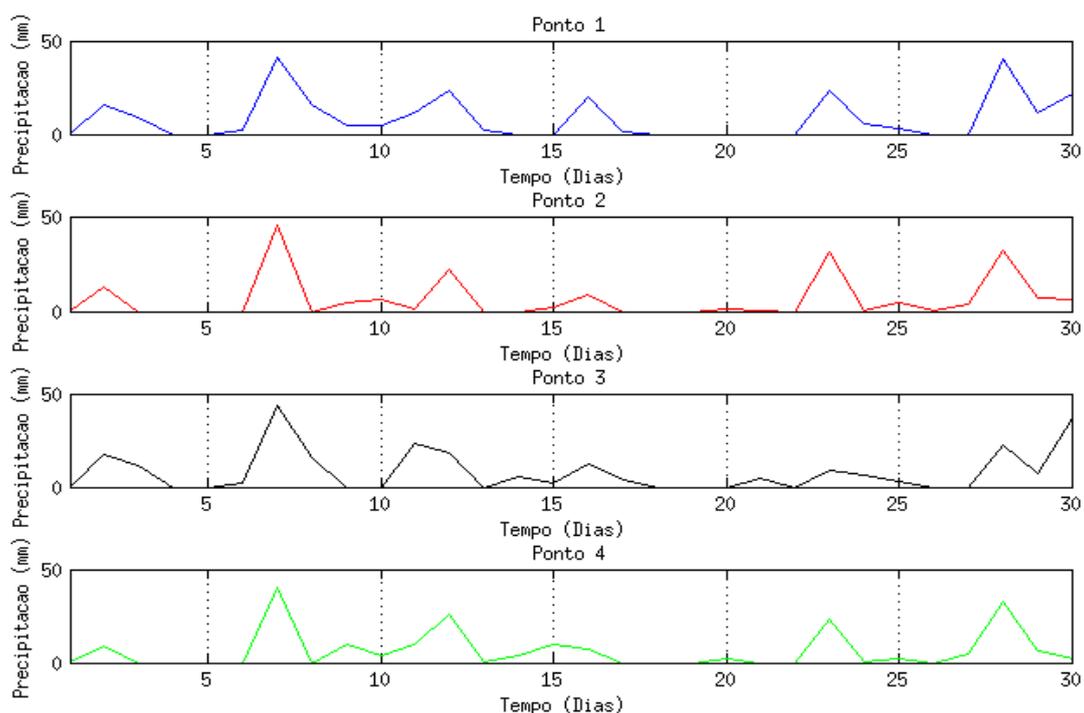


Figura 20: Séries temporais da *wavelets* de precipitação similares. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Cerrado, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002.

A análise de similaridade DTW também foi realizada sobre os dados originais para o bioma Cerrado. Assim, os resultados do DTW para este dados são as séries temporais similares, apresentadas na Figura 21.

Neste processamento a análise de similaridade retorna apenas as séries temporais que possuem comportamento similar, não havendo nenhum tratamento nos dados brutos.

Observa-se a similaridade pelo volume precipitado, que é aproximado em todas as séries temporais. Uma característica que a análise de similaridade DTW consegue captar, é que o comportamento similar pode acontecer em dias diferentes da série analisada, ou seja, o movimento de ondas é semelhante, mas os dias em que acontecem podem ser diferentes.

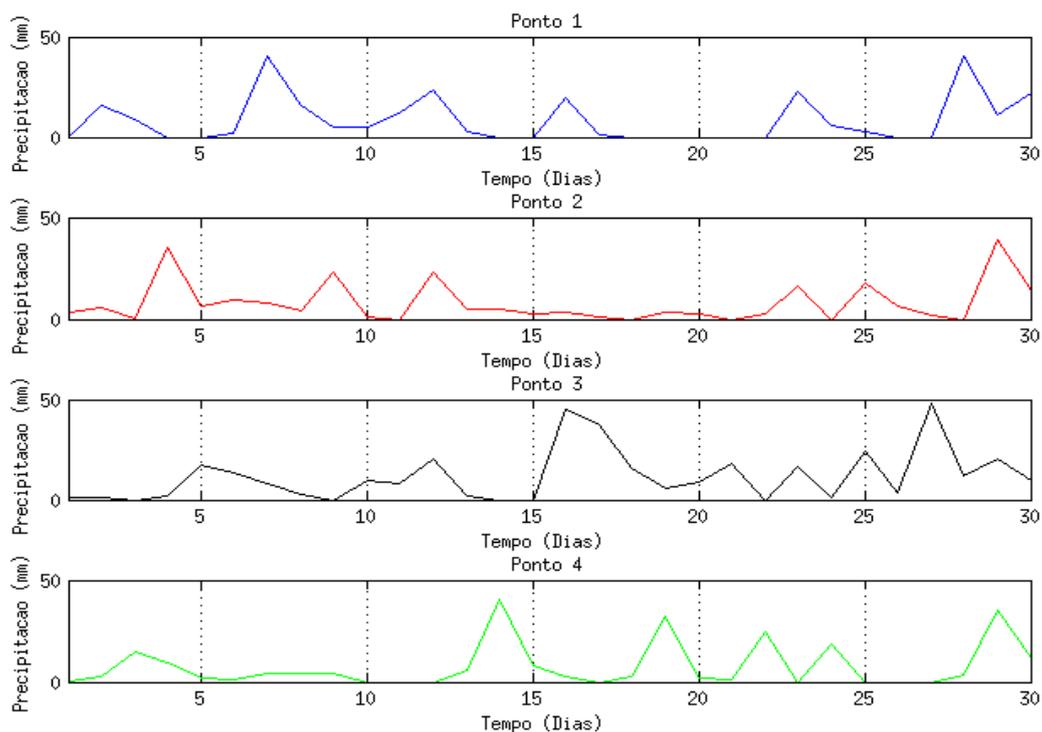


Figura 21: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Cerrado, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2005.

4.1.3 Pantanal

A Figura 22, apresenta a *wavelet* de referência ao bioma Pantanal (Ponto 1), e suas *wavelets* similares. O espectro de energia das *wavelets* recuperadas pela análise de similaridade DTW possui similaridades visto que os picos de energia estão localizados no mesmo tempo e frequência, por exemplo, existe uma alta frequência de energia em todas as *wavelets* similares entre os dias 8 a 15 de janeiro com a periodicidade entre 1 e 2 dias, também existe a semelhança entre as intensidades de energia intermediária baixa nos dias 17 até o dia 23 com periodicidade de 0 a 3 dias.

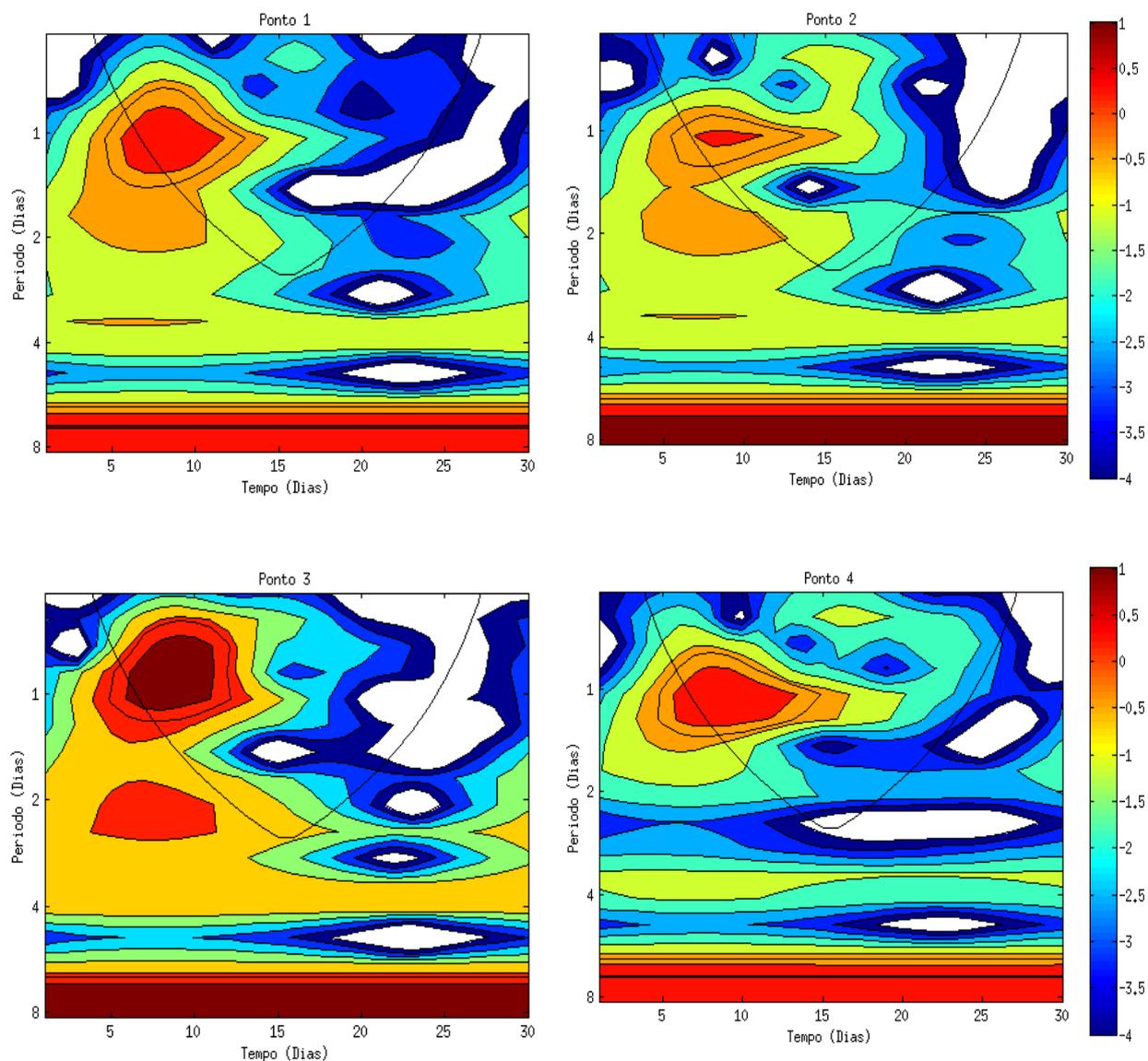


Figura 22: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Pantanal, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2005; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002.

Por meio da análise de similaridade DTW foi possível encontrar *wavelets* similares para um ponto que corresponde ao bioma Pantanal. A Figura 23 apresenta as séries temporais das *wavelets* similares, observa-se que a precipitação ocorre em dias semelhantes em todas as séries temporais apresentadas variando apenas no volume da chuva.

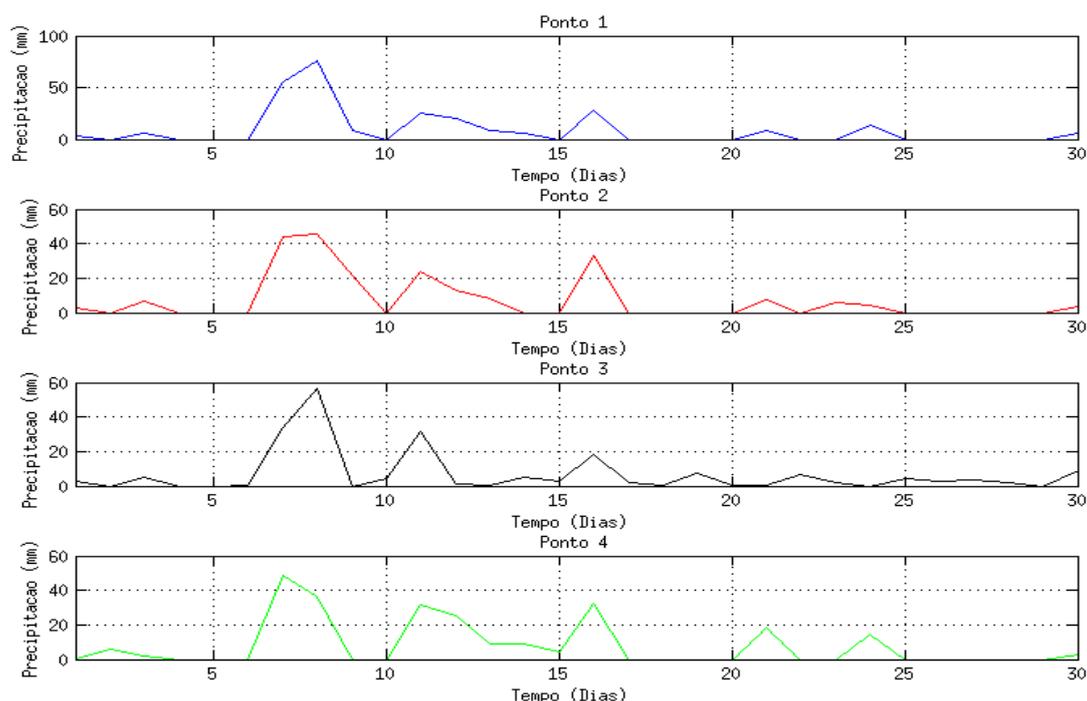


Figura 23: Séries temporais das *wavelets* de precipitação similares. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Pantanal, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2005; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002.

Outra análise mensal efetuada sobre o ponto situado no bioma Pantanal foi realizada com os dados original. As séries temporais recuperadas pela análise DTW, são ilustradas na Figura 24.

O processamento foi executado também sobre os dados brutos armazenados no banco de dados, portanto as séries temporais mostradas na Figura 24 mostram o comportamento dos dados de precipitação com resolução temporal mensal sem nenhum tratamento, diferentemente do processamento efetuado sobre as *wavelets*.

Neste caso a semelhança entre as séries temporais é analisada por seu comportamento que apesar de não possuir precipitação em dias semelhantes às outras séries, elas possuem o volume precipitado similar, só que em dias próximos a série temporal de referência.

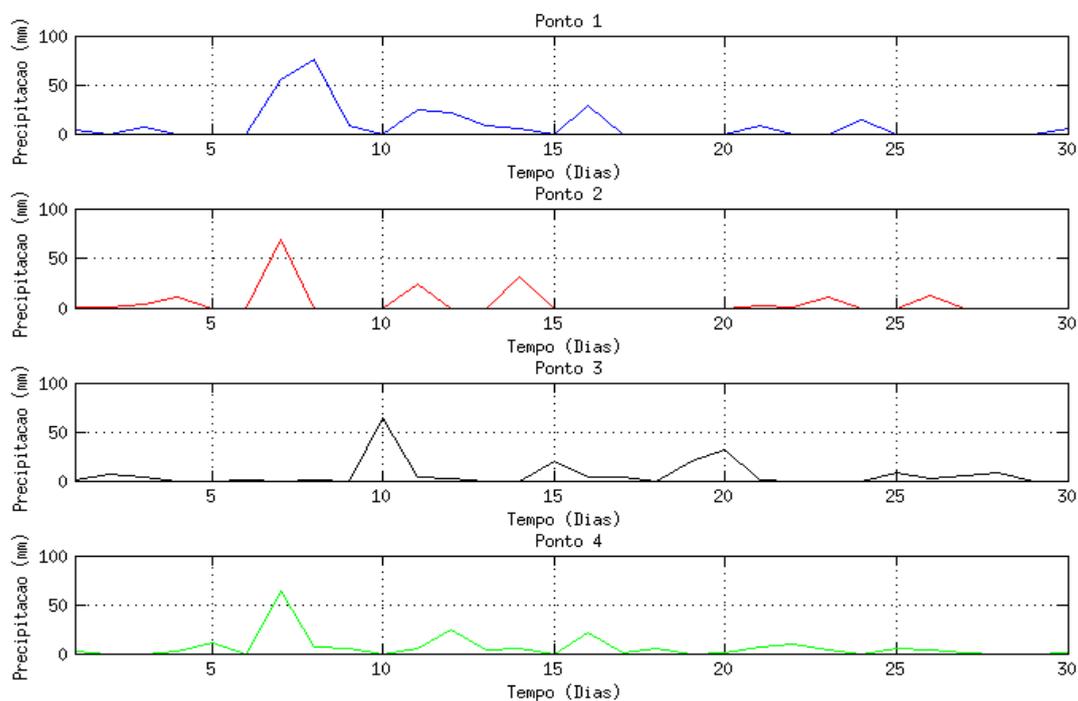


Figura 24: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Pantanal, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2004; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2002.

4.1.4 Mata Atlântica

A Figura 25, ilustra o Ponto 1 que representa a *wavelet* do bioma Mata Atlântica e as *wavelets* similares (Ponto 2, 3 e 4). Assim como os demais pontos apresentados até agora, é possível observar também a similaridade entre os espectros de energia do bioma Mata Atlântica, em que a energia está dissipada em períodos similares. Os dias que encontram os períodos de baixa energia a energia intermediária estão entre os dias 17 a 24 com a frequência variando entre 1 e 2 dias em todas as *wavelets* apresentadas. Já as altas intensidades de energia acontecem em todos os espectros dentro do cone de influência dos dias 12 a 16 com frequência menor que 1 dia, variando apenas a intensidade de energia.

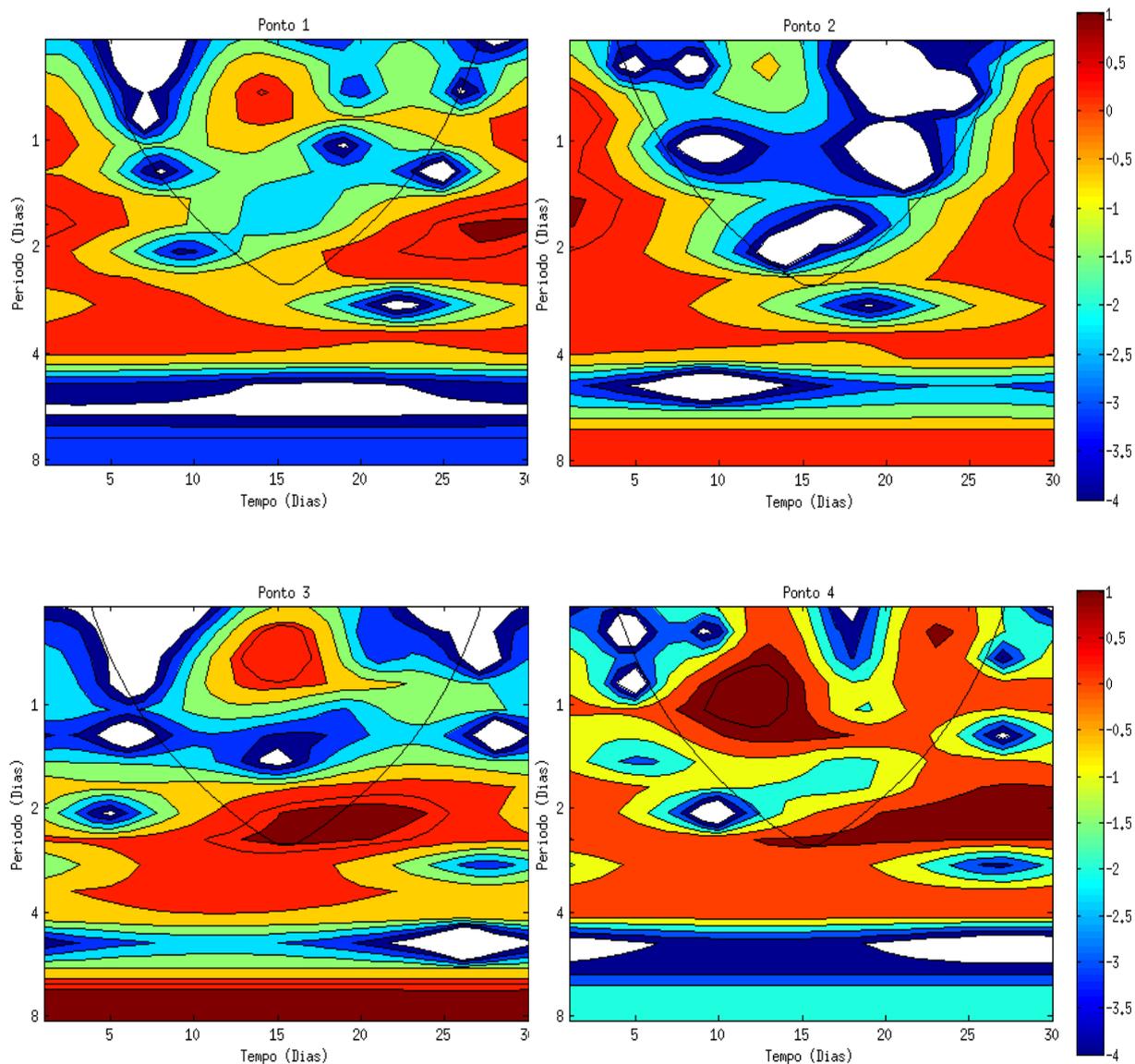


Figura 25: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Mata Atlântica, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2005; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2003.

As séries temporais das *wavelets* similares são apresentadas na Figura 26, verifica-se que os períodos em que ocorre a precipitação são semelhantes, variando apenas no volume precipitado, ou seja, o comportamento temporal é similar.

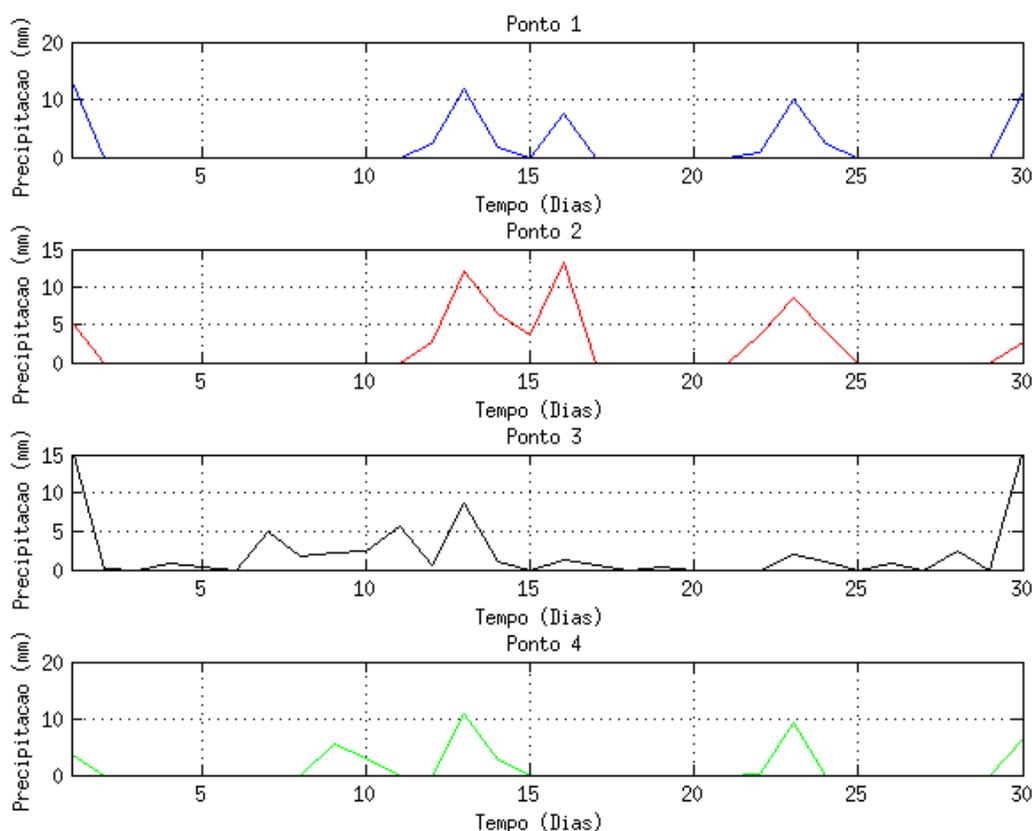


Figura 26: Séries temporais das *wavelets* de precipitação similares. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Mata Atlântica, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2005; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2003.

A análise de similaridade DTW, também foi aplicada nos dados originais, o resultado é ilustrado na Figura 27. É possível perceber a similaridade entre a série do ponto de referência do bioma Mata Atlântica (Ponto 1) e os demais pontos, pois existe um comportamento que se repete, ou seja, o volume de precipitação é semelhante porém como existe um deslocamento da série os dados não aparecem nos mesmos dias.

Esta análise mostra os comportamentos dos dados, não contendo informações sobre tempo, escala e energia, dessa forma é possível observar a semelhança entre as séries por meio do desempenho, que varia na intensidade de chuva, porém possui o mesmo comportamento.

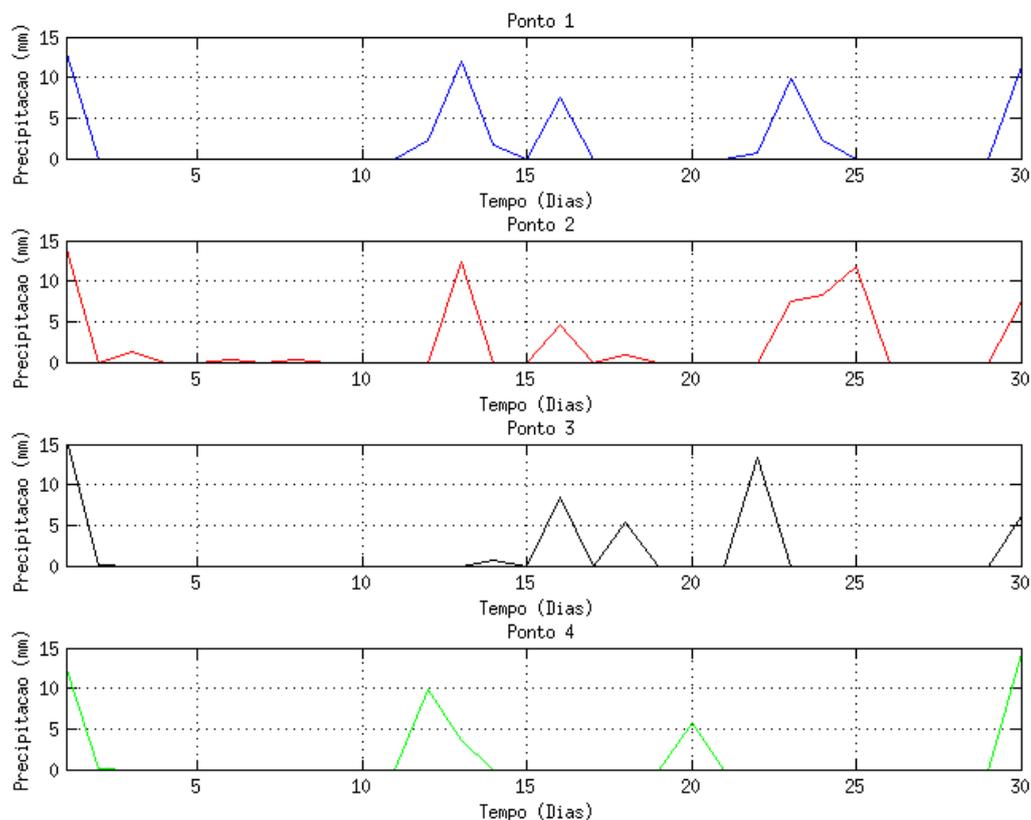


Figura 27: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Mata Atlântica, janeiro de 2002; (Ponto2) Primeiro ponto similar, janeiro de 2002; (Ponto3) Segundo ponto similar, janeiro de 2005; (Ponto4) Terceiro ponto similar, janeiro de 2003.

A análise de similaridade DTW com resolução temporal mensal foi realizada para os quatro pontos de estudo, obtendo bons resultados, para processamento nos dados brutos e nas *wavelets*.

Em algumas situações em que os pesquisadores, necessitam apenas da análise de similaridade da série temporal, o processamento nos dados brutos é adequado, pois fornece os dados similares (KEOGH e RATANAMAHATANA, 2005). Porém se a necessidade for de encontrar frequências dominantes, a análise do espectro de energia pode fornecer bons resultados.

Para realização de algumas pesquisas ambientais, apenas a análise de similaridade de séries temporais não é o suficiente. Existem diversas pesquisas como as citadas no Capítulo 2 do presente trabalho, que necessitam realizar processamento do

sinal dos dados, no tempo e na frequência, e que utilizam a Transformada de *wavelet* para obter seus resultados.

A análise mensal realizada no presente trabalho nas *wavelets* torna-se uma alternativa para pesquisadores que necessitem realizar este tipo de processamento que traz informações de frequência e intensidade de energia.

4.2 Resultado Semestral

Muitas vezes somente o processamento mensal dos dados não é suficiente, pois analisando apenas o mês não é possível dizer o comportamento de um semestre, por exemplo.

Neste contexto, foi realizado também o processamento de similaridade DTW com resolução temporal semestral, executada nas *wavelets* que apresentam o sinal de energia no tempo e frequência, e nos dados originais de precipitação.

A técnica para análise de similaridade DTW, foi aplicada nas *wavelets* para retornar qual espectro de energia semestral dentro do cone de influência era mais semelhante.

A Figura 28 apresenta o mapa com os pontos de referência, os pontos que possuem as *wavelets* semestrais similares e os pontos que possuem séries temporais originais semelhantes.

O primeiro ponto selecionado para análise de similaridade de *wavelets* e séries temporais originais situa-se no bioma Amazônia.

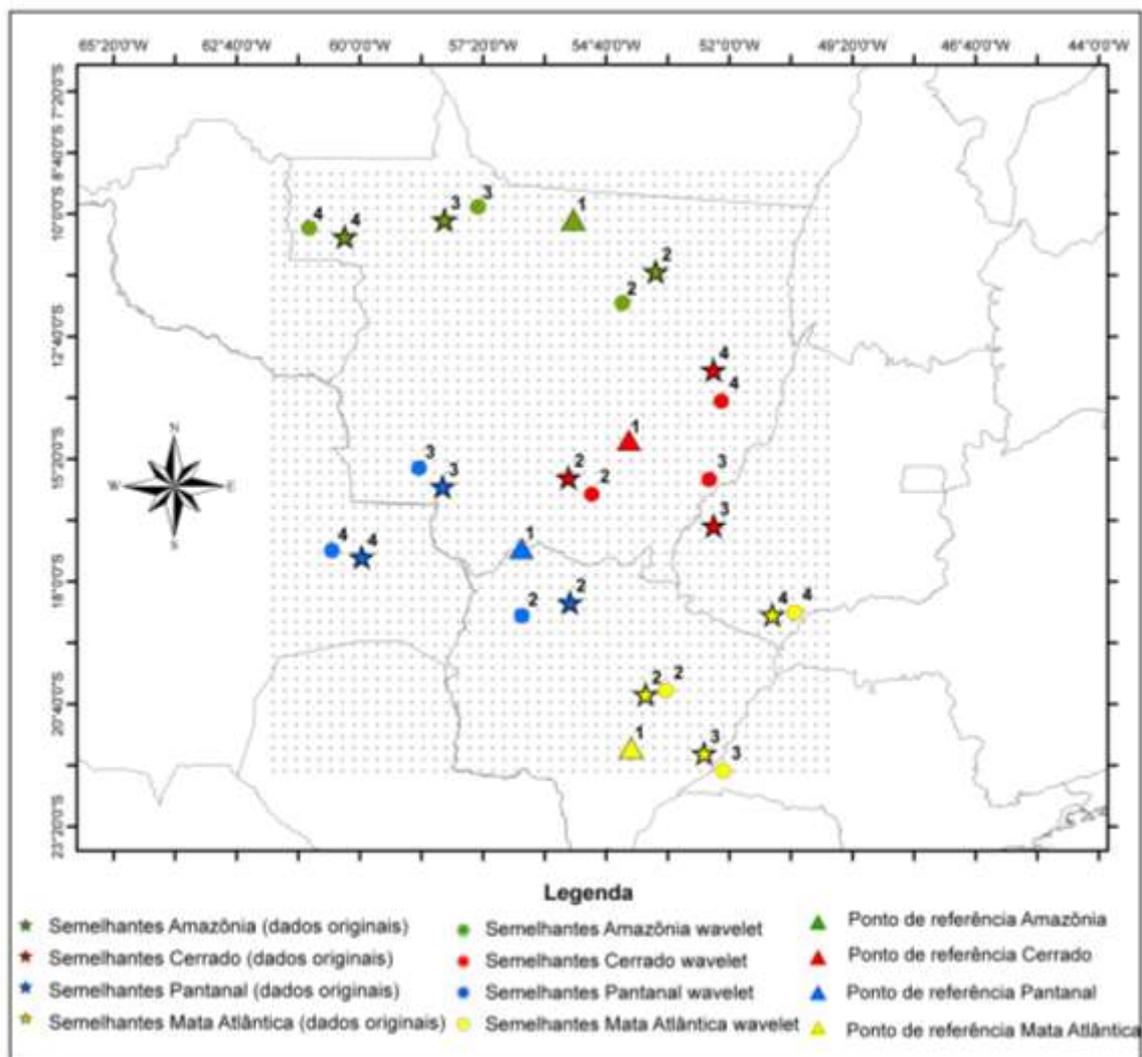


Figura 28: Mapa com os pontos de referência e seus pontos similares

4.2.1 Amazônia

A Figura 29 mostra a *wavelet* do ponto situado no bioma Amazônia e suas *wavelets* similares. É possível observar que dentro do cone de influência o espectro de energia alto está localizado em períodos semelhantes ao Ponto 1, o que comprova a similaridade entre as *wavelets*. Os períodos de nenhuma energia e baixa energia acontecem dos dias 190 ao dia 250 em todos os espectros, e as altas intensidades de energia também ocorrem em dias semelhantes, por exemplo, do dia 250 a 260 ocorre uma alta intensidade de energia em todos os espectros.

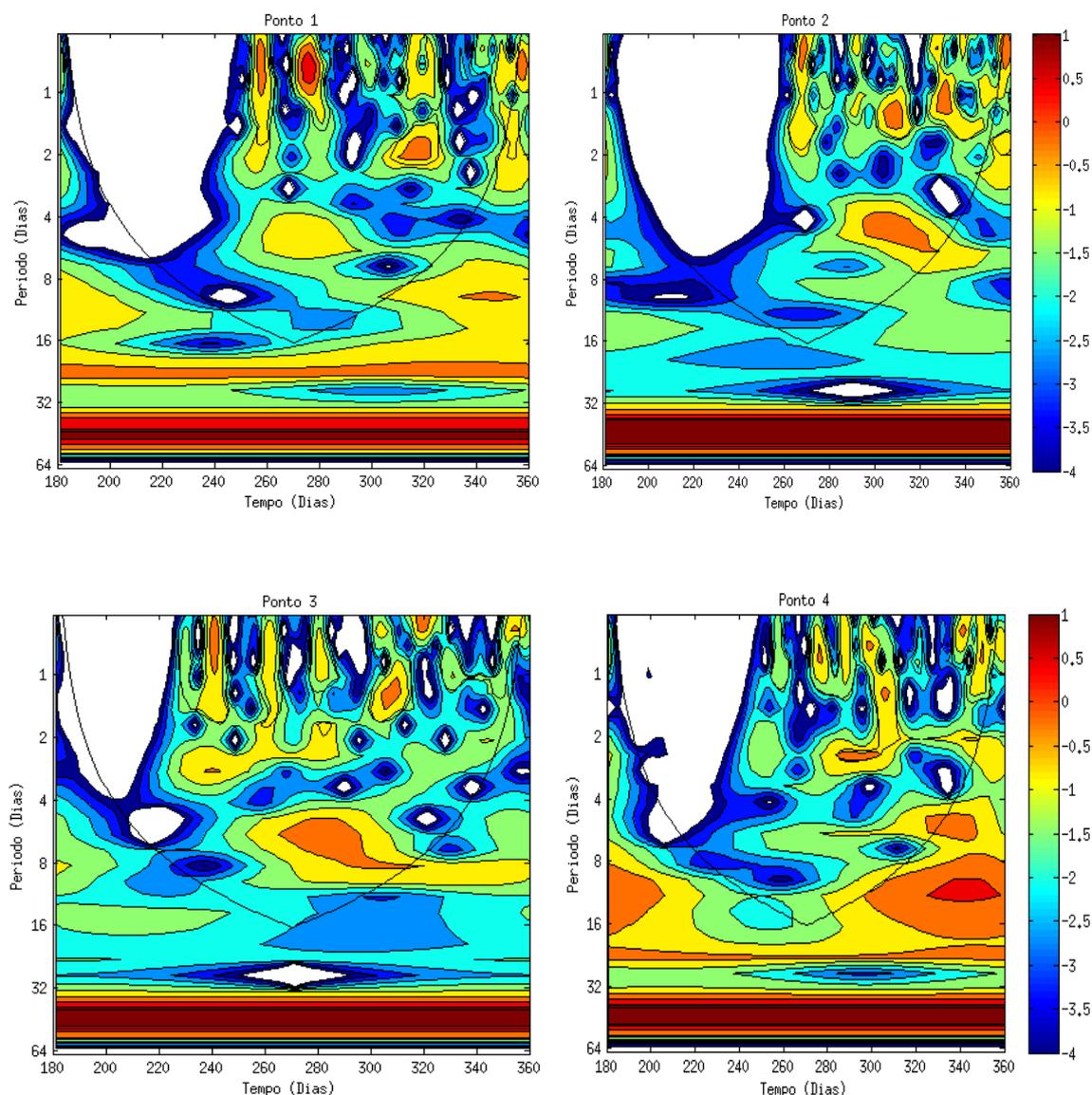


Figura 29: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets* do bioma Amazônia. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2006; Ponto3: segundo semestre 2011; Ponto4: segundo semestre 2003.

Observa-se que o processamento retornou somente os segundos semestres dos anos correspondentes, isso era esperado, visto que o semestre de referência é também o segundo semestre, portanto a análise de similaridade DTW aplicado nas *wavelets* obteve um bom resultado, encontrando as frequências dentro do cone de influência mais similares. A Figura 30 apresenta as séries temporais das *wavelets* similares, onde é possível observar que os períodos em que ocorrem a precipitação são semelhantes, por

exemplo, do dia 250 até o dia 360 existe um ciclo que se repete em todas as séries temporais, o mesmo ocorre para o período em que não há precipitação.

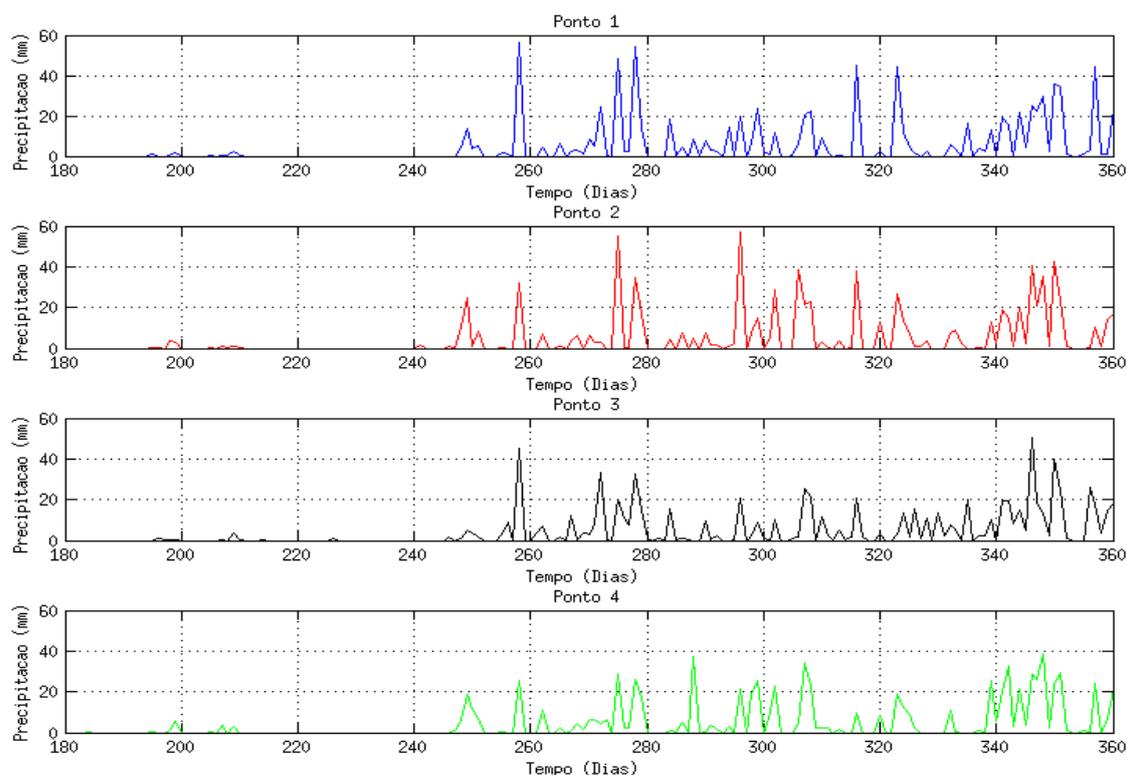


Figura 30: Séries temporais das *wavelets* de precipitação similares do bioma Amazônia. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2006; Ponto3: segundo semestre 2011; Ponto4: segundo semestre 2003.

Assim como a análise de similaridade DTW foi realizada para as *wavelets* do bioma Amazônia, foi realizado também o processamento dos dados originais semestrais com a mesma análise.

A Figura 31 mostra o resultado do DTW aplicado nos dados brutos do ponto de referência do bioma Amazônia e seus pontos semelhantes. O Ponto 1, é o ponto referencial, e os pontos subsequentes são seus similares.

O processamento dos dados originais não traz nenhuma informação de sinal ou quantidade de energia contida nos dados com escala de tempo, pois esse tipo de informação é obtido apenas quando os dados são analisados com a análise de *wavelet*,

portanto este processamento tem como resultado os comportamentos similares das séries temporais.

No processamento realizado nos dados originais, observa-se que o período em que ocorre a precipitação (dos dias 260 a 360) é similar em todas as séries temporais, e o período em que não ocorre precipitação também é semelhante, porém neste caso, existe um deslocamento da série temporal, apresentando valores semelhantes, porém em dias da série diferentes.

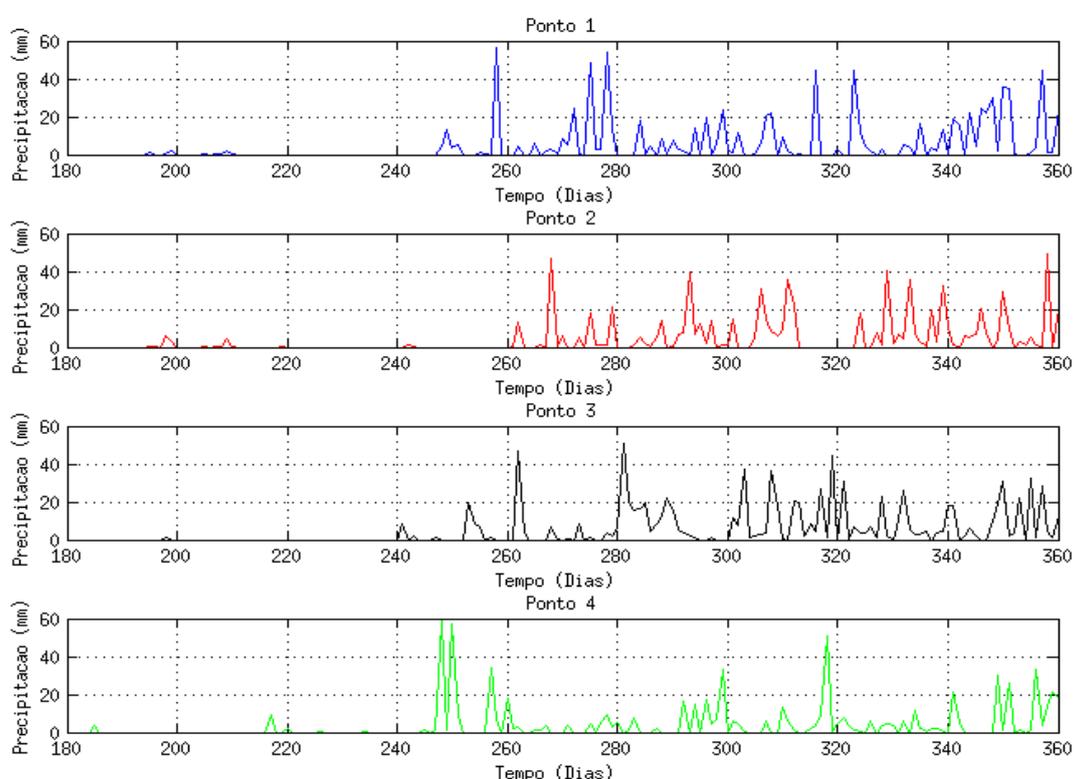


Figura 31: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação do bioma Amazônia.
Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2005; Ponto3: segundo semestre 2009;
Ponto4: segundo semestre 2011.

4.2.2 Cerrado

Outro ponto utilizado para processamento do espectro de energia situa-se no bioma Cerrado. A *wavelet* do ponto 1 situado no bioma Cerrado é apresentada na Figura 32 com suas *wavelets* similares.

É possível observar que a *wavelet* do Ponto 1 possui eventos periódicos similares a *wavelet* representada pelo Ponto 2, onde as altas intensidades de energia são encontradas no mesmo tempo e escala, e as baixas intensidades de energia também são encontradas em todos os espectros no mesmo tempo, por exemplo, existe um período que varia de 0 a 3 dias de nenhuma energia dos dias 210 a 230 em todas as *wavelets* apresentadas na Figura 32.

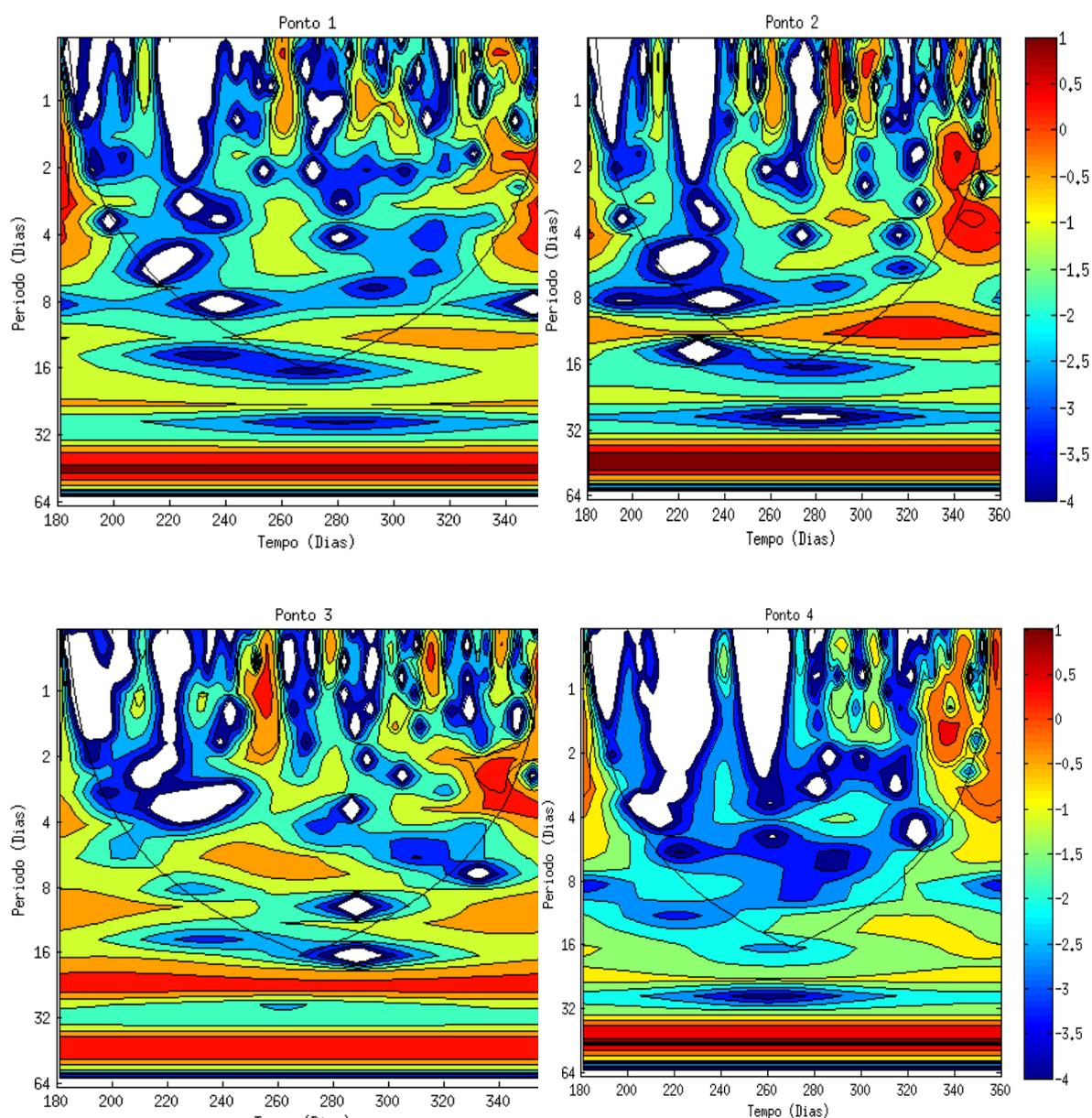


Figura 32: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets* do bioma Cerrado. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2002; Ponto4: segundo semestre 2002.

As séries temporais das *wavelets* similares são apresentadas na Figura 33, onde é possível verificar a similaridade entre as séries temporais, pois os dias em que acontecem a precipitação são similares em todas as séries.

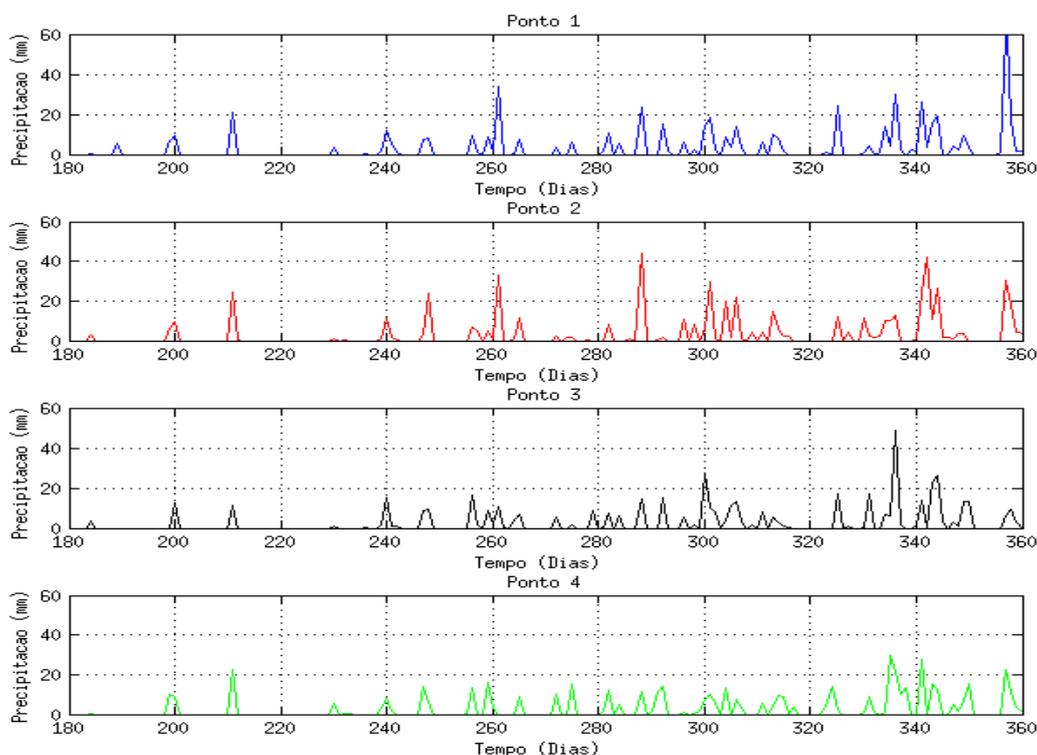


Figura 33: Séries temporais das *wavelets* de precipitação similares do bioma Cerrado.

Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2002; Ponto4: segundo semestre 2002.

Também foi realizada análise de similaridade DTW nos dados brutos para o bioma Cerrado. A Figura 34 apresenta as séries temporais similares encontradas.

Observar-se que similaridade entre as séries temporais, recuperadas pela análise de similaridade DTW nos dados originais, apresenta o comportamento periódico é similar apesar de estarem deslocadas no tempo, as séries possuem similaridades no volume precipitado, porém em dias diferentes. Também é possível verificar a similaridade entre as séries temporais observando que o período em que não ocorre a precipitação em ambas as séries temporais acontecem em espaços de tempos similares.

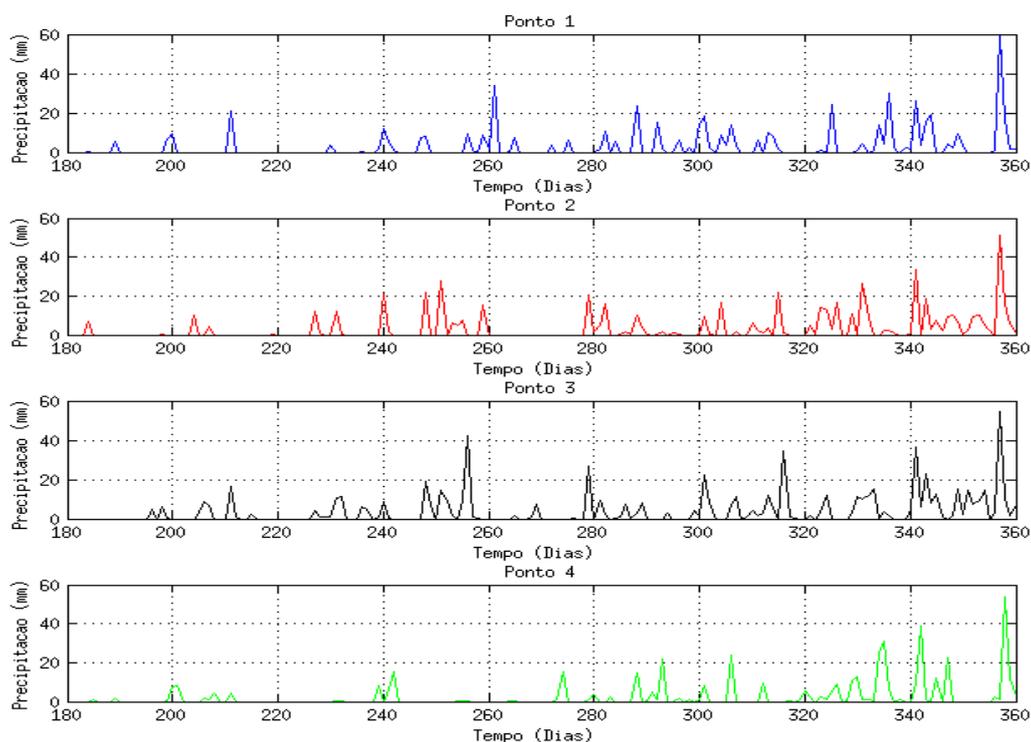


Figura 34: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação do bioma Cerrado. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2003; Ponto4: segundo semestre 2002.

4.2.3 Pantanal

Outro ponto escolhido para processamento situa-se no bioma Pantanal, em que o período utilizado para o processamento refere-se ao segundo semestre de 2002. A Figura 35 ilustra as *wavelets* similares encontradas pela análise de similaridade DTW.

Nota-se que apesar de deslocadas no tempo as *wavelets* apresentam o espectro de energia similar. Isto pode ser constatado analisando a *wavelet* do Ponto 1 e Ponto2, onde o quantidade de energia dentro do cone de influência possui maior similaridade, por exemplo, a *wavelet* do Ponto 1 possui alta intensidade de energia dos dias 345 a 353 e intensidade de energia intermediaria alta dos dias 245 260, e, estas intensidades se repetem nas *wavelets* similares.

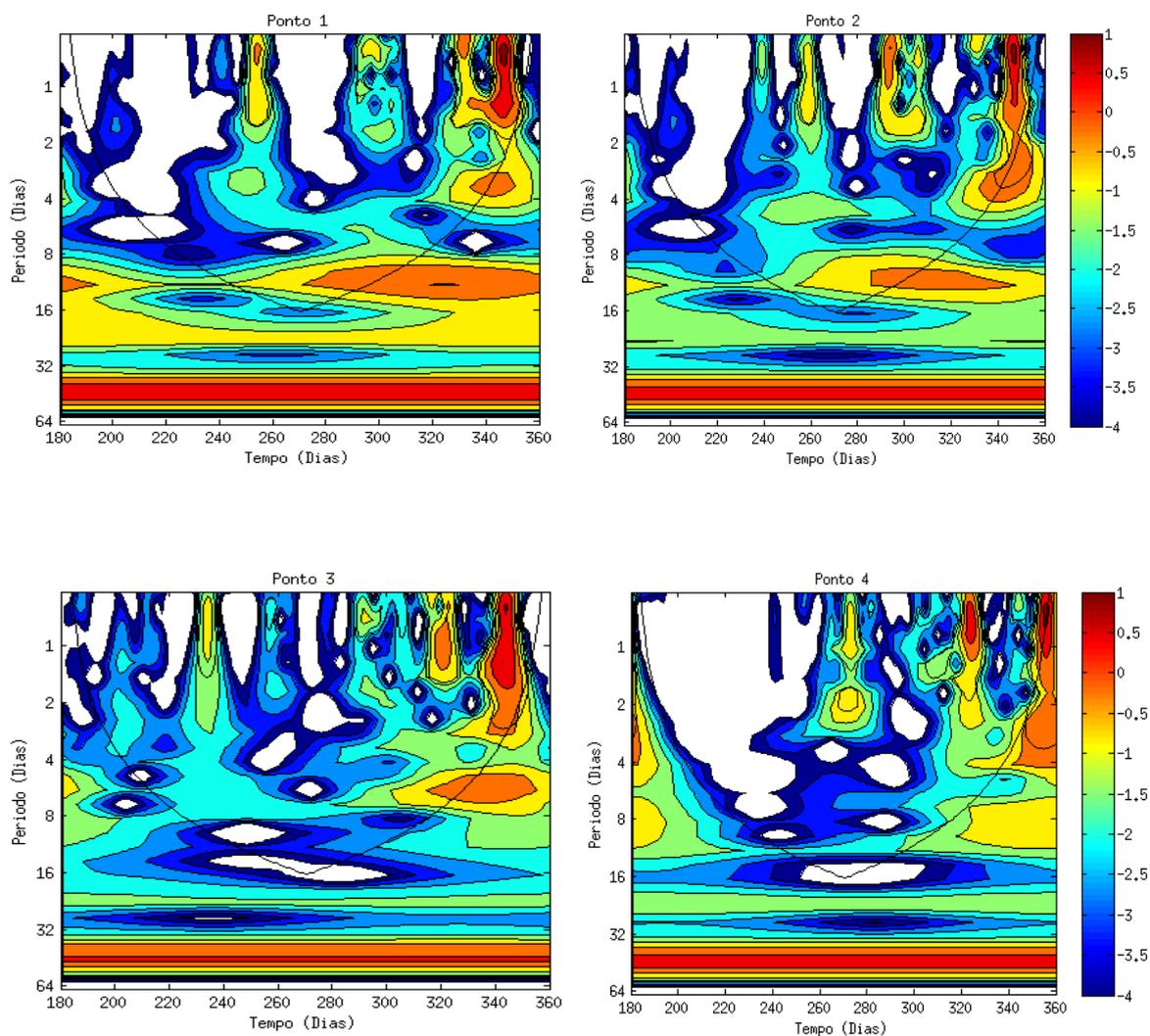


Figura 35: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets* do bioma Pantanal. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2003; Ponto3: segundo semestre 2009; Ponto4: segundo semestre 2011.

Além de verificar a similaridade entre os espectros de energia das *wavelets*, é possível verificar a similaridade nas séries temporais que as representam. As séries temporais das *wavelets* são apresentadas na Figura 36, onde é possível observar que a precipitação ocorre em períodos similares em todas as séries temporais.

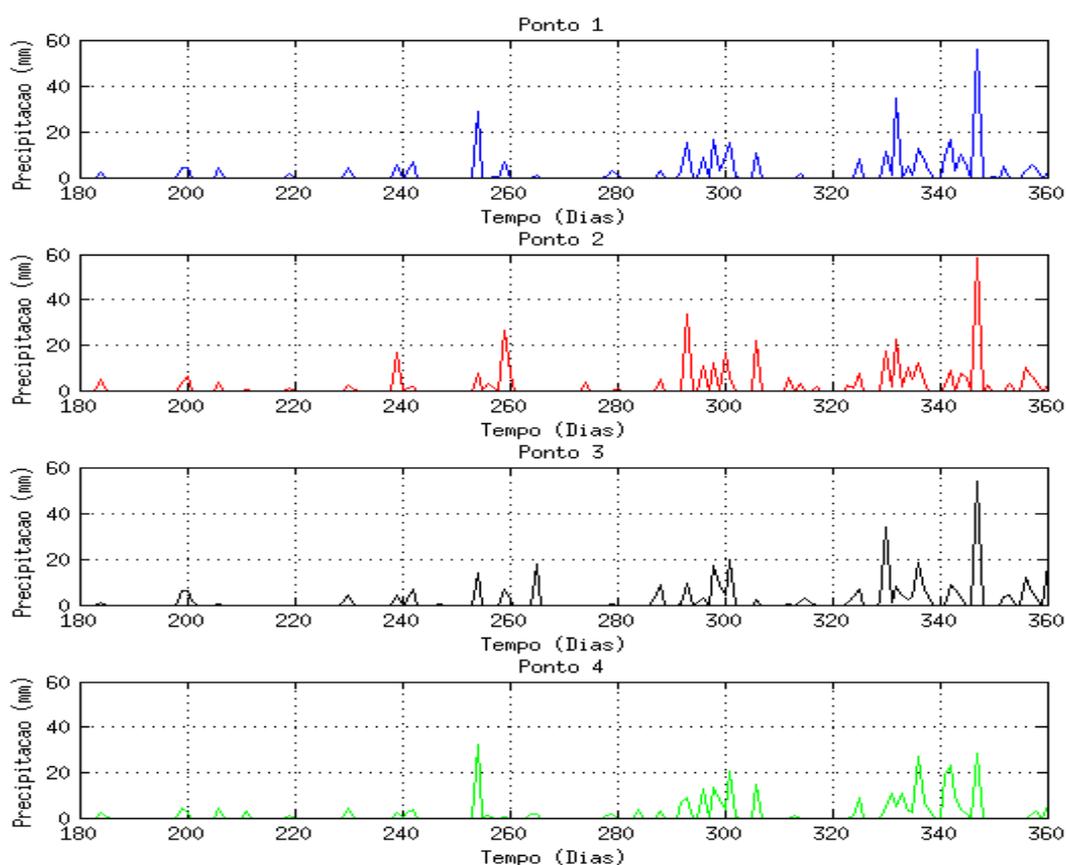


Figura 36: Séries temporais das *wavelets* de precipitação similares do bioma Pantanal. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2003; Ponto3: segundo semestre 2009; Ponto4: segundo semestre 2011.

Após executar o processamento nas *wavelets*, foi executado o processamento nos dados brutos do bioma Pantanal, o resultado é apresentado na Figura 37.

Observa-se que evento de precipitação é semelhante, porém os períodos estão deslocados em dias diferentes. A quantidade de dias sem precipitação também ocorrem em dias diferentes porem com o mesmo espaço de tempo.

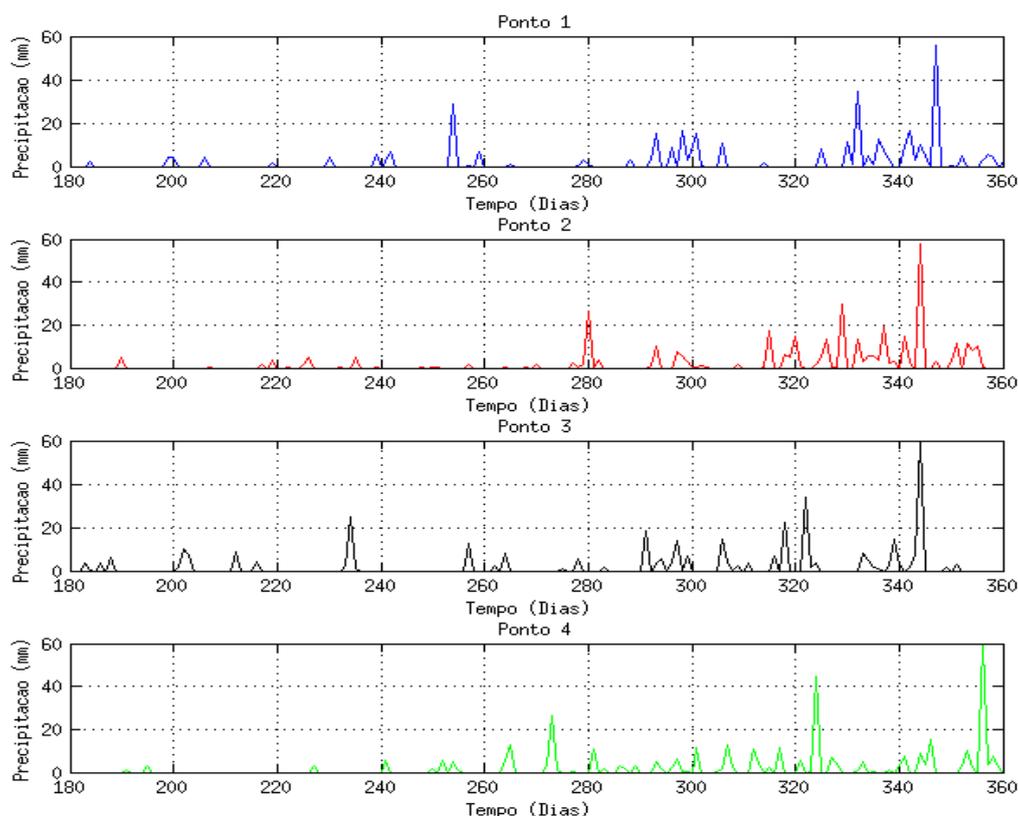


Figura 37: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação do bioma Pantanal. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2003; Ponto4: segundo semestre 2010.

O ultimo ponto selecionado para análise de similaridade DTW no segundo semestre de 2002, foi o ponto situado no bioma Mata Atlântica.

4.2.4 Mata Atlântica

O resultado do processamento do ponto situado no bioma Mata Atlântica é apresentado na Figura 38. O ponto de referência ao bioma Mata Atlântica, é representado pela primeira imagem (Ponto 1), Observa-se que como a busca por similaridade DTW foi executada sobre o cone de influência, a análise do espectro de energia está situada em tempos similares.

O Ponto 2 é o ponto com maior grau de similaridade ao Ponto 1, observa-se esta semelhança analisando o espectro de energia que situa-se em dias semelhantes ao Ponto 1. O alto nível de energia e nível intermediário alto, encontrado no Ponto 1 nos dias 195

a 210 com frequência de 0 a 3 dias, também são encontrados nos Pontos 2,3 e no Ponto 4 estas intensidades são encontradas porém nos dias 265 a 280, pois este ponto possui menor grau de similaridade do que os outros dois.

As baixas intensidades de energia e os períodos que não possuem energia ocorrem em dias semelhantes, dos dias 210 a 230 nos pontos 1, 2 e 3 com periodicidade de 0 a 3, dos dias 260 a 280 com periodicidade de 0 a 2.

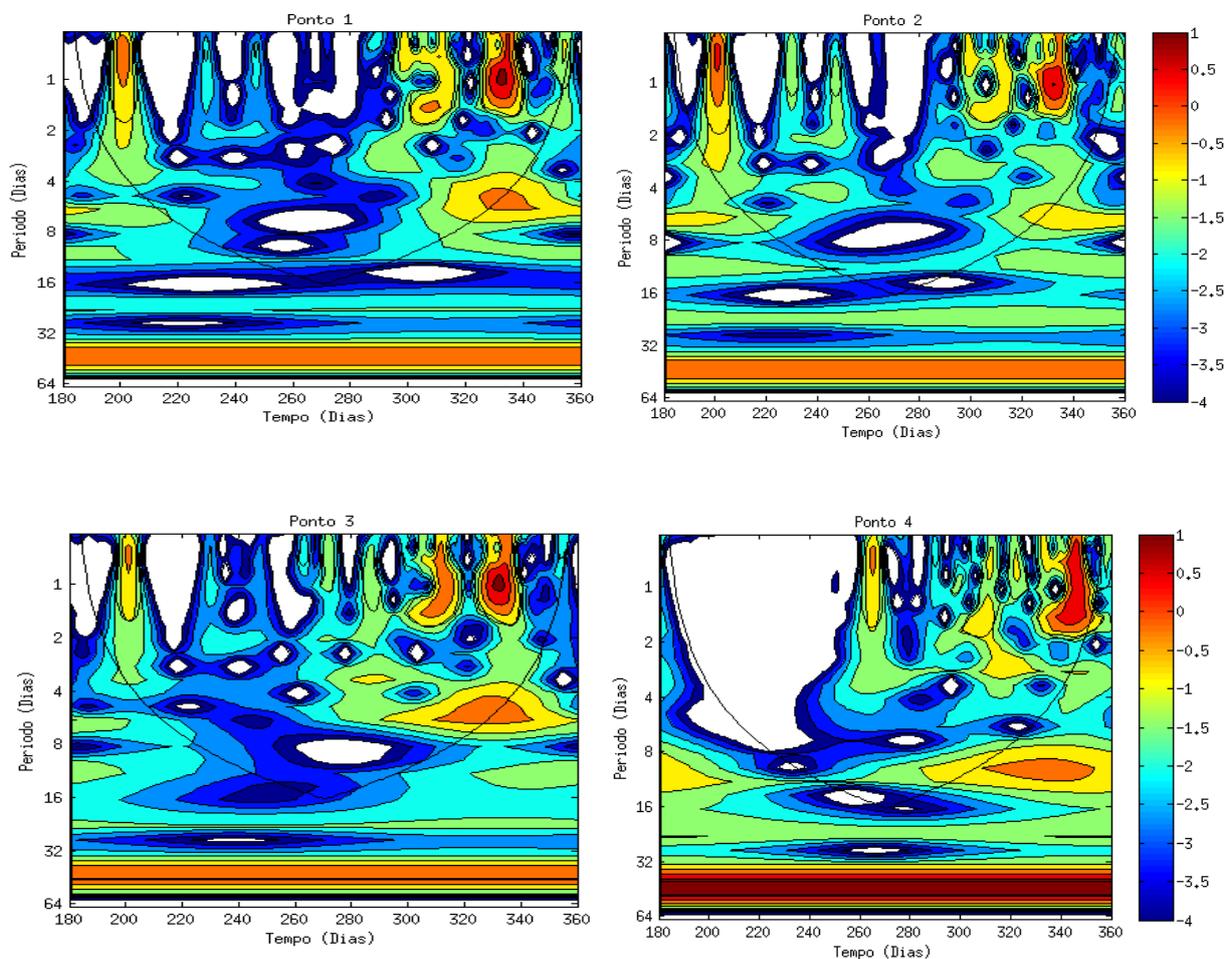


Figura 38: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets* do bioma Mata Atlântica. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2002; Ponto4: segundo semestre 2012.

A similaridade das *wavelets* também pode ser observada analisando suas séries temporais apresentadas na Figura 39.

Observa-se que os dias que ocorre precipitação são semelhantes, pois o evento acontece nos mesmos dias, variando apenas no volume precipitado e os dias que não ocorre precipitação também são similares.

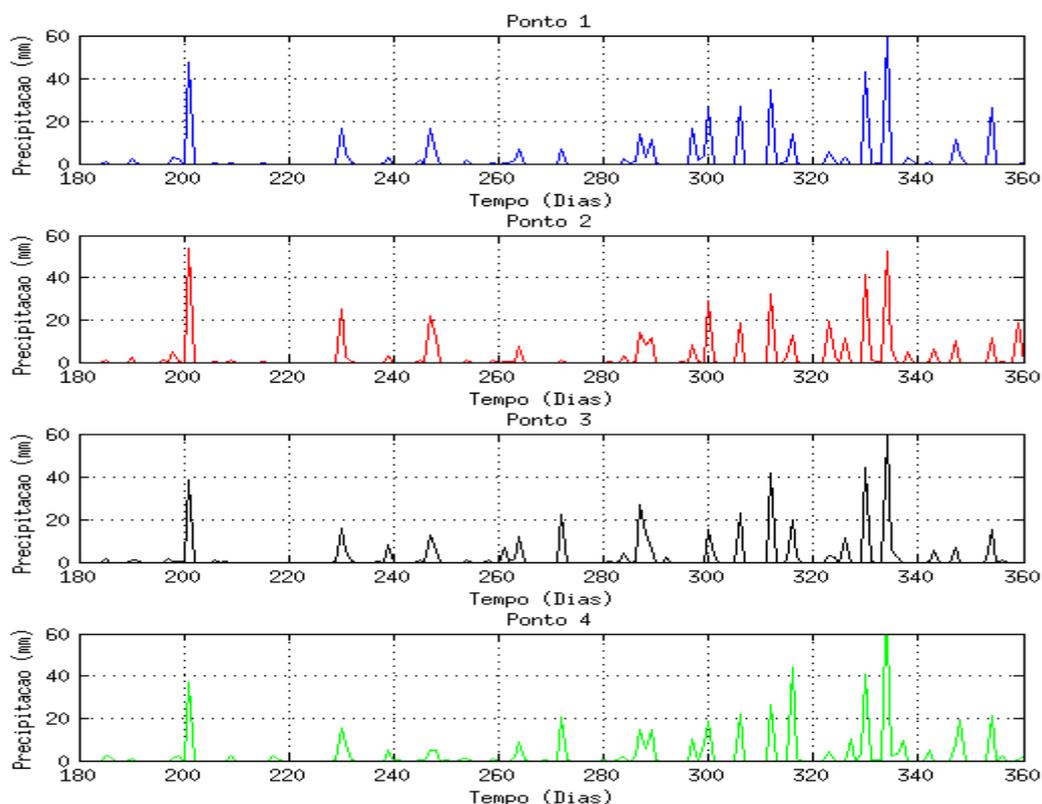


Figura 39: Séries temporais das *wavelets* de precipitação similares do bioma Mata Atlântica. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2002; Ponto4: segundo semestre 2012.

Foi realizado também o processamento nos dados brutos e neste tipo de análise, o resultado são as séries temporais similares.

O resultado da análise de similaridade DTW nos dados brutos é apresentado na Figura 40. Onde é possível verificar a semelhança do comportamento das séries, visto que, foram encontradas séries similares porem deslocadas no tempo, isso significa que apesar das séries terem o comportamento similares, este evento foi encontrado em dias de séries diferente, porém com similaridades de eventos.

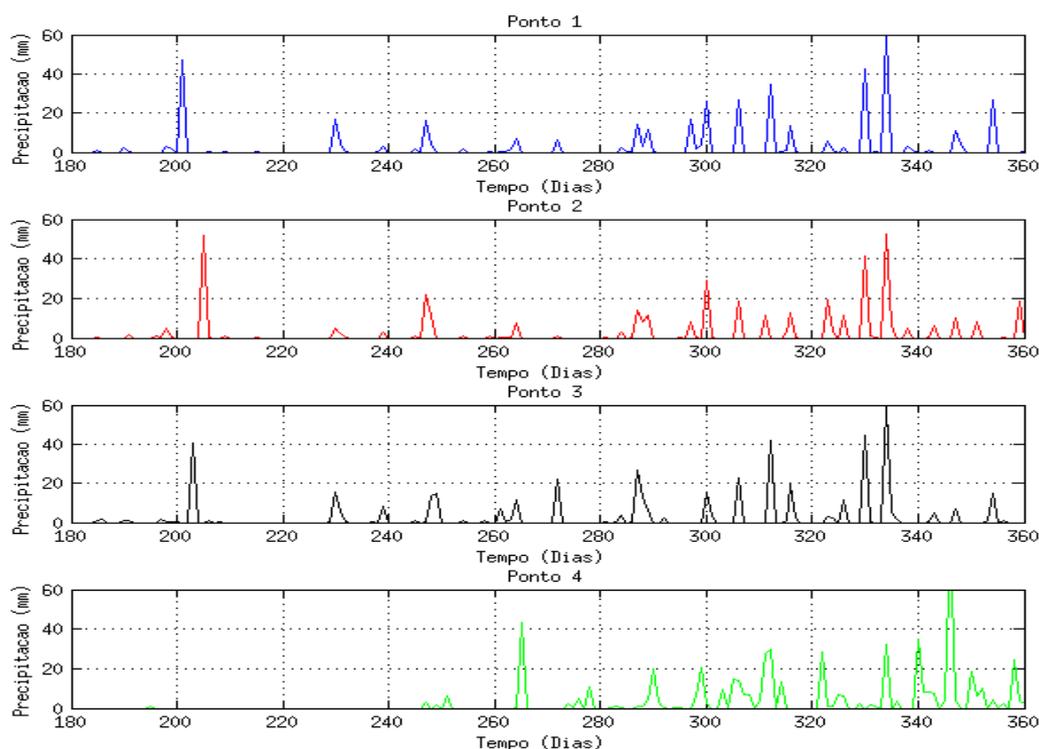


Figura 40: Resultado DTW aplicado nos dados originais de precipitação do bioma Mata Atlântica. Ponto1: segundo semestre 2002; Ponto2: segundo semestre 2002; Ponto3: segundo semestre 2003; Ponto4: segundo semestre 2011.

Com o processamento semestral nas *wavelets* foi possível encontrar eventos com ciclos de espectro de energia semelhantes. E com o processamento realizado nos dados originais, foram encontradas apenas as séries que continham números parecidos.

Processar apenas a resolução temporal semestral muitas vezes não é suficiente para encontrar padrões em eventos, por exemplo, analisar muitas séries semestrais não conceberá o resultado de uma análise em uma série que representa o ano inteiro.

4.3 Resultado Anual

Considerando que análises temporais são realizadas em diferentes resoluções temporais, foi realizado processamento de dados com resolução temporal anual, nas *wavelets* e nos dados brutos com DTW.

A Figura 41 apresenta o mapa com os pontos de referência, os pontos que possuem as *wavelets* anuais similares e os pontos que possuem dados brutos similares. A numeração nos símbolos significa a ordem de similaridade.

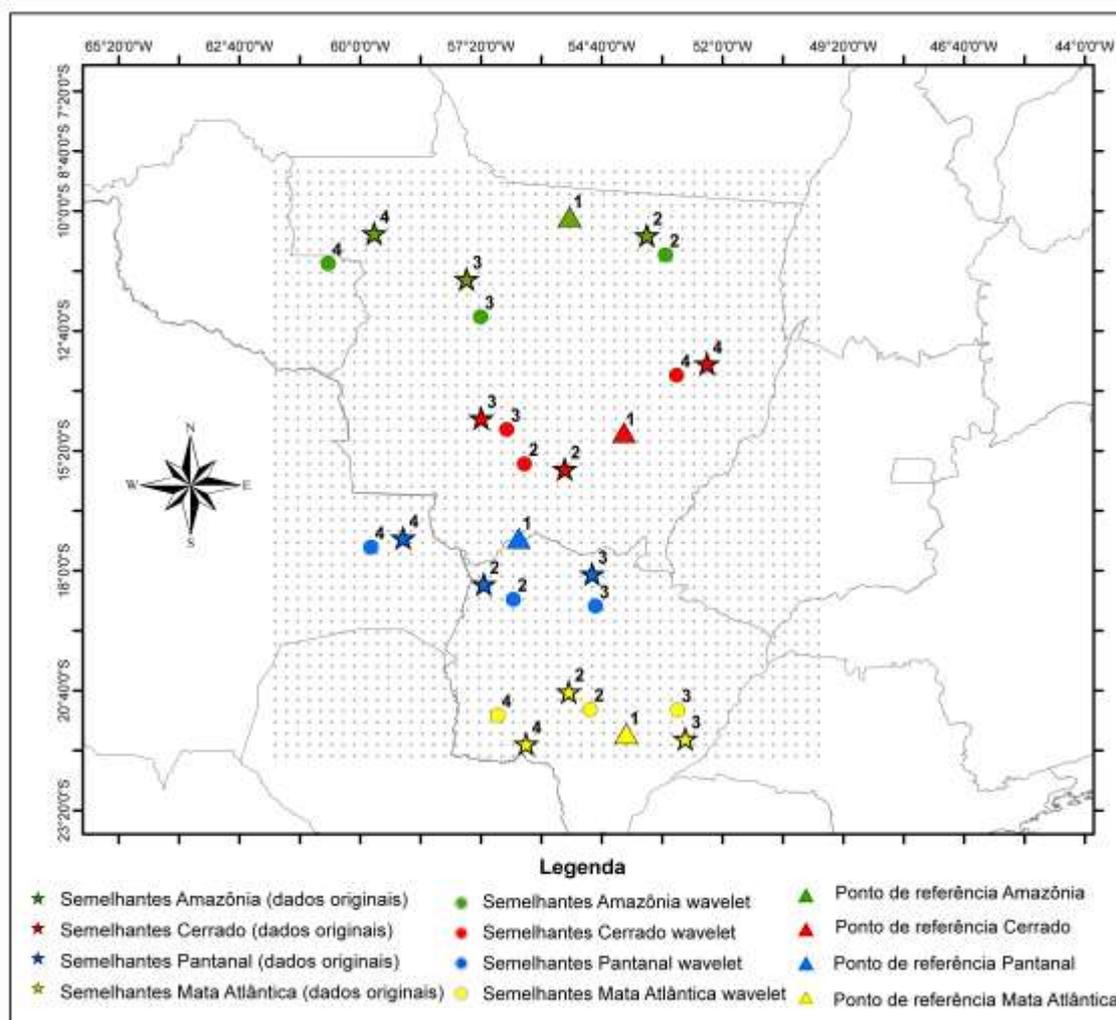


Figura 41: Mapa com a relação de pontos referência e seus pontos similares

4.3.1 Mata Atlântica

O resultado do processamento do espectro de energia para o bioma Mata Atlântica, é apresentada na Figura 42, onde o Ponto 1 é o ponto de referência ao bioma, e o pontos subsequentes são as *wavelets* similares.

Como observado, a *wavelet* com maior intensidade de energia similar ao Ponto 1 é a *wavelet* do Ponto 2, onde a alta intensidade de energia entre as *wavelets* são semelhantes, por exemplo, dos dias 130 a 140 ocorre uma frequência de 8 dias de alta intensidade de energia, e a baixa intensidade de energia e nenhuma intensidade de energia também é similar, nos dias 160 a 200 com a periodicidade de aproximadamente 4 dias.

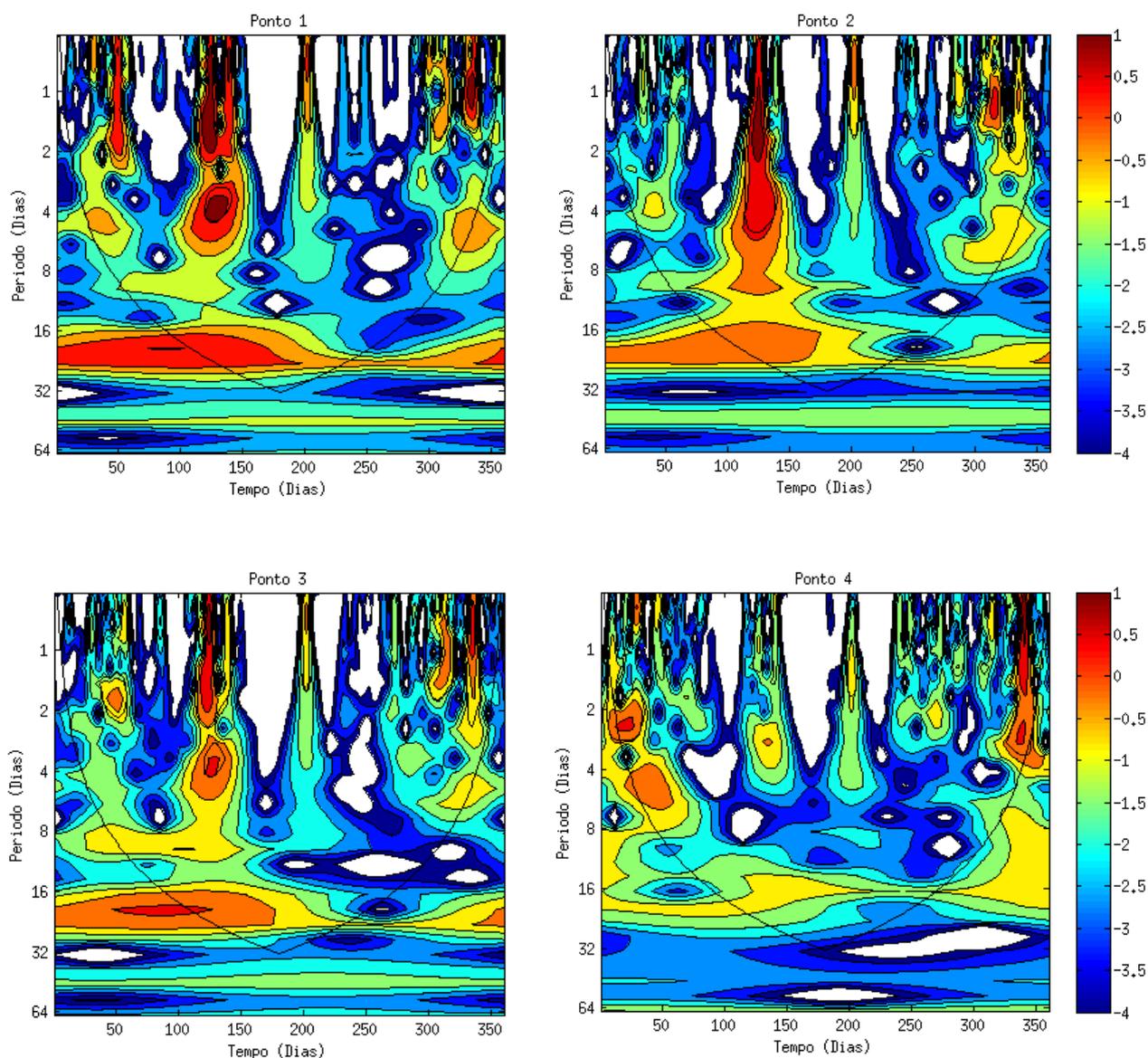


Figura 42: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets* do bioma Mata Atlântica. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 2002; Ponto4: ano 2009.

É importante mencionar que apesar de buscar retornar o mesmo ano de referência, os pontos encontrados estão distantes geograficamente como mostrados no início desta seção na Figura 41.

Também é possível observar a similaridade das *wavelets* na Figura 43, analisando as séries temporais que as representam. Observa-se que as séries temporais das *wavelets* são similares, pois o evento de precipitação acontece em dias iguais, variando apenas o volume precipitado.

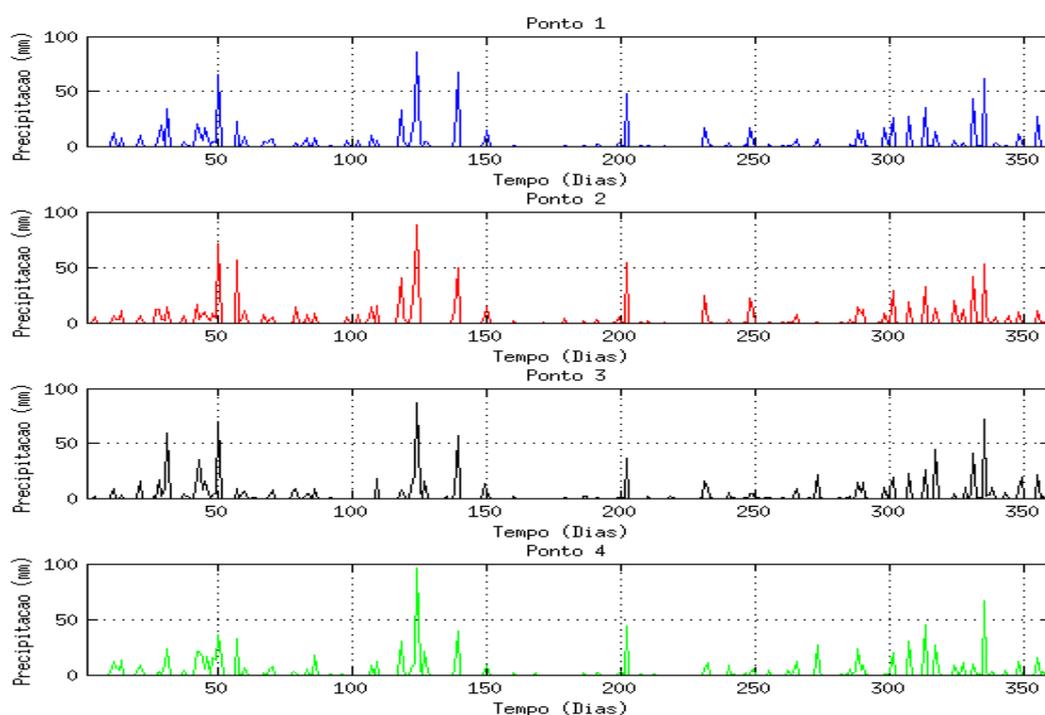


Figura 43: Séries temporais das *wavelets* similares do bioma Mata Atlântica. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 2002; Ponto4: ano 2009.

A análise de similaridade DTW também foi aplicada nos dados brutos para o bioma Mata Atlântica, onde não foi executado nenhum tratamento, ou seja, os dados foram recuperados do banco de dados pelo ano requerido.

A Figura 44 apresenta o resultado do processamento dos dados originais, onde é possível verificar que as três séries similares ao ponto situado no bioma Amazônia possuem comportamento temporal similar, pois os períodos em que ocorre a

precipitação acontecem em dias semelhantes e os períodos em que não há precipitação também acontecem aproximadamente nos mesmos dias da série temporal de referência.

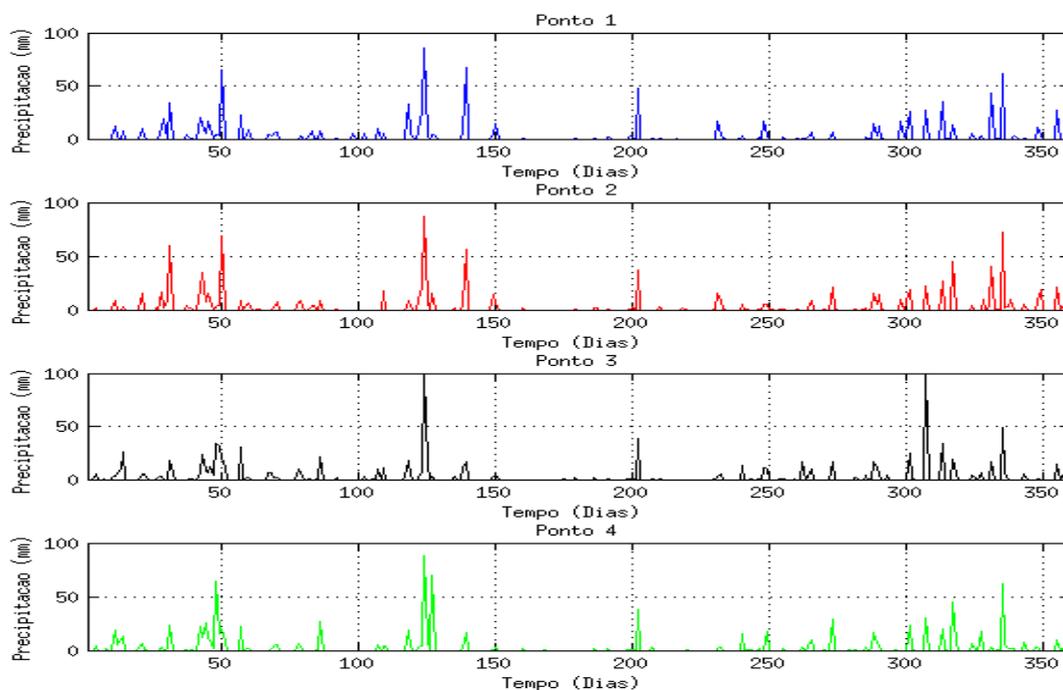


Figura 44: Resultado do DTW aplicado aos dados originais de precipitação do bioma Mata Atlântica. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 2002; Ponto4: ano 2003.

4.3.2 Amazônia

O segundo ponto analisado situa-se no bioma Amazônia, cuja *wavelets* anuais similares são apresentadas na Figura 45. O Ponto 1 é o ponto de referência ao bioma Amazônia e os pontos subsequentes são as *wavelets* similares a este ponto.

O processamento do espectro de energia levou em consideração o cone de influência para realizar a análise de similaridade DTW, ou seja, desprezou o que estava fora da parte superior do cone de influência devido ao efeito de bordas.

Percebe-se que o espectro de energia entre o Ponto 1 e o Ponto 2 possuem maior similaridade nas baixas intensidades de energia e quando não há intensidade de energia (branco), possuindo as duas *wavelets*, dos dias 120 a 250 uma periodicidade de 17 dias de baixa intensidade a nenhuma intensidade de energia.

Na análise da alta intensidade temos dos dias 60 a 80 uma periodicidade de 4 dias nas *wavelets* dos pontos 1 e 2 sendo uma intensidade intermediária alta no mesmo período nas *wavelets* dos pontos 3 e 4. Observa-se também a semelhança de alta intensidade nos dias 280 a 290 na frequência de 1 dia, e nos dias 275 a 300 com frequência de 4 a 8 dias.

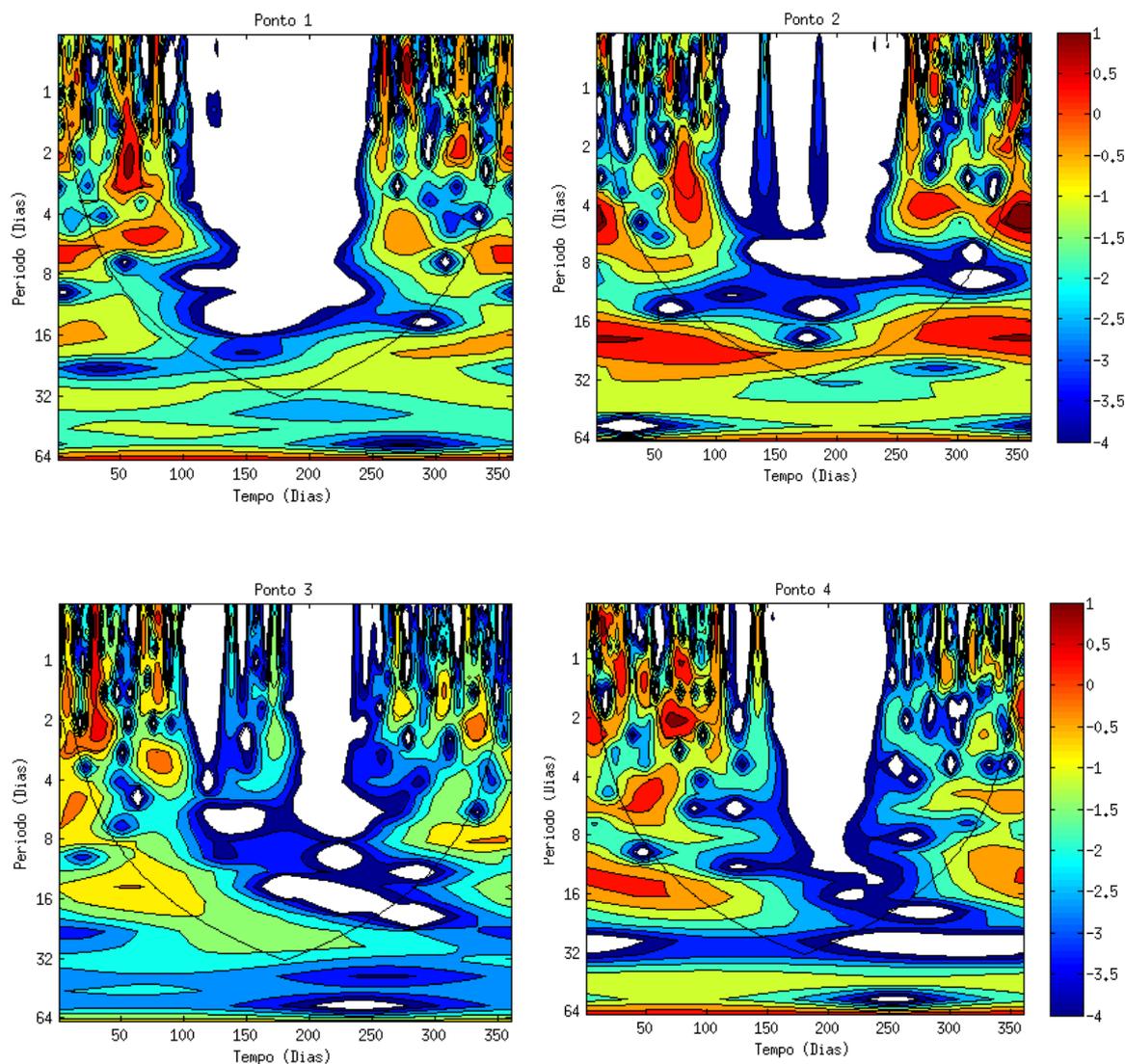


Figura 45: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets* de precipitação do bioma Amazônia. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 1998; Ponto4: ano 2002.

Também é possível observar a similaridade das *wavelets* do bioma Amazônia observando as séries temporais que as representam na Figura 46. Observa-se que os dias que acontecem o evento de precipitação são similares variando apenas na intensidade.

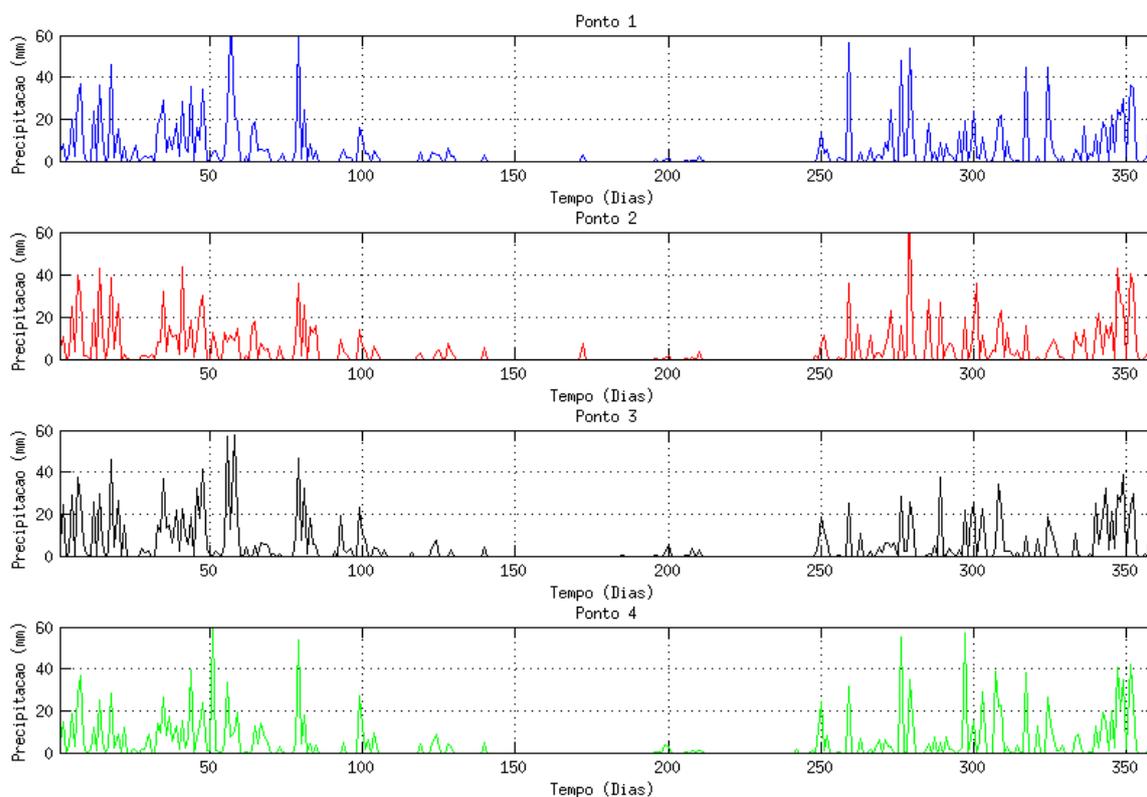


Figura 46: Séries temporais das *wavelets* de precipitação similares do bioma Amazônia. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 1998; Ponto4: ano 2002.

A análise de similaridade DTW, também foi realizada sobre os dados brutos, o resultado é apresentado na Figura 47. Na busca por similaridade nos dados brutos não existe análise de frequência ou espectro de energia que a *wavelet* proporciona.

O comportamento das séries temporais retornadas na busca nos dados brutos é semelhante, visto que existe uma periodicidade nos dados que se repetem com a mesma frequência nas séries temporais apresentadas, que devido a característica própria do DTW possuem comportamento similar deslocado no tempo.

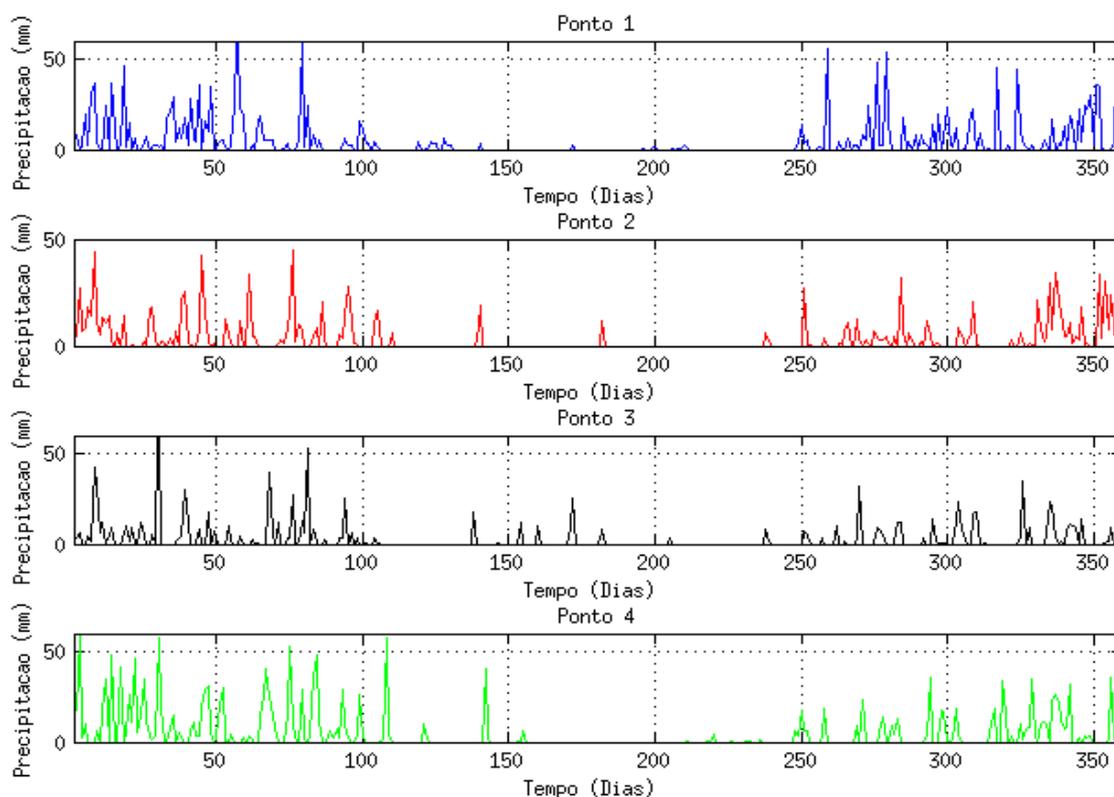


Figura 47: Resultado do DTW aplicado aos dados brutos para o bioma Amazônia. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 2002; Ponto4: ano 2002.

Outro ponto selecionado para processamento está no bioma Pantanal, onde foi realizado o processamento do espectro de energia e a busca por intensidades semelhantes dentro do cone de influência, utilizando o DTW.

4.3.3 Pantanal

A Figura 48 apresenta a *wavelet* Ponto 1 que representa o ponto situado no bioma Pantanal, e suas *wavelets* similares.

O ponto com maior grau de similaridade é o Ponto 2, verifica-se esta semelhança analisando os espectros de energia deste ponto, onde os períodos com intensidades de energia são similares ao ponto de referência ao bioma Pantanal. A intensidade alta, e intensidade intermediária alta de energia situada nos dias 50 a 75 com periodicidade de 4 dias, acontece nas *wavelets* dos pontos 1, 2, 3 e no ponto 4 a intensidade de energia acontece nos mesmos dias porém com periodicidade 2 dias. Fica evidente a similaridade

das *wavelets* ao analisar os períodos que não possuem energia ou possuem intensidade de energia baixa, pois estes períodos estão bem definidos dos dias 160 a 240 em todas as *wavelets* apresentadas na Figura 48.

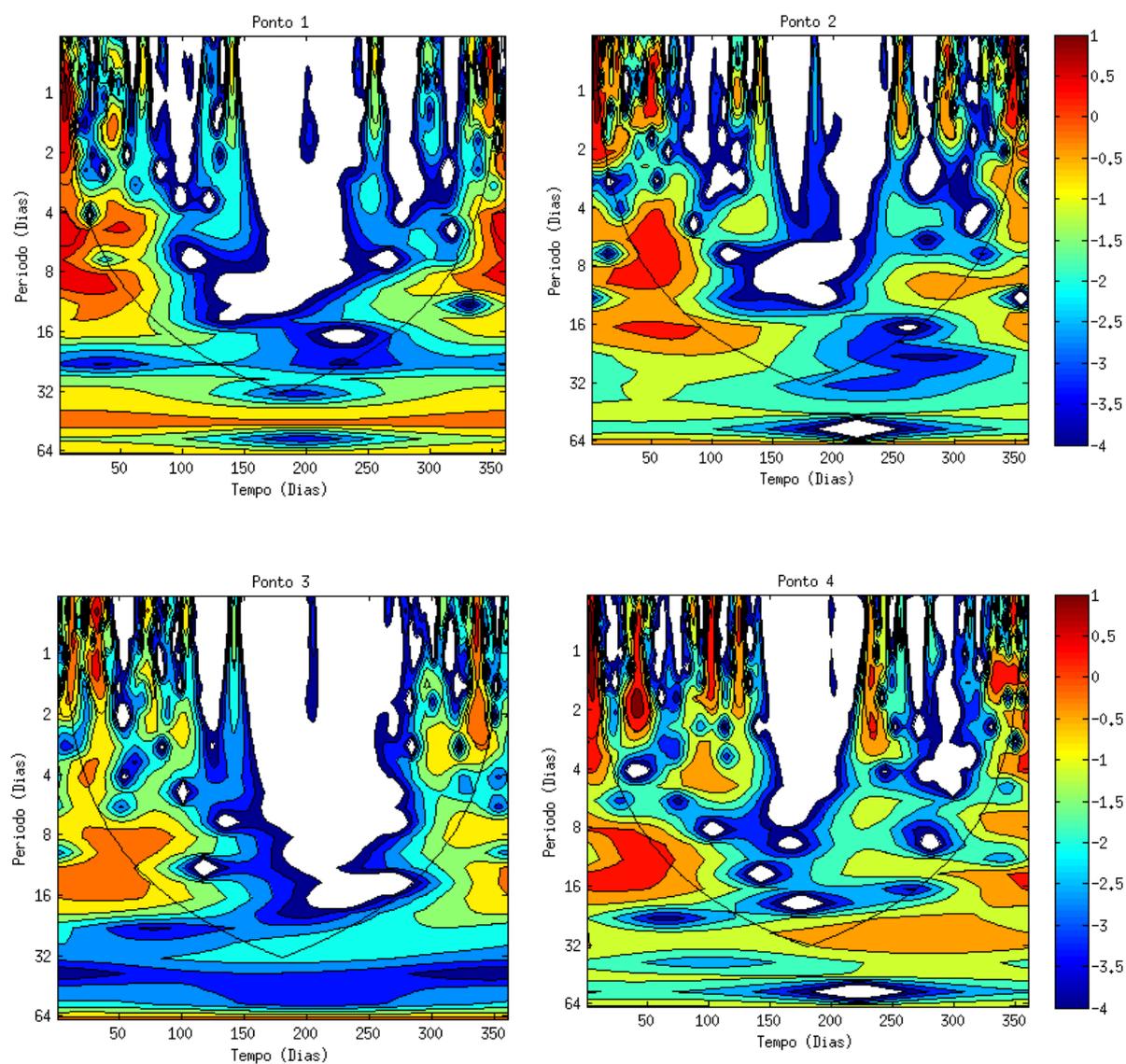


Figura 48: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets* de precipitação do bioma Pantanal.

Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2003; Ponto3: ano 2007; Ponto4: ano 2002.

As séries temporais que representam as *wavelets* do bioma Pantanal são apresentadas na Figura 49, onde é possível observar além da análise de *wavelets*, a similaridade entre as séries temporais.

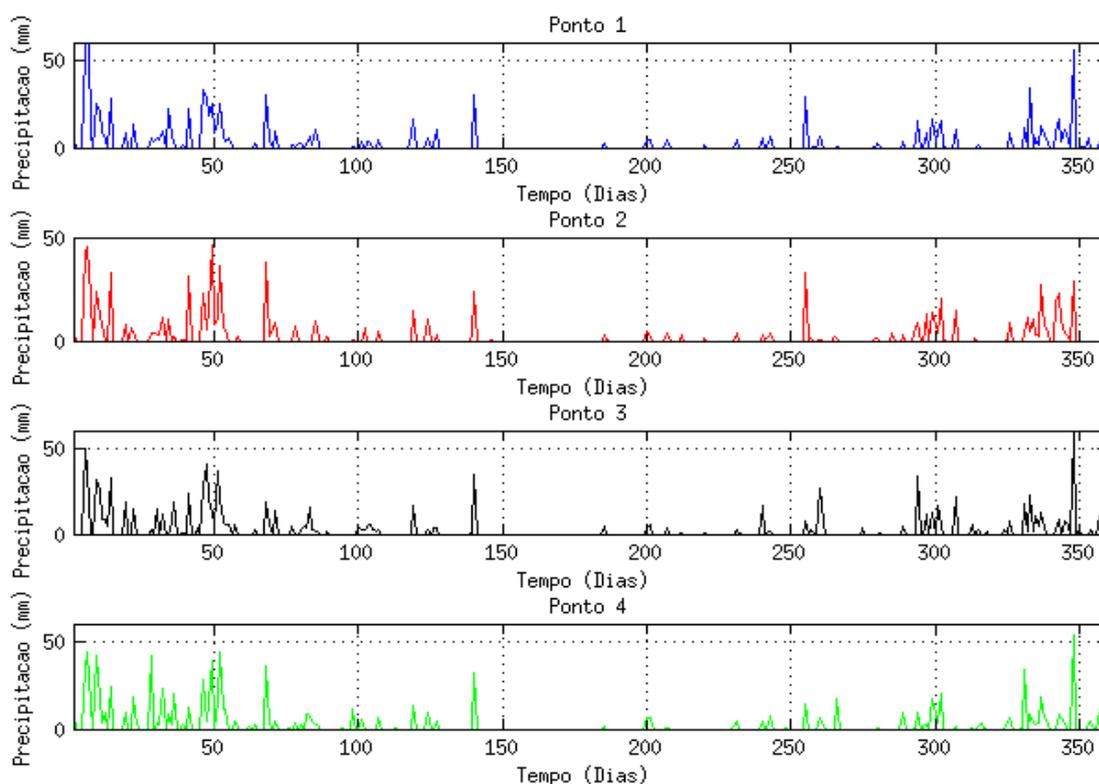


Figura 49: Séries temporais das wavelets de precipitação similares do bioma Pantanal. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2003; Ponto3: ano 2007; Ponto4: ano 2002.

Ao analisar os espectros de energia na busca por similaridade DTW, têm-se os resultados de energia, frequência e escala. Quando se analisa apenas a série temporal original não existem estas informações.

Este processamento também foi realizado no presente trabalho, e o resultado é apresentado na Figura 50, onde se observa a semelhança no comportamento dos dados, em que o período onde não ocorre a precipitação é similar e os dias em que ocorre o evento existe apenas uma variação de volume.

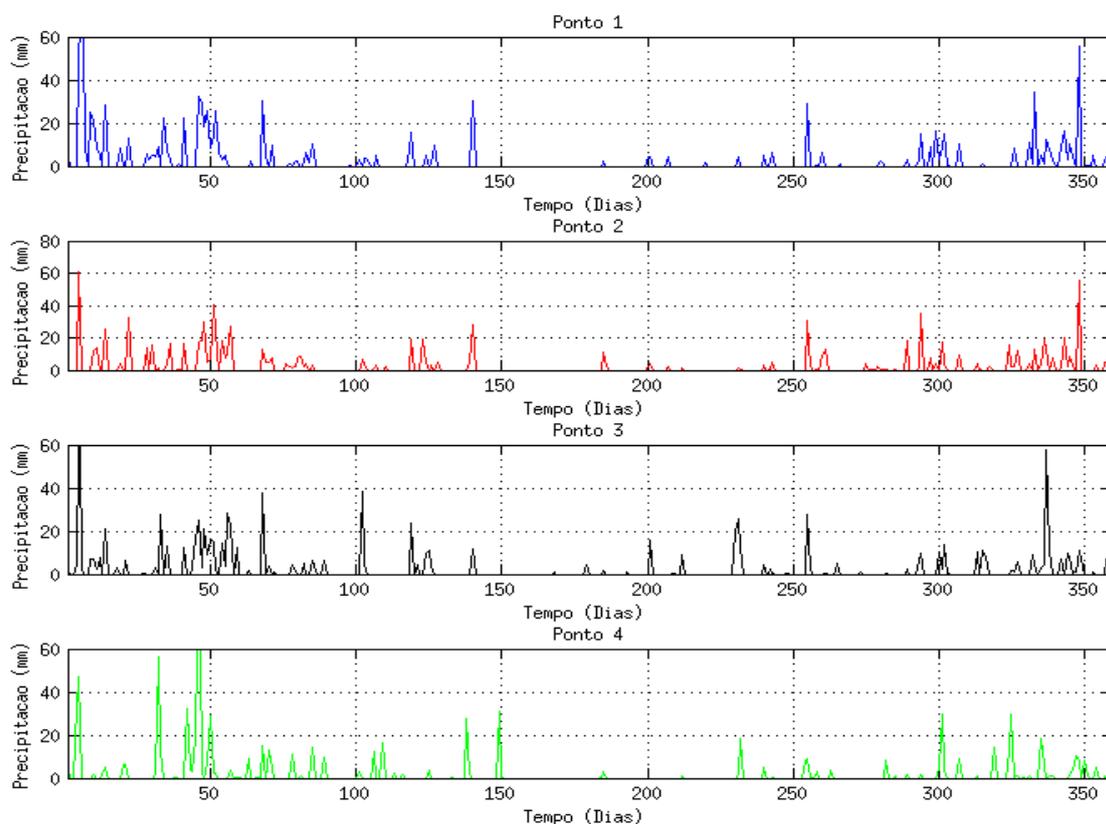


Figura 50: Resultado do DTW aplicado aos dados originais de precipitação do bioma Pantanal. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2002; Ponto3: ano 2007; Ponto4: ano 2002.

4.3.4 Cerrado

O processamento realizado levou em consideração apenas as frequências dentro do cone de influência, pois os períodos fora desta linha devem ser negligenciados. A Figura 51 apresenta as *wavelets* similares ao bioma analisado.

Observa-se que os períodos onde não há precipitação, ou seja, não possuem energia ou possuem intensidade baixa de energia, são semelhantes em todas as imagens, aproximadamente entre dos dias 150 a 220, e nos dias 240 a 260 com periodicidade de 8 dias. As *wavelets* com alta intensidade de energia tem o mesmo comportamento dos dias 50 a 100 e também nos dias 230 a 240.

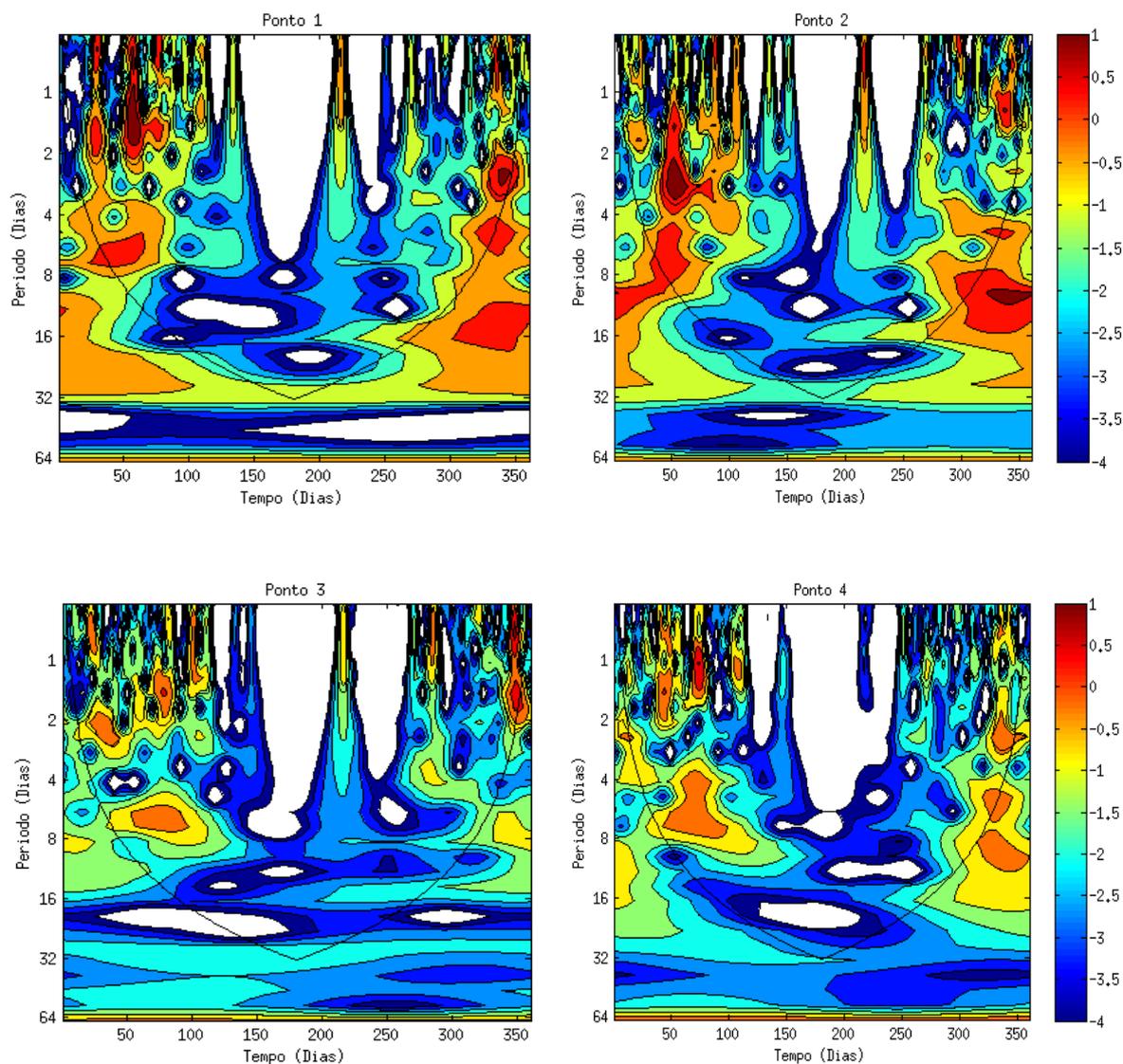


Figura 51: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets* do bioma Cerrado. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2006; Ponto3: ano 2006; Ponto4: ano 2003.

Também é possível observar a similaridade das *wavelets* do bioma Cerrado observando as séries temporais que as conceberam na Figura 52. As séries temporais apresentadas possuem similaridades nos dias em que não houve precipitação como mostrado na análise de *wavelets*, e nos dias em que houve o evento variando apenas na intensidade.

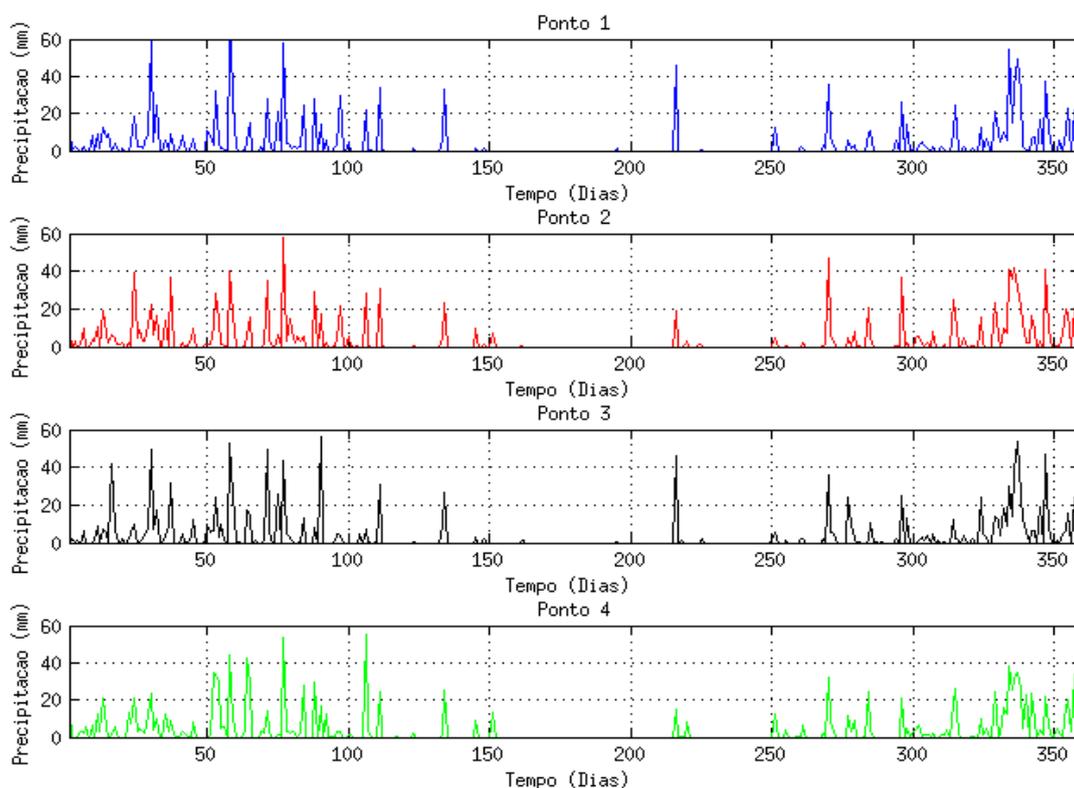


Figura 52: Séries temporais das *wavelets* similares do bioma Cerrado. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2006; Ponto3: ano 2006; Ponto4: ano 2003.

A análise de similaridade DTW também foi realizada para a série temporal original, onde os dados estão sem tratamento. Esse tipo de processamento é usado quando o interesse é apenas analisar o comportamento dos dados.

A Figura 53 apresenta o resultado do DTW aplicado nos dados brutos, onde é possível verificar a similaridade entre a série dados de referência ao bioma Cerrado e os dados apresentados pelos outros pontos. As séries possuem comportamento similar, pois os dias em que ocorre a precipitação são similares variando apenas no volume precipitado, e o número de dias em que não ocorre chuva também são semelhantes.

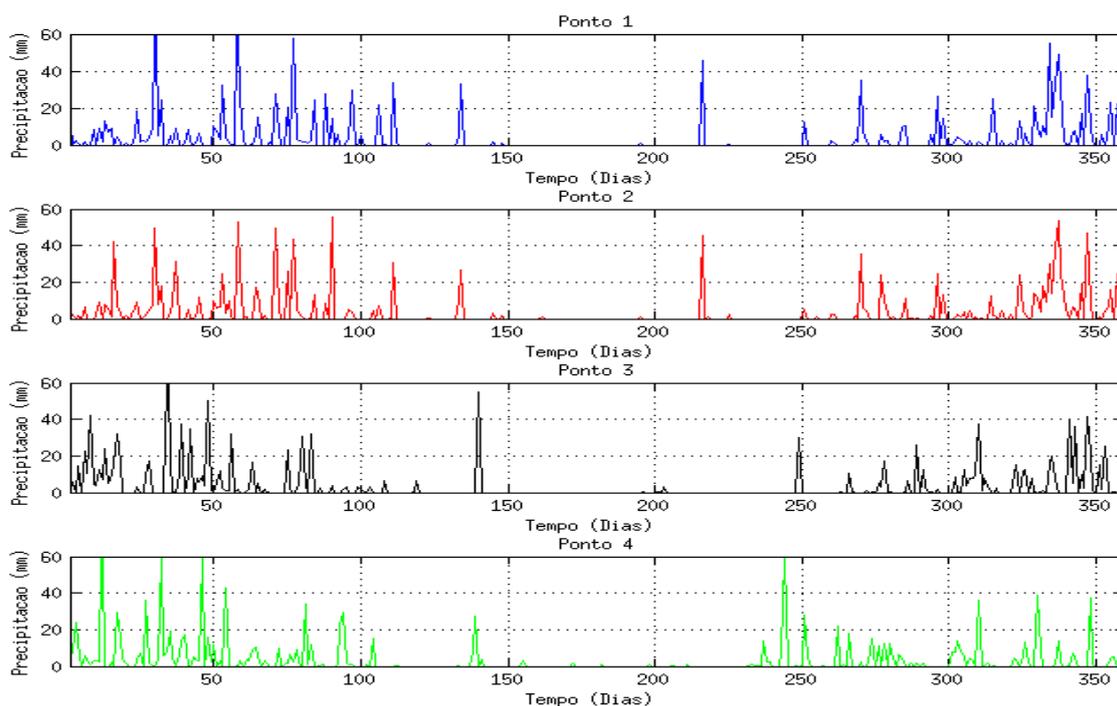


Figura 53: Resultado do DTW aplicado aos dados originais do bioma Cerrado. Ponto1: ano 2002; Ponto2: ano 2003; Ponto3: ano 2002; Ponto4: ano 2003.

A análise do DTW aplicado nas *wavelets* e nos dados brutos com periodicidade anual, fornece informações apenas ano a ano. Portanto para acrescentar mais informação sobre séries temporais e *wavelets*, no presente trabalho também foi realizado o processamento da série inteira.

4.4 Resultado Série Completa

A análise de similaridade DTW também foi aplicada nas *wavelets* e nos dados originais, em uma série histórica de quinze anos que é metade de uma série histórica que define o clima de uma região (AYOADE, 1998). Foram geradas *wavelets* com a precipitação acumulada mensal, para cada ponto da grade do TRMM, com a resolução temporal de quinze anos, ou seja, foram utilizados dados de janeiro de 1998 a dezembro de 2013.

Os quatro pontos de referência utilizados nos processamentos mensais, semestrais e anuais também foram utilizados para o processamento da série toda. A Figura 54 apresenta os pontos de referência, os pontos que possuem as *wavelets* similares

representados por um círculo e os pontos que possuem séries temporais originais similares representados por estrela.

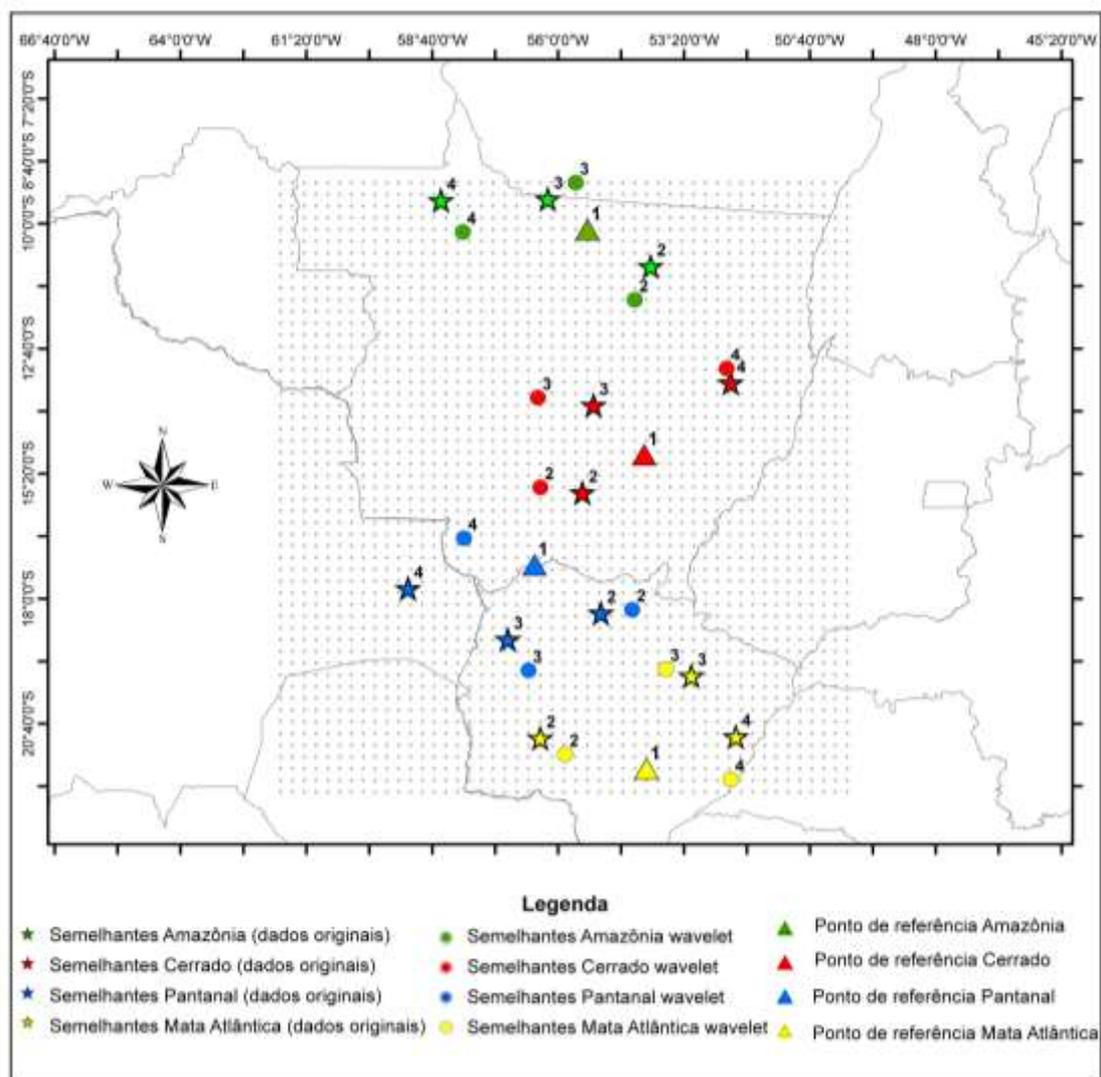


Figura 54: Mapa dos pontos de referência e os pontos similares para a série toda.

O primeiro ponto selecionado para processamento foi o ponto situado no bioma Amazônia.

4.4.1 Amazônia

O resultado da busca por *wavelets* similares a é apresentado na Figura 55. Observa-se que quando a série inteira é analisada existe uma periodicidade de alta

intensidade energia de 2 a 4 meses em todas as *wavelets* similares ao ponto do bioma Amazônia, e a intensidade intermediária baixa também possui períodos bem definidos em todas as *wavelets* analisadas, e dos meses 60 a 120 todos os espectros de energia na periodicidade de 5 meses não possuem energia.

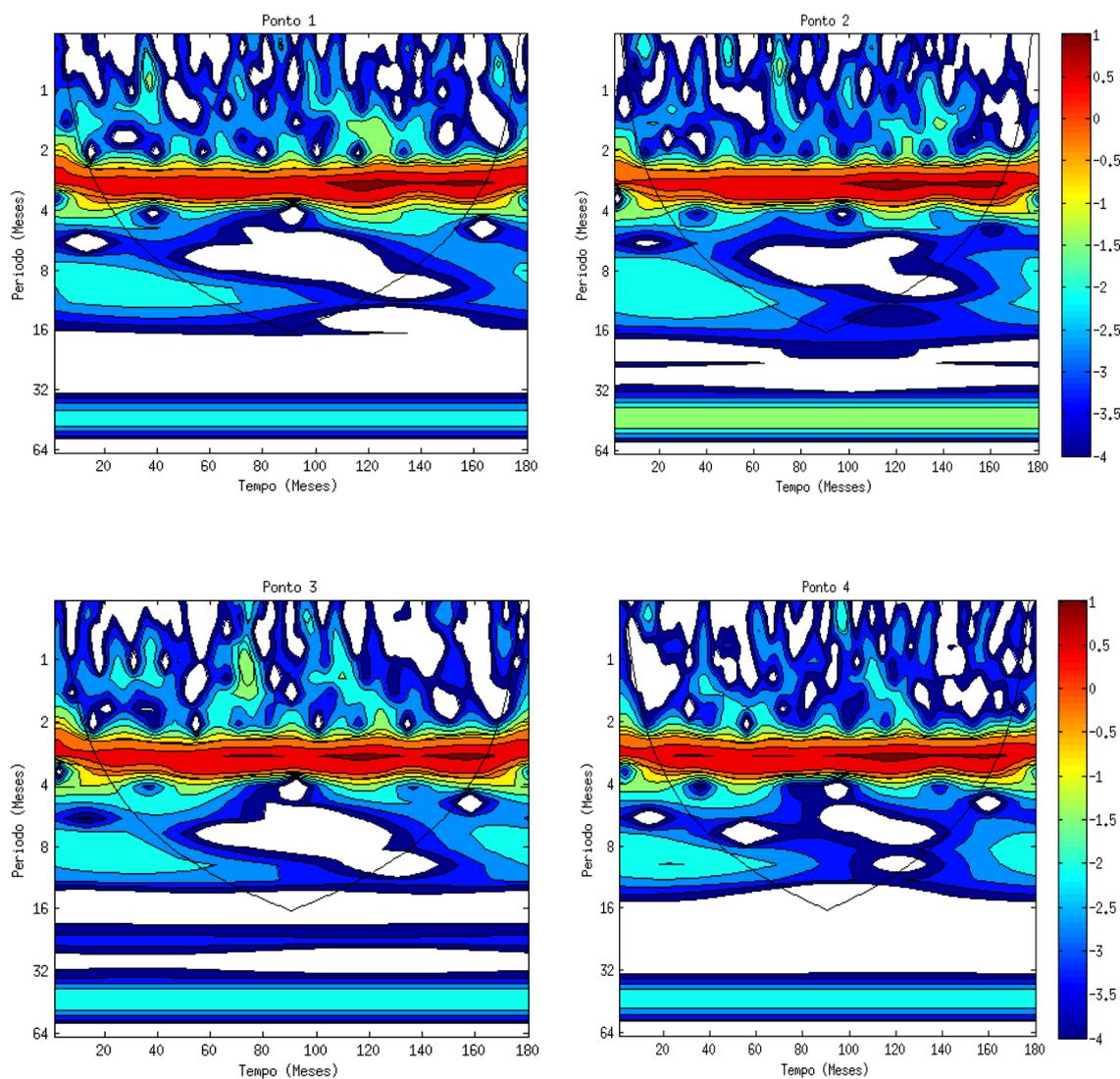


Figura 55: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Amazônia; (Ponto2) Primeiro ponto similar; (Ponto3) Segundo ponto similar; (Ponto4) Terceiro ponto similar.

Também é possível observar a similaridade das *wavelets* analisando as séries temporais que as representam na Figura 56, onde é visível a semelhança entre as séries temporais nos períodos em que há chuva e o período que não chove.

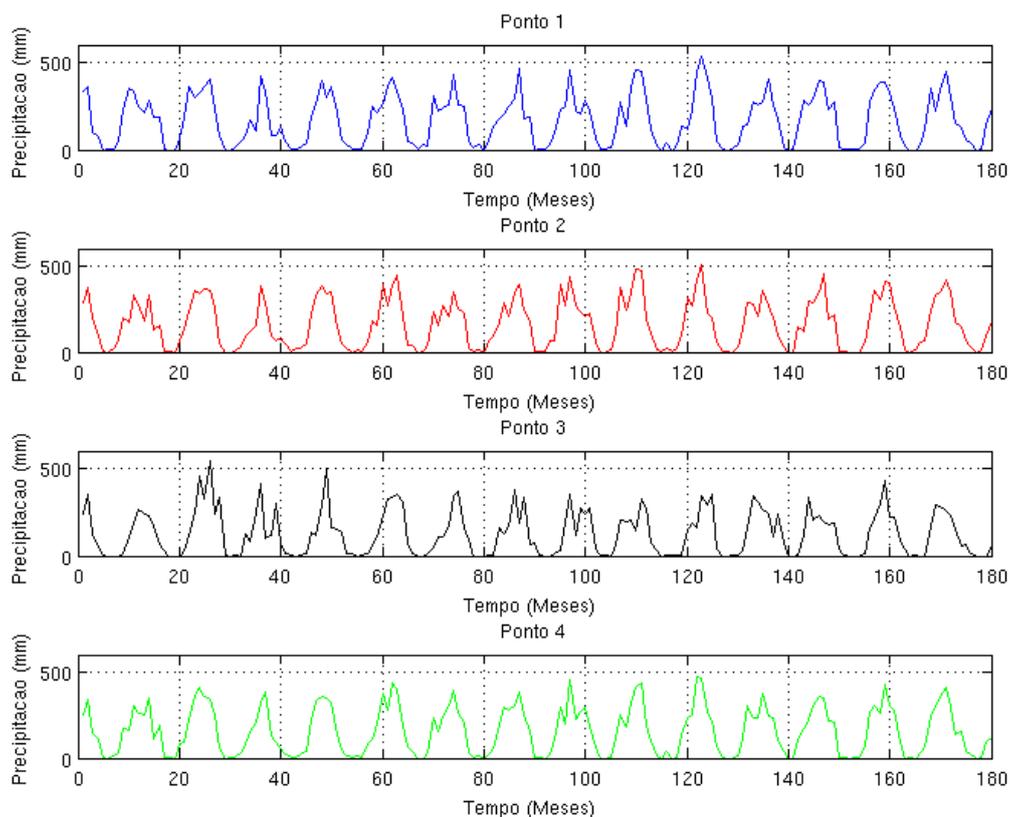


Figura 56: Séries temporais das *wavelets* similares do bioma Amazônia.

O processamento da série inteira também foi realizada nos dados brutos armazenados no PostgreSQL, seu resultado é apresentado na Figura 57.

No processamento dos dados brutos observa-se que o comportamento dos dados é semelhante, porém não há nenhuma análise do espectro de energia da série temporal. A similaridade está nos períodos em que não ocorre a precipitação e nos períodos que ocorre variando apenas no volume, sendo que este comportamento é semelhante em todas as séries temporais apresentadas.

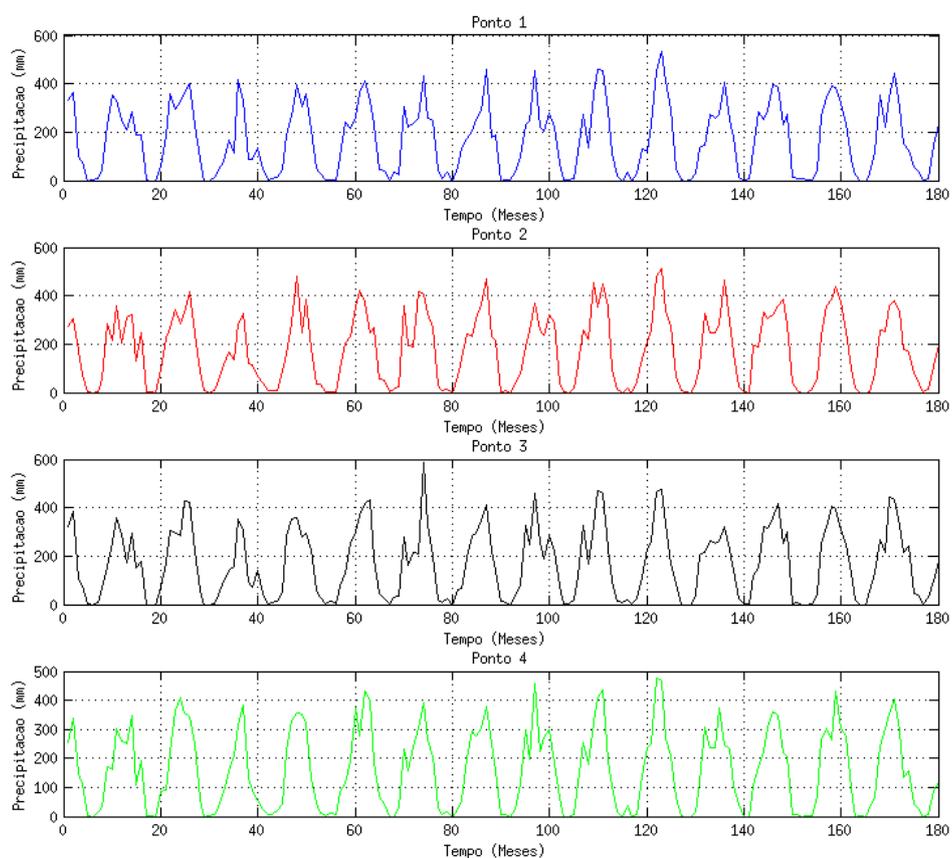


Figura 57: Resultado do DTW aplicado aos dados brutos para o bioma Amazônia.

4.4.2 Cerrado

O segundo ponto selecionado para processamento está no bioma Cerrado, onde foram analisadas as *wavelets* com espectro de energia similar dentro do cone de influência. O resultado deste processamento é apresentado na Figura 58.

É possível observar que apesar de deslocadas no tempo elas apresentam períodos similares de baixa intensidade de energia, e a periodicidade de 2 a 4 meses de intensidade de energia intermediária alta, sendo que dos meses 80 a 90 houve um período de alto nível de energia que se repete nas *wavelets* do ponto 2 dos meses 80 a 100, no ponto 3 a mesma quantidade de energia, porém nos meses 140 a 160.

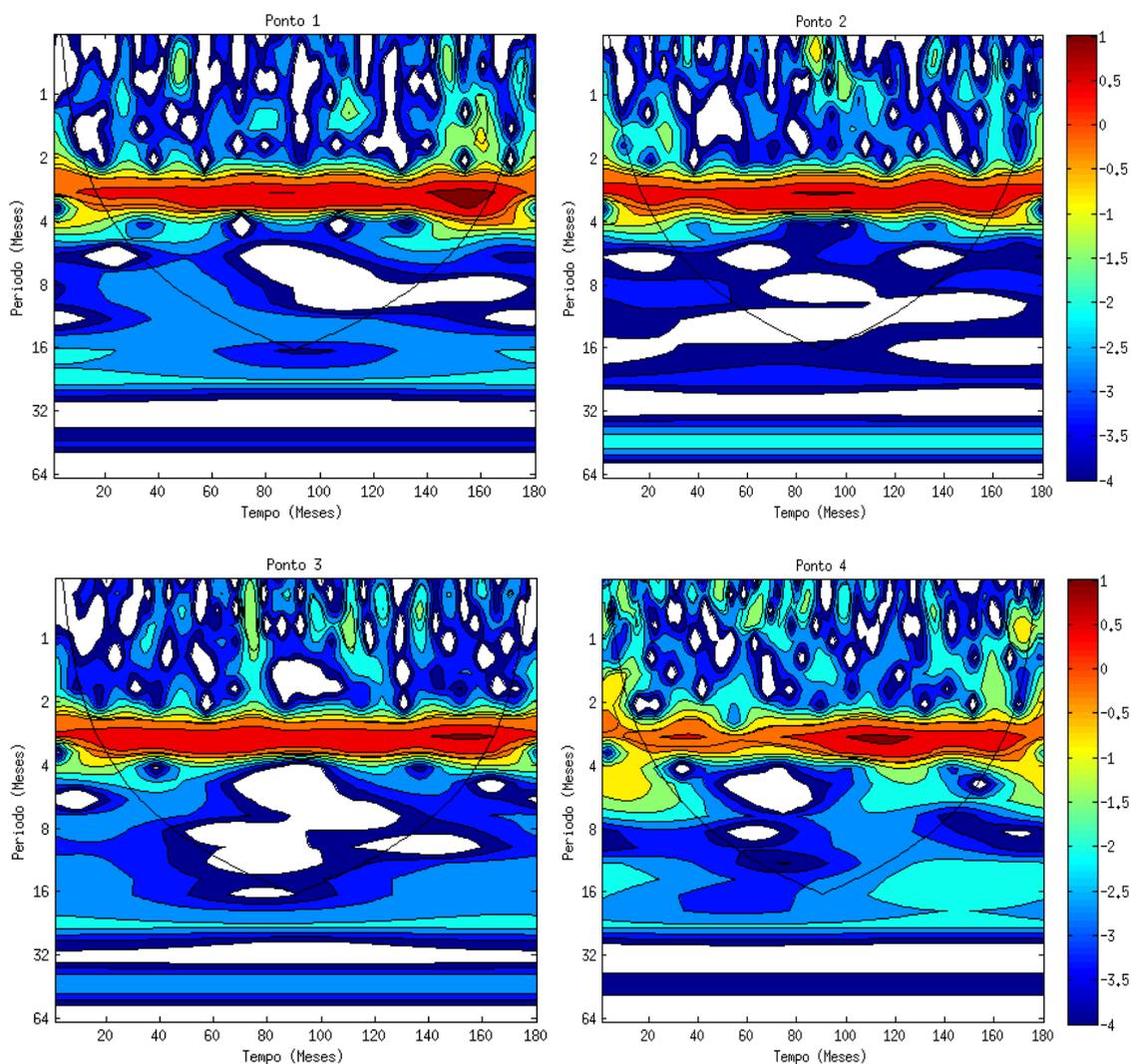


Figura 58: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Cerrado; (Ponto2) Primeiro ponto similar; (Ponto3) Segundo ponto similar; (Ponto4) Terceiro ponto similar.

A Figura 59 apresenta as séries temporais das *wavelets* do bioma Cerrado, observa-se a periodicidade da precipitação durante os quinze anos selecionados, ou seja, existem eventos periódicos que são repetidos nas séries temporais que representam as *wavelets*.

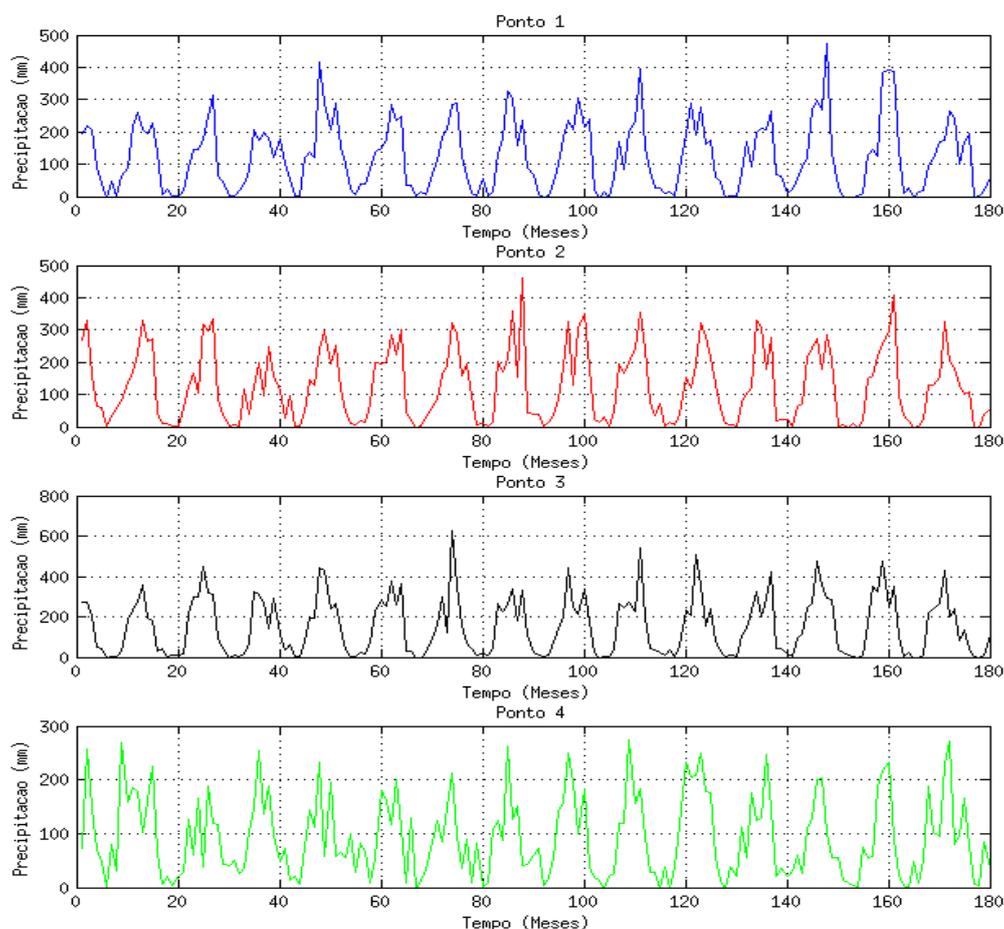


Figura 59: Séries temporais das *wavelets* similares do bioma Cerrado.

O processamento também foi realizado nos dados brutos para o bioma Cerrado, esta busca retorna apenas as séries de dados similares, ou seja, não se analisa o espectro de energia. O resultado é apresentado na Figura 60.

Com este processamento é possível verificar a semelhança apenas analisando o comportamento da série. Os períodos que não ocorre precipitação são similares, e os períodos em que ocorre a precipitação também são semelhantes, pois ocorrem nos mesmos meses em todas as séries temporais.

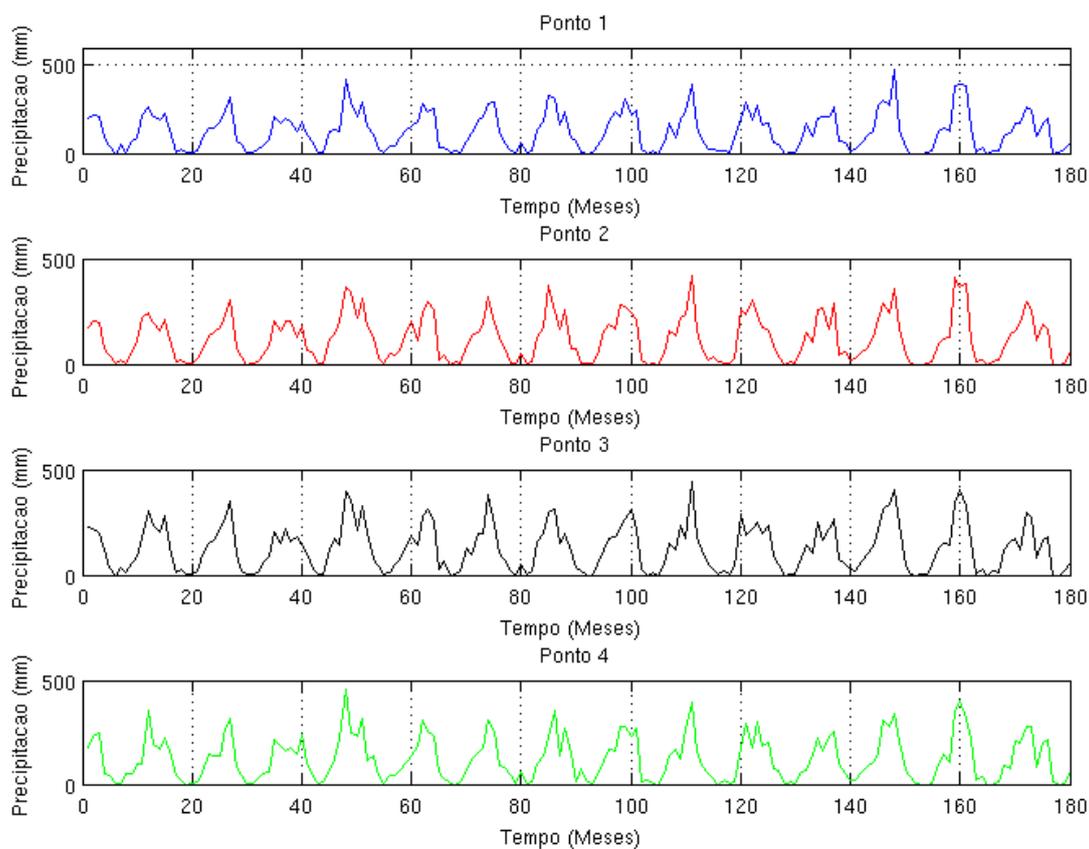


Figura 60: Resultado do DTW aplicado aos dados brutos para o bioma Cerrado.

4.4.3 Mata Atlântica

Outro ponto selecionado para processamento da série inteira é ponto localizado no bioma Mata Atlântica. O resultado é apresentado na Figura 61.

As *wavelets* similares ao Ponto 1 possuem altas intensidades dos meses 40 a 160 com uma periodicidade de 3 a 4 meses. As baixas intensidades também são semelhantes em todos os espectros analisados, e o período onde não tem intensidade de energia também é semelhante, pois começa no mês 60 e termina no mês 110 nas *wavelets* dos pontos 1 e 2 e nos pontos 3 e 4 este período está com intensidade de energia intermediária baixa.

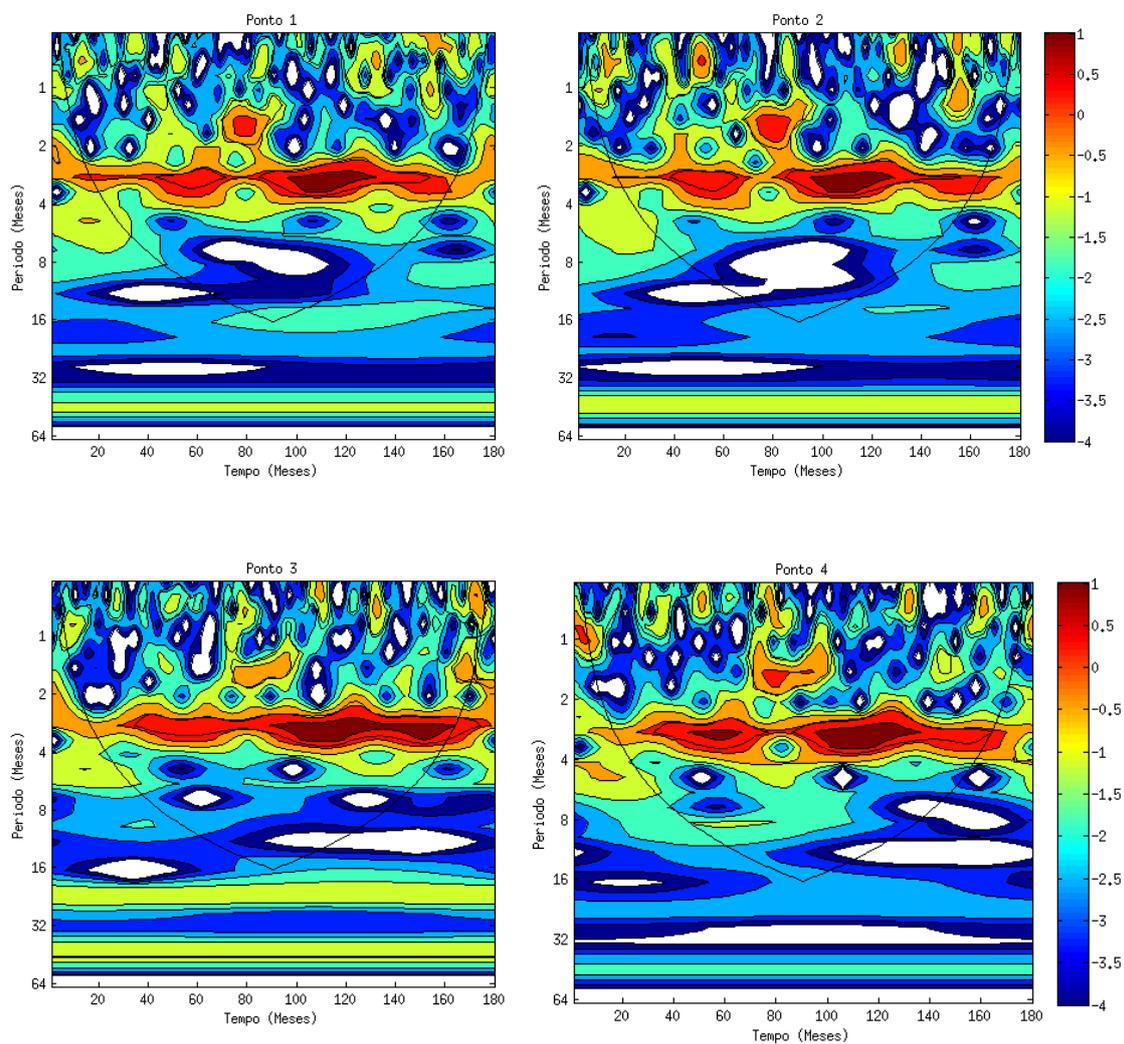


Figura 61: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Mata Atlântica; (Ponto2) Primeiro ponto similar; (Ponto3) Segundo ponto similar; (Ponto4) Terceiro ponto similar.

A Figura 62 ilustra as séries temporais que representam as *wavelets* do bioma Mata Atlântica. Também é possível notar a similaridade entre as séries temporais das *wavelets*, pois o volume de precipitação é similar em todas as séries e o período em que ocorre o evento de precipitação também semelhante, comprovando também a similaridade das *wavelets*.

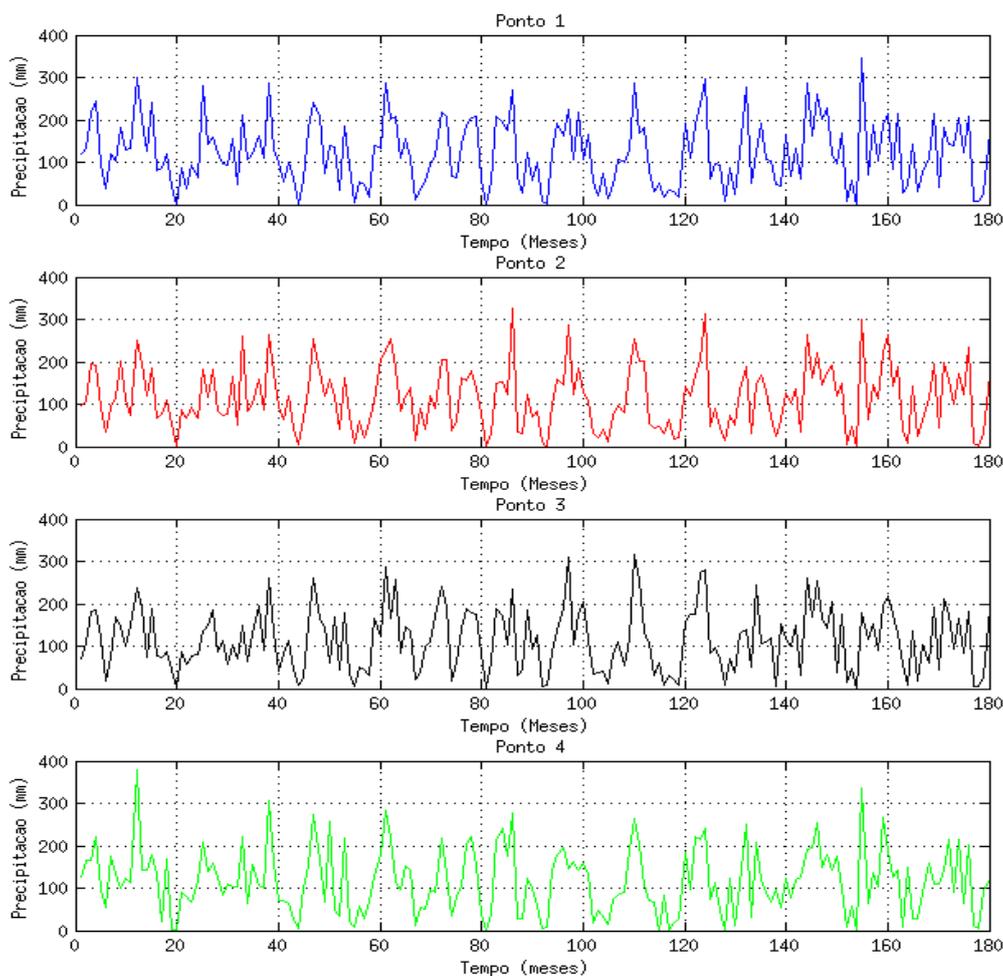


Figura 62: Séries temporais das *wavelets* similares do bioma Mata Atlântica.

O processamento também foi realiza para os dados brutos. O resultado é apresentado na Figura 63, observa-se o comportamento das séries temporais.

Para este ponto situado no bioma Mata Atlântica, é possível verificar que existe um comportamento que se repete em todas as séries temporais, como no caso da série temporal representada pelo Ponto 2 que possui maior similaridade de valores precipitados ao Ponto 1.

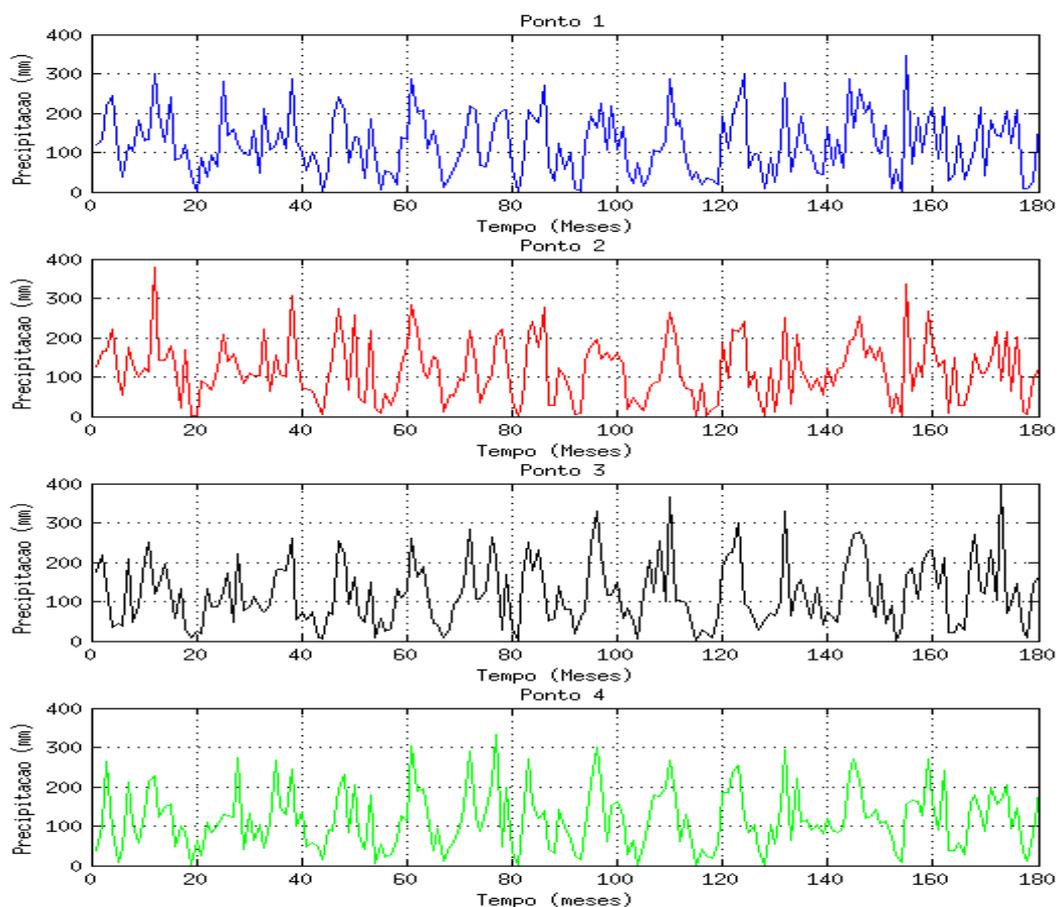


Figura 63: Resultado do DTW aplicado aos dados brutos para o bioma Mata Atlântica.

4.4.4 Pantanal

O último ponto selecionado para processamento está no bioma Pantanal, foi realizada a análise de similaridade DTW nas *wavelets* levando em consideração a parte superior do cone influência.

O resultado do processamento é apresentado na Figura 64, onde é possível notar a semelhança entre os espectros de energia das *wavelets* do Ponto 1 com a *wavelet* do Ponto 2 principalmente. Os níveis intermediários alto de energia foram encontrados com periodicidade de 2 a 4 meses (eixo y) em todas as *wavelets* apresentadas na Figura 63. Nos meses 90 a 130 (eixo x) observar-se o mesmo período de alta intensidade energia na *wavelet* do Ponto 2 com a *wavelet* do Ponto 1, e os meses que possuem baixa intensidade ou nenhuma intensidade também são similares, por exemplo, nos meses 70

a 120 com a periodicidade de 7 meses são semelhantes ambas as *wavelets* apresentadas na Figura 63.

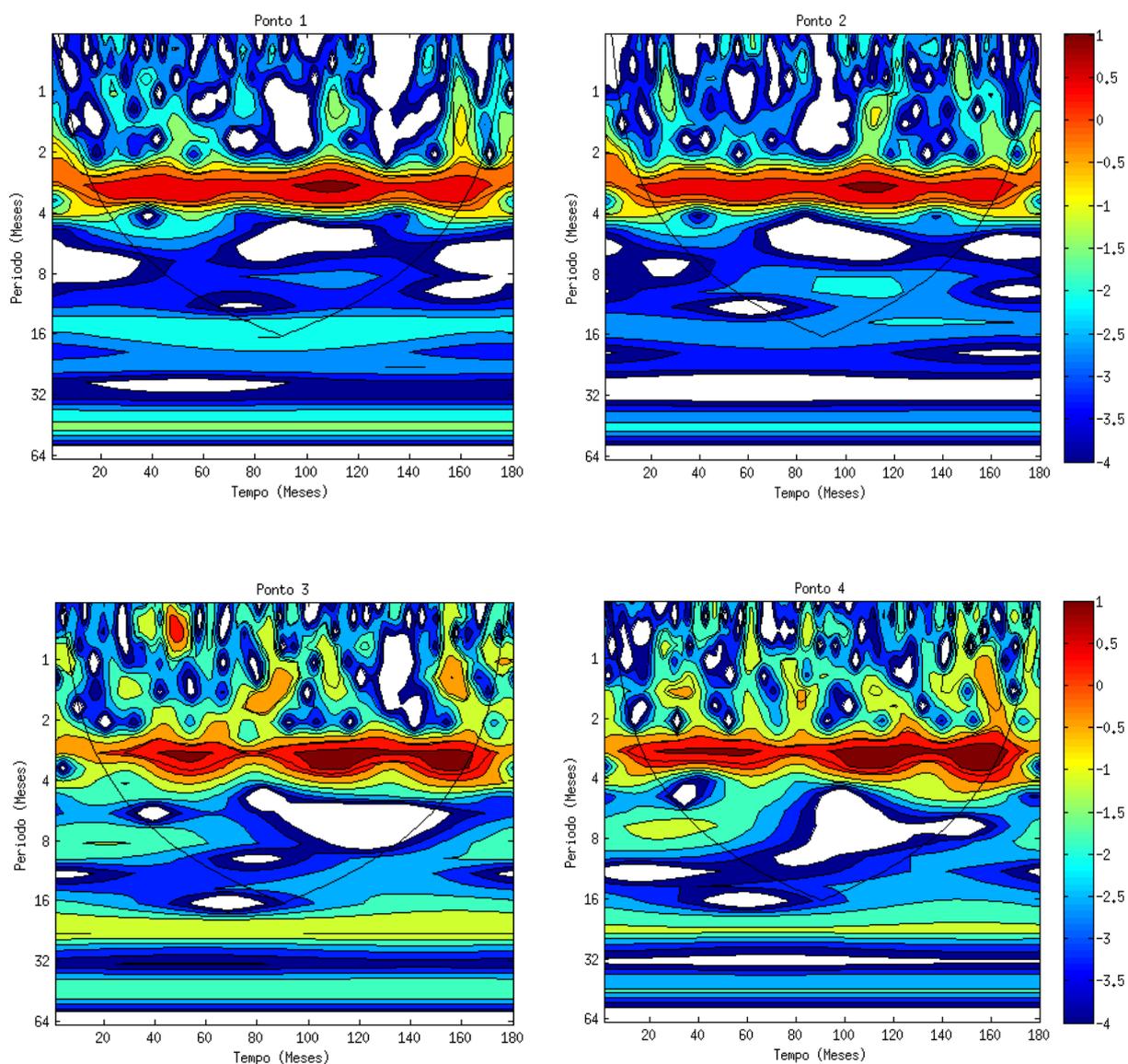


Figura 64: Similaridade entre espectros de energia das *wavelets*. (Ponto1) Ponto de referência ao bioma Pantanal; (Ponto2) Primeiro ponto similar; (Ponto3) Segundo ponto similar; (Ponto4) Terceiro ponto similar.

Também é possível verificar a similaridade das *wavelets* do bioma Pantanal observando as séries temporais que as representam na Figura 65. Existe uma periodicidade das séries temporais, nos meses em que há o evento de precipitação e nos meses em que não ocorre, enfatizando a semelhança entre as séries.

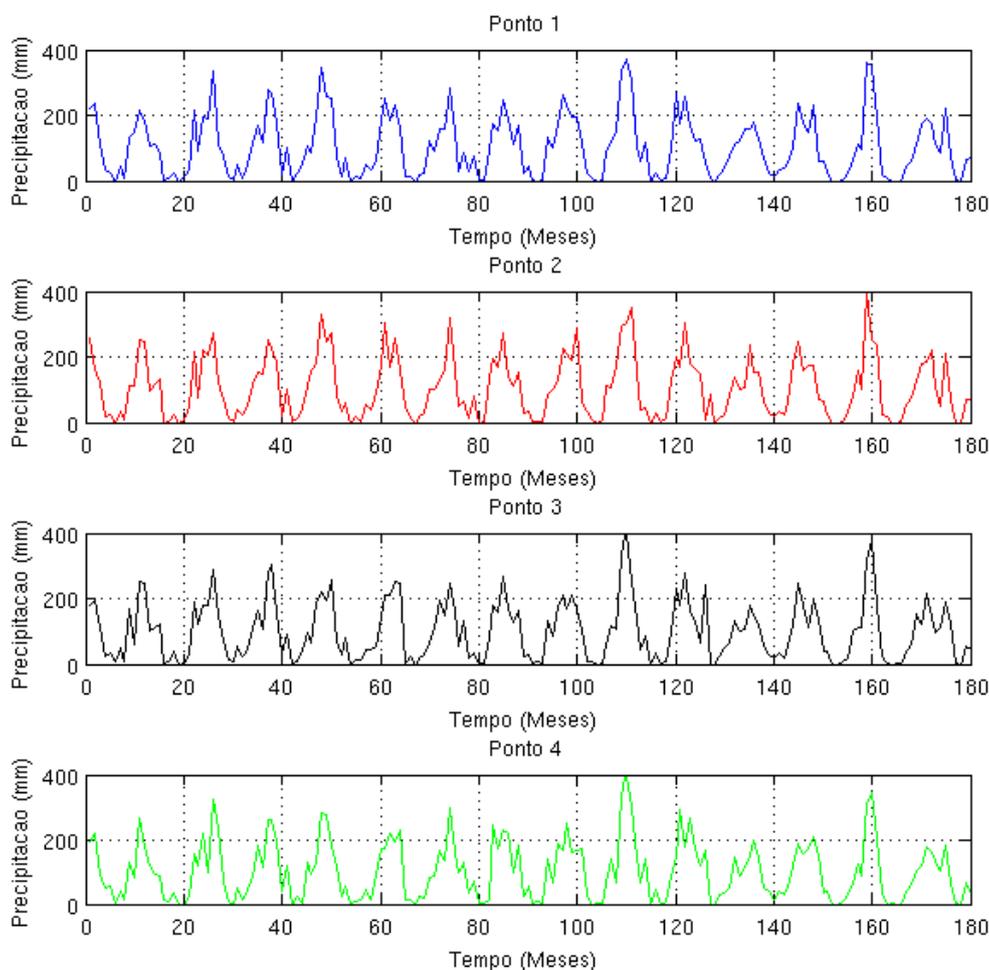


Figura 65: Séries temporais das *wavelets* similares do bioma Pantanal.

Quando se analisa os espectros de energia das *wavelets* tem-se a informação de frequência, escala e tempo de energia do ponto analisado, sendo uma alternativa para análise de dados climatológicos como a precipitação.

O processamento em dados brutos também foi realizado no presente trabalho para a série de dados de quinze anos do bioma Pantanal. O resultado é apresentado na Figura 66, onde observa-se que as séries temporais tem comportamento similar, visto que os períodos em que não ocorre a precipitação são semelhantes em ambos pontos, e quando ocorre a precipitação a variação entre uma série temporal e a outra é apenas o valor precipitado, sendo que a precipitação ocorre nos mesmos meses em todas as séries temporais.

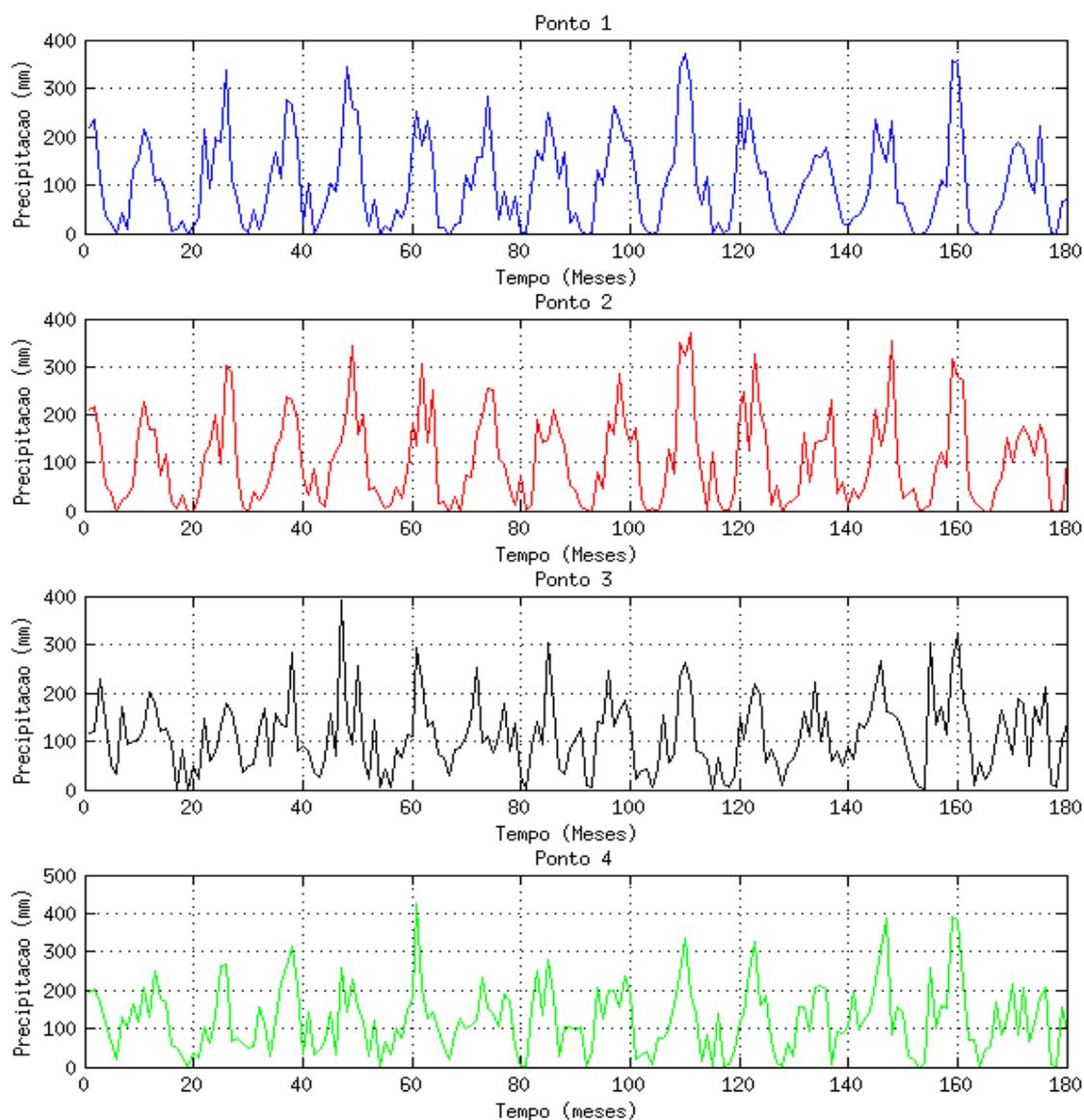


Figura 66: Resultado do DTW aplicado aos dados brutos para o bioma Pantanal.

Com a análise de similaridade DTW nos dados brutos, é possível visualizar o comportamento dos dados, porém sem as informações que a Transformada de *wavelets* proporciona.

5. Considerações Finais

O monitoramento ambiental através do estudo do comportamento das variáveis meteorológicas se mostra promissor. Contudo a complexidade envolvida é grande, tanto pela quantidade de variáveis quanto pela quantidade de dados. A técnica criada neste trabalho procurou integrar informações temporais e espaciais de dados de precipitação de forma a possibilitar que a flexibilidade na geração de dados em resoluções temporais diversas permitisse um melhor entendimento do comportamento da variável analisada.

O uso de técnicas de busca por similaridade em dados climatológicos permite que locais diferentes possam ter seus comportamentos temporais comparados e com isso facilita as possibilidades de análise como um todo e conseqüente tomada de decisão.

A abordagem de busca por similaridade usando a técnica DTW, mostrou-se eficiente em encontrar padrões semelhantes em ambos os tipos de dados (nas séries originais e suas *wavelets*). Foi possível verificar que existem espectros de energia de *wavelets* semelhantes e no processamento dos dados brutos apesar das séries temporais estarem deslocadas no tempo foi verificado o comportamento de onda semelhante.

Conforme observado nos processamentos efetuados nas *wavelets* e nos dados, fica evidente que a escolha do método a ser usado, depende da necessidade da pesquisa, visto que se a necessidade for somente de observar o comportamento dos dados brutos a análise por similaridade DTW aplicado aos dados é suficiente, porém se houver necessidade de uma análise com mais informações como tempo, frequência de energia e escala, é mais adequado utilizar a análise de similaridade DTW aplicado nas *wavelets*.

A técnica espaço-temporal desenvolvida no presente trabalho não se limita aos pontos aqui utilizados, portanto, para adicionar pontos de outros locais de interesse, basta apenas que os dados de precipitação sejam armazenados no banco de dados modelado.

Os processamentos realizados no presente trabalho, com resoluções temporais mensal, semestral, anual e da série completa de quinze anos possibilitam a visualização

dos dados de precipitação em diferentes escalas temporais. Sendo assim, os resultados expostos neste estudo podem contribuir em diversas pesquisas que necessitem processar e analisar dados de precipitação nestes espaços temporais.

Portanto, a técnica desenvolvida neste trabalho acrescenta aos processos de tomada de decisão de monitoramento ambiental novas perspectivas de comparação dos dados e suas análises.

5.1 Contribuições

De modo geral, a técnica desenvolvida contribui para os estudos em monitoramento ambiental, auxiliando as pesquisas por instituições que necessitam analisar de dados de series temporais, sejam eles dados brutos ou com a aplicação de técnicas como *wavelets*.

As contribuições específicas do desenvolvimento do presente trabalho são:

- Processamento em diferentes resoluções temporais: mensais, semestrais, anuais e da série completa, que permite a visualização dos dados em escalas diferentes possibilitando diferentes tomadas de decisões a partir dos resultados aqui obtidos.
- Integração entre a análise de similaridade DTW e *wavelets*, que possibilita uma análise auxiliar à análise realizada comumente sobre os dados originais.
- Modelagem do banco de dados, com os dados de precipitação do projeto TRMM que proporciona a busca por dados em diferentes periodicidades.
- Processamento espaço-temporal do comportamento da precipitação utilizando dados originais e *wavelets*, que acrescenta aos processos de tomada de decisão um conjunto novo de informações sobre precipitação.

5.2 Trabalhos Futuros

Considerando os resultados obtidos neste trabalho, recomenda-se a continuação no aperfeiçoamento da técnica desenvolvida, com os seguintes trabalhos futuros:

- Automatizar os processos realizados em etapas diferentes em um sistema integrado que permita o processamento e a visualização dos resultados de maneira interativa.
- Implementar o sistema em uma arquitetura de componentes de forma a possibilitar além da análise de *wavelets*, a inserção de outros tipos de análise como a de Fourier.
- Incrementar o processamento espacial com parâmetros flexíveis, ou seja, buscar séries similares com a distância especificada pelo usuário.
- Aprimorar as buscas temporais para retornar conjuntos de dados com propriedades específicas, por exemplo, em regiões como MT, que possuem sazonalidade de precipitação bem definidas, retirar os meses em que ela não ocorre.
- Desenvolvimento de uma interface para gerir e inserir novos dados de precipitação.
- Implementar função que permita analisar o movimento da precipitação espacial, mostrando os pontos dos locais onde ocorre precipitação semelhante como uma animação.
- Incluir dados de outras variáveis meteorológicas, como umidade do ar, temperatura para ampliar as possibilidades de análises.

6. Referências Bibliográficas

ADLER, C.;PETTY, G.;MORISSEY, M.;GOODMAN, H M. 2001. *Intercomparison of global precipitation products: The third Precipitation Intercomparison Project (PIP-3)*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 82, 1377–1396.

AGUIAR, R. **Estiagem: como conviver com este fenômeno?** Extensão Rural e Desenvolvimento Sustentável, v.1, p.11-13, 2005. Disponível em: <http://www.educacional.com.br/upload/>. Acesso em: 1 mar. 2015.

ALCÂNTARA, A.; MORESI A. D. E.; PRADO A. H. **Cenários prospectivos, monitoração ambiental e metadados**. DataGramZero - Revista de Ciência da Informação - v.11, n.1, 2010.

ALON, J.; ATHITSOS, V.; YUAN, Q.; YUAN, Q.; SCLAROFF, S.. *A Unified Framework for Gesture Recognition and Spatiotemporal Gesture Segmentation*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 31, no. 9, 2009.

ALVES B. C. C., FILHO, F. A. S., SILVEIRA, C. S. **Análise de Tendências e Padrões de Variação das Séries Históricas de Vazões do Operador Nacional do Sistema (ONS)**; RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18 n.4, 2013.

ARKIN, P.A. *The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array*, Mon. Wea. Ver., 107, 1382-1387, 1979.

ARKIN, P. A.; MEISNER, B. N.. *The relationship between large:scale convectiverainfall and cold cloud over the Western Hemisphere during 1982:84*. Mon. Wea. Rev. 1987.

AYOADE, J. O. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil. 1998. 332 p.

BARBOZA, A. C. B.; BLITZKOW, D. **Ondoletas: Histórico e Aplicações**. São Paulo, 2008.

BARBOZA, E. B. M. ROSA, R. R., VIJAYKUMAR, N. L., BOLZAN, M. J. A., TOMASELLA, J. **Caracterização por Ondoletas de Processos Físicos Não-Lineares. Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional.** São Paulo, SP, Brasil, 2005.

BARRERA, D. F., *Precipitation estimation with the hydroestimator technique: its validation against raingauge observations.* In: Proceedings of the VII IAHS Meeting, Foz do Iguaçu, April 3–9, 2005.

BARRETT, E. C. *The estimation of monthly rainfall from satellite data.* Mon. Wea. Rev., 98: 322:327. 1970.

BARRETT, E. C. *et al. The first WetNet Precipitation Intercomparison Project: Interpretation of results.* Remote Sens. Rev., 11, 1994.

BERNDT, D.; CLIFFORD, J. *Using dynamic time warping to find patterns in time series.* In: AAAI-94 WORKSHOP ON KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES, 1994.

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

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, ISSN 0102-7786; vol.26 no.2 São Paulo, 2011.

BOLZAN, M. J. A. **Transformada de ondoleta: Uma necessidade.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 1, p.37-41, 2004.

CHAPMAN, P.; CLINTON, J.; KERBER, R.; KHABAZA, T.; REINARTZ, T.; SHEARER, C. e WIRTH, R. **CRISPDM 1.0 step-by-step data mining guide.** Technical report, CRISP-DM, 2000.

CHATFIELD, C. *The Analysis of Time Series: An introduction.* Chapman e Hall, fifth edition, NY. 283 pp, 1996.

CHECHI, L. ; SANCHES, F. O. ; *Analysis of a series of precipitation for Erechim (RS) and a method of possible climate prediction*; *Ambiência* Guarapuava (PR) v.9 n.1; p. 43 – 55; 2013.

COLINVAUX, P. 1993. *Ecology 2*. New York, John Wiley & Sons, Inc.

COLLISCHONN, B. 2006. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Dissertação.. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. **Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior**. *Revista Brasileira de Cartografia*, 59. 2007.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2008). *Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates Journal of Hydrology*, 360(1–4):207–216doi:10.1016/j.jhydrol.2008.07.032.

CONAMA, Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de janeiro de 1986.

DAJOZ, R. 1973. **Ecologia Geral**. Rio de Janeiro, Ed. Vozes.

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.

DOURADO, C. da S.; OLIVEIRA, S. R. de M.; AVILA, A. M. H. de. **Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no estado da Bahia**. *Bragantia*, 2013. SciELO Brasil, v. 72, n. 2, p. 192–198, 2013.

EBERT, E. E., MANTON, M.J.; ARKIN, P.A.; ALLAM, R.J.; HOLPIN, G. E.; GRUBER, A. *Results from the GPCP Algorithm. Intercomparison Programme*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 2875–2887. 1996.

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

FARIA, R. R. A.; **APLICAÇÃO DE WAVELETS NA ANÁLISE DE GESTOS MUSICAIS EM TIMBRES DE INSTRUMENTOS ACÚSTICOS TRADICIONAIS**. 1997. Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

FELIPE, J. C.; A. J. M. TRAINA JR. ; TRAINA C. *Global warp metric distance: boosting content-based image retrieval through histograms*. In Multimedia, Seventh IEEE International Symposium on, volume 1, Los Alamitos, USA, 2005.

FISHER, B.L. *Climatological Validation of TRMM TMI and PR Monthly Rain Products over Oklahoma*. J. Appl. Meteor., 43, 519–535, 2004

FORSDYKE, A, G., **Previsão do tempo e clima**. 2. ed. São Paulo: Melhoramentos/Edusp, 1978.

FREITAS, M.; CASTRO JUNIOR, W. E. **Amazônia e desenvolvimento sustentável – um diálogo que todos os brasileiros deveriam conhecer**. São Paulo: Ed. Vozes, 2004.

FURON, A. C.; RIDDLE, C.W.; SMITH, R.; WARLAND, J.S. *Wavelets analysis of wintertime and spring thaw CO₂ and N₂O fluxes from agricultural fields*. Agricultural and Forest Meteorology, v.48, p.305-317, 2008.

GUEDES, R. L.; ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T.; OYANA, M.D.; ALVES, M.A.S. **Série temporal de precipitação mensal de Fortaleza, Brasil: Comparação entre observações e dados de reanálise do NCEP/NCAR**. Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v.20, n.1. p.83-92, 2005.

HARTER, I. B. **Análise de precipitação em Pelotas-RS utilizando Transformada Wavelet de Morlet**. Pelotas. 2004. 96f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Pelotas, 2004.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Biomass do Brasil**, 2005. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/>. Acesso em: 25 de jan. 2015.

KOUSKY, V. E. *Frontal influences on northeast Brazil*. Mon. Wea. Rev. Boston, v. 107, p. 1140-1 153. 1979.

KUO, J. T., ORVILLE, H. D., 1973: *A Radar climatology of summertime convective clouds in the Black Hills*. J. Applied Meteor., 12, pp. 359-368.

KAVOURAS, M., 2001. *Understanding and Modelling Spatial Change*. In: FRANK A. RAPER J. e CHEYLAN J.P. eds.: Life and Motion of SocioEconomic Units, Chapter 4. London: Taylor & Francis, GISDATA Series 8.

KEOGH, E., RATANAMAHATANA, C., *Exact indexing of dynamic time warping*. Knowledge and information systems, vol. 7, no. 3, 2005.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.

KUMMEROW, C. *et al.* *The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit*. Journal of Applied Meteorology, v. 39, n. 12, p.1965-1982, 2000..

LAST, M., KANDEL, A. e BUNKE, H. (2004). *Data Mining in Time Series Databases*, World Scientific Publishing, Danvers.

LAYBERRY, R.; KNIVETON, D. R.; *et al.* 2006. *Daily Precipitation over Southern Africa: A new resource for climate studies*. Journal of Hydrometeorology. 7, 149-159.

LOH, R. H. *Time Series Forecast With Neural Network and Wavelet Techniques*. The University of Queensland. Note Class, 49p, 2003.

LUTGENS, F. K; TARBUCK, E. J. *The Atmosphere – An Introduction to Meteorology*. 17th Edition. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

MACEDO, M. J. H. **Aplicações De Redes Neurais Artificiais e Satélite TRMM na Modelagem Chuva-Vazão da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguau/BA**. [s.l.] Tese. Universidade Federal de Campina Grande, junho 2013.

MARCUZZO, F. F. N, ROMERO, V., **Influência do el niño e la niña na precipitação máxima diária do estado de goiás**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.28, n.4, 429 - 440, 2013.

MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A. **Mineração de dados no desenvolvimento de sistemas de alerta contra doenças de culturas agrícolas**. In: V Congresso Brasileiro de Agroinformática, SBIAgro. Londrina, PR: Associação Brasileira de Agroinformática, 2005.

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

MORETTIN, P. A. **Ondas e ondoletas: da análise de Fourier à análise de ondoletas**. EDUSP, 1999.

NAKKEN, M. *Waveletanalysis of rainfall-runoff variability isolating climatic from anthropogenic patterns*. Environmental Modelling & Software, Camberra, v.14, p.283-295, 1998.

NASA. Disponível em: <http://www.nasa.gov/>. Acesso em: 18 de jan. de 2015.

NICHOLSON, S. E.; *et. al.* 2003. *Validation of TRMM and Other Rainfall Estimates with a High-Density Gauge Dataset for West Africa. Part II: Validation of TRMM Rainfall Products*. J. Appl. Meteor., 42, 1355–1368.

NICHOLSON, S., 2005. *On the question of the “recovery” of the rains in the West African Sahel*. Journal of Arid Environments 63, 615–641.

NIELS, R. (2004), *“Dynamic Time Warping - An intuitive way of handwriting recognition”*, Tese de Mestrado, Radboud University Nijmegen, Department of Artificial Intelligence.

NÓBREGA, R. S. **Modelagem de impactos do desmatamento nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Jamari (RO) utilizando dados de superfície e do TRMM.** Tese. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

NÓBREGA, R. S., SOUZA, E. P., GALVÍNCIO, J. D, **Análise da Estimativa de Precipitação do TRMM em uma Sub-Bacia da Amazônia Ocidental.** Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, n°1, jan/abr.2008.

NORDEMANN, D.J.R. **Periodicidades, tendências e previsão a partir da análise espectral dinâmica da série dos níveis do rio Paraguai, em Ladário (1900/1995).** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, p.1787-1790, 1998.

OLIVER, J. E e HIDORE, J. J. *Climatology – An atmospheric science.* New Jersey: Prentice Hall, 2002.

OLIVEIRA, M. A. e FAVERO, L.P.L. **Uma breve descrição de algumas técnicas para análise de séries temporais: Séries de Fourier, Wavelets, Arima, Modelos Estruturais para séries de tempos e redes neurais.** VI SEMEAD Ensaio mqi.USP. São Paulo. 2002.

OLIVEIRA, H. M.; FALK, T. K. TÁVORA, R.F.G. **Decomposição de Wavelets sobre Corpos Finitos.** Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações, v.17, n.1, 2002.

PASSOW, M. J., *TRMM —Tropical rainfall measuring mission: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom.* Terra Didática, 2010

PARTAL, T., KIŞI, Ö., *Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for precipitation forecasting,* Journal of Hydrology, Volume 342, Issues 1–2, 15 August 2007, Pages 199-212, ISSN 0022-1694.

PETTY, G. W. 1994. *Physical retrievals of over: ocean rain rate from multichannel microwave imager. Part I: Theoretical characteristics of normalized polarizations and scattering indices*. Meteorology and Atmospheric Physics.54: 79:99.

PERETTI, A. V.; NUMMER, A. V. (2012). **Desastres naturais ocorridos no município de Erechim/RS entre os anos de 1986 a 1991**. Revista Geonorte, v.1(Edição Especial), 591–598.

RAKTHANMANON, T., Campana, B., Mueen, A., Batista, G., Westover, B., Zu, Q., et al. (2012), “*Searching and Mining Trillions of Time Series Subsequences under Dynamic Time warping*”, The 18th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 262-270, Pequim, China: ACM.

RATANAMAHATANA, C.; KEOGH, E. *Everything you know about Dynamic Time Warping is Wrong*. In 3rd Workshop on Mining Temporal and Sequential Data, in conjunction with 10th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Seattle, WA, USA, 2004. ACM.

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 do Sul, Rio Grande, 2004.

REDDY, EIKO B. P.; CHRISTENSON, D. E; ROWLANDSON, G., *Detection of waves in resting ECG: A Preliminary Study*, Proc. Of Computers in Cardiology Conference, IEEE Computer Soc., 1992, CA.

ROCHA, V. B. **Uma abordagem de wavelet aplicada à combinação de previsões: Uma análise teórica e experimental**. 154f. Dissertação (Métodos Numéricos em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SANT’ ANNA NETO, J. L. **As chuvas no estado de São Paulo: a variabilidade pluvial nos últimos 100 anos**. Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem, 2000. Capítulo 8, p. 95-120.

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.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, N. B. R.; **Distribuições espaciais e temporais de temperaturas de superfície no bioma cerrado: uma análise integrada a partir de dados orbitais de resolução moderada;** Tese (Programa Multidisciplinar de Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal De Goiás, Goiânia, 2010.

SANTOS, A. C.; ANDRADE, A.P.; LIMA, J.R.S. *et al.* **Variabilidade temporal da precipitação pluvial: nível de nitrogênio no solo e produtividade de cultivares de girassol.** Ciência Rural, v.32, n.5, p.757-764, 2002;

SAVI, M, A. **Dinâmica Não linear e Caos.** Editora e-papers. Rio de Janeiro. 2006.

SHEARER, C., *The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining,* J Data Warehousing (2000); 5:13—22.

SILVA, D.P. da & FERREIRA, M.E.(2013) **Uso de Imagens do Satélite TRMM para quantificação do regime de chuvas e nebulosidade no bioma Cerrado,** Brasil Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril INPE, pp. 8661-8668.

SMITH, E. A.; *et al.* 1998. **Results of WetNet PIP-2.** J. Atmos. Sci., 55, 1483–1536.

SOUSA, S.B. de; ARANTES, A.E.; CARDOSO, M.R.D.; FERREIRA, L.G.(2013). **Análise comparativa entre dados TRMM e estações pluviométricas no Pantanal brasileiro: ano base 2006.** Pp. 6945-6952 Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril INPE.

TASWELL, C., *The What, How, and Why of Wavelet Shrinkage Denoising,* *Computing in Science & Engineering,* May/June, pp.12-19, 2000.

THAMADA, T. T.; NETO, C. D. G.; MEIRA, C. A. A. **Sistema de alerta da ferrugem do cafeeiro: resultado de um processo de mineração de dados**. In: IX Congresso Brasileiro de Agroinformática, SBIAgro. Cuiabá, MT: Associação Brasileira de Agroinformática, 2013.

TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. do. (Orgs). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

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

TORRENCE, C.; COMPO, G. *A practical guide to wavelet analysis*, Bulletin of the American Meteorological Society, v.79, no.1, p.61-78, January, 1998.

TUCCI, C.E.M; MENDES, C.A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente. ISBN 85-7738-047-5. 2006.

TRAINA, J. C. *et al. Fast Indexing and Visualization of Metric Data Sets using Slim-Trees*. IEEE Trans. on Knowl. and Data Eng., v. 14, n. 2, p. 244-260, 2002. ISSN 1041-4347.

TRMM. *Mission Overview*. Disponível em: www.trmm.gsfc.nasa.gov. Acesso em 18 janeiro de 2015.

VILANI, M. T.; **Análise de fourier e wavelet em variáveis micrometeorológicas em diferentes tipologias de ocupação**; tese, 2011.

ZHANG, Y.; GLASS, J. R.. *An inner-product lower-bound estimate for dynamic time warping*. In 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Prague, Czech Republic, May 2011.

WARD, R. C., ROBINSON, M., *Principles of Hydrology*. 4^a Ed., McGraw-Hill, Berkshire, England, 2000.

WIRTH, R., *CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining*. In: Proceedings of the Fourth International Conference on the Practical Application of Knowledge Discovery and Data Mining, 2000.

WOLFF, D. B.; MARKS, D. A. et al. 2005. *Ground Validation for the Tropical Rainfall Measuring Mission. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Vol. 22 p.365:380