



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Aplicação de Wavelets a Grupos Homogêneos Pluviais no Nordeste do Brasil

Winicius dos Santos Araújo¹, Francisco de A. Salviano Souza², JoséIVALDO Barbosa de Brito³,
Lourivaldo Mota Lima⁴

¹ Doutorando em Meteorologia; Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA; Universidade Federal de Campina Grande - UFCG; E-mail: winicius@dca.ufcg.edu.br;

^{2,3} Professores Drs., Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA; Universidade Federal de Campina Grande - UFCG;

⁴ Professor Dr., Departamento de Física - DF/Universidade Estadual da Paraíba - UEPB.

Artigo recebido em 15/09/2012 e aceito em 15/10/2012

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a dinâmica de variabilidade climática espacial e espectral da pluviosidade nos nove estados do Nordeste Brasileiro (NEB), utilizando a técnica multivariada de Análise de Agrupamento (AA) e a técnica espectral de Transformada de Ondeletas (TO) às médias mensais da precipitação pluvial e de mais 11 índices climáticos pluviais definidos pela OMM (Organização Meteorológica Mundial) obtidas a partir de dados diários de 258 estações meteorológicas e/ou postos pluviométricos referentes a um período de 47 anos (1960-2006). Na AA foram obtidos 4 grupos homogêneos (G1, G2, G3 e G4). As configurações espaciais obtidas demonstraram que para a maioria dos índices pluviais: G1 está pluviometricamente mais associado ao leste, G4 ao norte, e G2 e G3, indefinição. Os resultados da aplicação da TO mostraram que a escala de 4 anos apresentou os maiores níveis de intensidade de energia espectral e modulou em todos os grupos pluviais homogêneos obtidos boa parte das oscilações de frequência mais alta, da bienal a semianual, com destaque para a década de 1980. Pode-se afirmar que variabilidade climática da variável precipitação não foi afetada pelas mudanças climáticas; trata-se de uma variabilidade natural, cujos condicionantes e interações são intrínsecos ao ciclo natural atmosférico.

Palavras-chave: agrupamento; ondeletas; índices pluviais.

Application of Wavelets the Groups Homogenous Rainfall in the Northeast Brazil

ABSTRACT

The objective of this work was to study the dynamics of climate variability in rainfall spatial and spectral in the nine states of Northeast Brazil (NEB) using the multivariate technique of cluster analysis (AA) and the technique of spectral Wavelet Transform (TO) to monthly averages rainfall and climate indices over 11 rain defined by WMO (World Meteorological Organization) obtained from daily data from 258 meteorological stations and/or climatic stations relating to a period of 47 years (1960-2006). AA were obtained in four equal groups (G1, G2, G3 and G4). The spatial configurations obtained showed that for most of the rain indices: G1 is associated with more rainfall to the east, north G4, and G2 and G3, undefined. The results of applying the TO show that the scale of 4 years showed the highest levels of intensity and spectral energy modulated in all groups homogeneous rainfall obtained much of the higher frequency oscillations, the biennial semiannual, especially for the decade, 1980. It can be argued that climate variability of the variable precipitation was not affected by climate change, it is natural variability, whose conditions and interactions are intrinsic to the natural cycle in the atmosphere.

Keywords: clustering, wavelet; rain indices.

1. Introdução

A variabilidade climática tem exercido diferentes influências no desenvolvimento das civilizações ao longo dos séculos e a

possibilidade ou início de mudanças climáticas globais geradas pela ação antropogênica, juntamente com a variabilidade natural, tem estimulado a realização de pesquisas climáticas contemporâneas.

* E-mail para correspondência: winaraujo@hotmail.com (Araújo, W. S.).

Dentre essas pesquisas, se destaca a identificação dos fenômenos atmosféricos associados aos ciclos da variabilidade natural, cuja importância reside no provimento de subsídios para formulação de modelos numéricos que descrevam a distribuição espaço-temporal e de frequência de séries temporais de regiões climatologicamente homogêneas em relação à variável precipitação, cuja variabilidade afeta diretamente a socioeconomia no Nordeste brasileiro, sobretudo em sua porção semiárida.

Visando delimitar regiões homogêneas quanto a uma determinada variável, a Análise de Agrupamento (AA) tem se consolidado como uma das maneiras mais úteis no processo de filtrar dados para descobrir grupos homogêneos e identificar padrões ocultos nos dados (Halkidi et al., 2001). A AA permite a exploração do comportamento de séries temporais onde as variáveis classificatórias são inicialmente separadas em grandes grupos utilizando para isso uma medida de similaridade ou distância, fornecendo assim a espacialização de regiões climaticamente homogêneas.

A Transformada de Ondeleta (TO) ou *Wavelet*, por sua vez, atua na distribuição tempo-frequência ou, conforme outras nomenclaturas, tempo-escala. Possui propriedades matemáticas capazes de fornecer a informação de tempo e de frequência simultaneamente, ou seja, possibilita representar a frequência-tempo da série. A

Wavelet, portanto, revela-se como técnica importante na análise de séries temporais e desempenha fundamentos para criação de estruturas matemáticas úteis para representar o passado e prever o comportamento futuro.

A presente proposta de pesquisa é inovadora no sentido de avaliar numa escala espacial mais detalhada e abrangente, o comportamento atmosférico associado às variabilidades de semianuais a interdecadais. Para tanto, foram caracterizadas as séries temporais da média pluvial e 11 índices climáticos pluviiais definidos pela Organização Meteorológica Mundial e examinou-se por meio da Análise de Ondeletas os processos responsáveis pela evolução desses parâmetros no NEB, além de avaliar suas relações com a variabilidade natural.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo e dados pluviométricos

A área de estudo abrange os nove estados da região Nordeste do Brasil: Alagoas (27.933 km²), Bahia (567.295 km²), Ceará (146.348 km²), Maranhão (333.366 km²), Paraíba (56.585 km²), Pernambuco (98.938 km²), Piauí (252.238 km²), Rio Grande do Norte (43.910 km²) e Sergipe (22.050 km²), totalizando 1.548.663 km², aproximadamente 18% do território nacional, que concentra grande parcela do semiárido brasileiro. A Figura 1 exibe a região NEB, localizada entre longitudes 48,70°W e 34,81°W, e pelas latitudes 18,32°S e 1,11°S.

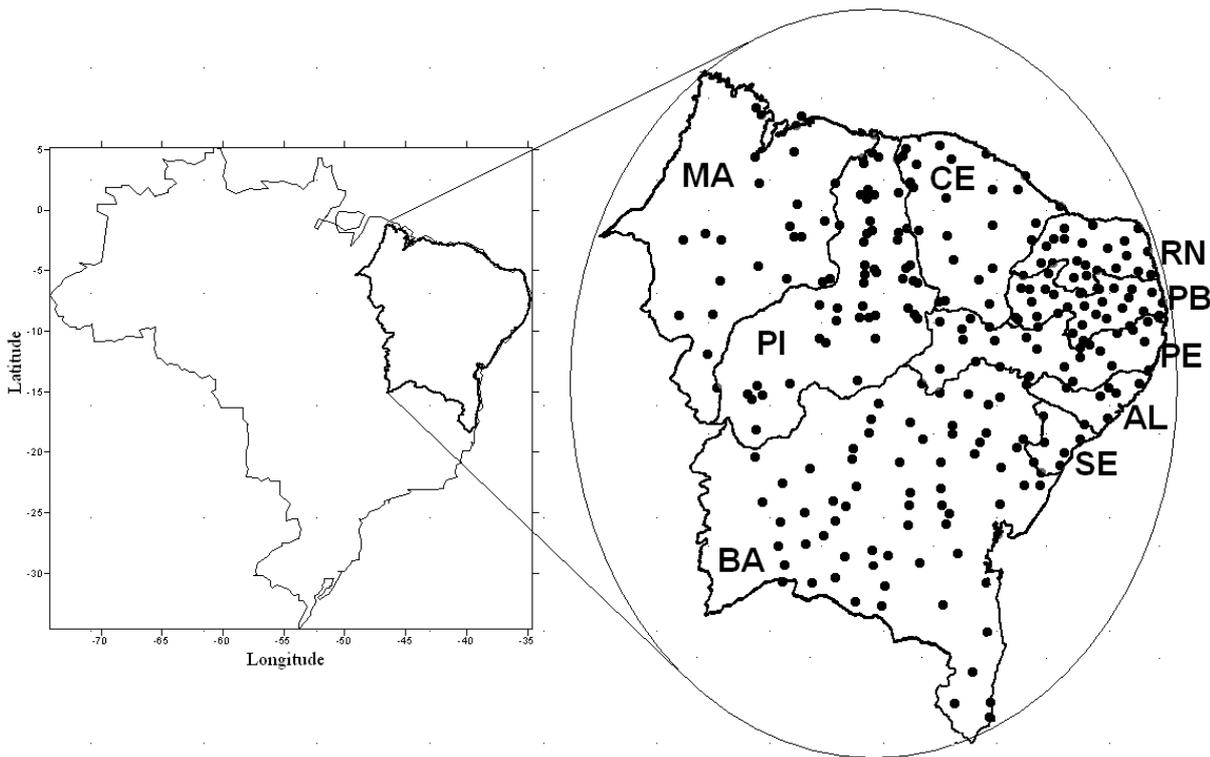


Figura 1. Área geográfica de estudo (em destaque).

Foram utilizados dados diários de precipitação fornecidos pela UACA (Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas), provenientes da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste) para os nove estados do NEB. Por haver falhas e insuficiência amostral, eles foram complementados com dados da ANA (Agência Nacional de Águas), DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Após estudo detalhado de verificação

da homogeneidade e qualidade dos dados, foram escolhidos 258 postos/estações de diferentes municípios para um período de 47 anos (1960-2006), com uma boa distribuição espacial e cujos dados apresentam boa qualidade, representando praticamente todas as mesorregiões do NEB (Figura 1). Dos dados diários das 258 estações/postos foram calculados em escala mensal a média pluvial e de mais 11 índices climáticos pluviais (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/index.shtml>) relacionados na Tabela 1.

Tabela 1. Índices climáticos pluviais do ETCCDMI (Expert Team Change Detection Monitoring and Indices) recomendados pela OMM (Organização Meteorológica Mundial)

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
<i>Rx1day</i>	Quantidade máxima de precipitação em um dia	Máximo mensal de precipitação em um dia	mm

continuação			
<i>Rx5day</i>	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	Máximo mensal de precipitação em cinco dias consecutivos	mm
<i>SDII</i>	Índice simples de intensidade diária	Precipitação total mensal dividida pelo número de dias úmidos	mm dia ⁻¹
<i>R10</i>	Número de dias úmidos	Número de dias em um mês em que a precipitação $\geq 10mm$	dias
<i>R20</i>	Número de dias muito úmidos	Número de dias em um mês em que a precipitação $\geq 20mm$	dias
<i>R50mm</i>	Número de dias com precipitação acima de 50mm	Número de dias em um mês em que a precipitação $\geq 50mm$	dias
<i>DSC</i>	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos em um mês com $RR < 1mm$	dias
<i>DUC</i>	Dias úmidos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos em um mês com $RR \geq 1mm$	dias
<i>R95p</i>	Dias muito úmidos	Precipitação mensal total em que $RR > 95^\circ$ percentil	mm
<i>R99p</i>	Dias extremamente úmidos	Precipitação mensal total em que $RR > 99^\circ$ percentil	mm
<i>PRECPTOT</i>	Precipitação total mensal nos dias úmidos	Precipitação total mensal nos dias úmidos ($RR \geq 1mm$)	mm

Obs: *RR* é o valor da precipitação diária. Por convenção, um dia úmido ou chuvoso tem $RR \geq 1,0$ mm e um dia seco ou não chuvoso tem $RR < 1,0$ mm.

Análise de Agrupamento (AA) - A fim de selecionar as séries temporais pluviométricas para servirem de base para a pesquisa foi estudada a homogeneidade da precipitação via Análise de Agrupamentos. Utilizou-se a Análise de Agrupamentos (AA) para classificar os pontos pluviométricos da média pluvial e dos 11 índices climáticos definidos pelo ETCCDMI quanto ao comportamento espacial semelhante para o NEB.

A Análise de Agrupamentos (AA) é um método exploratório onde as variáveis classificatórias são inicialmente separadas em grandes grupos utilizando para isso uma medida de similaridade ou distância (Everitt, 1993). Como as variáveis classificatórias escolhidas são variáveis reais e, portanto, são mensuradas em uma escala temporal, é conveniente adotar uma medida de distância com propriedades métricas, sendo usual a métrica euclidiana (Mimmack et al., 2002):

$$d_e = \left[\sum_{j=1}^n (P_{p,j} - P_{k,j})^2 \right]^{0,5} \quad (1)$$

Em que d_e é a distância euclidiana; e $P_{p,j}$ e $P_{k,j}$ são as variáveis quantitativas j dos indivíduos p e k , respectivamente.

Ao tentar agrupar observações pluviométricas, não é possível estabelecer a priori o número ideal de grupos a serem formados. Por isso, os métodos não-hierárquicos não são adequados, já que sua aplicação exigiria um número grande de tentativas para encontrar o número exato de agrupamentos. Assim, adotou-se o método hierárquico aglomerativo, um dos mais recomendados na construção de agrupamentos (Kaufman e Rousseau, 1990). O método da variância mínima ou método de Ward (Ward, 1963) é recomendado por Edelbrock (1979), com base em vários estudos empíricos. Nesse método, a formação dos agrupamentos em cada estágio da hierarquia é avaliada pela soma dos quadrados dos desvios em relação ao centro de gravidade dos grupos. O método de Ward pode ser considerado uma generalização multidimensional do modelo da Análise de Variância que pode ser sumarizado como:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{n_k} (x_i - \bar{x}_k)^2 + \sum_{k=1}^K n_k (\bar{x}_k - \bar{x})^2 \quad (A) \quad (B) \quad (C) \quad (2)$$

Em que (A) é a soma do quadrado dos desvios das observações em relação à média geral; (B) média do grupo para todos os grupos e (C) é a soma do quadrado dos

desvios das observações em cada grupo, com respeito à média geral. Além disso, \bar{x} é a média geral, \bar{x}_k média do grupo k e x_i é o valor de uma dada observação.

Portanto, por haver uma grande concentração de postos/estações em uma mesma região, optou-se pela utilização da análise tipológica Cluster (AA), técnica de análise de dados de caráter classificatório com objetivo de formação de grupos tão familiares entre si quanto possível, partindo de um conjunto de dados multivariado (Andrade et al., 1999). O critério de agrupamento utilizado foi o de Ward ou de inércia, o qual faz uso de uma análise de variância para avaliar a distância entre os grupos (Schunk-Silva, Nery, 2000), e a distância euclidiana foi utilizada para medir a similaridade entre as estações (Braga et al., 1998).

Transformada de Ondeletas (TO) - Neste estudo, utilizou-se a TO para estudar as variabilidades dominantes em tempo e escala dos 11 índices climáticos pluviais do ETCCDMI.

A Transformada de Ondeletas (TO) é uma ferramenta que permite detectar, analisar e caracterizar as escalas temporais de oscilações não-estacionárias. A TO é robusta (Maraun e Kurths, 2004), pois a resolução temporal é ajustada intrinsecamente para as escalas (períodos) desejadas. Assim, para cada escala, obtém-se uma resolução temporal ótima (Castro, 2007).

A ideia central da TO consiste em decompor o sinal analisado em diferentes

níveis de frequências (resolução) (Massei, et al., 2006); tal processo é conhecido como “Multiresolução”. Esta forma de representação do sinal fornece uma estrutura hierárquica simples para a interpretação física das informações fornecidas pelo sinal analisado. Em diferentes resoluções, os detalhes de um sinal mostram diferentes estruturas físicas do mesmo.

A TO se tornou uma ferramenta comum, para a análise de variações locais de energia dentro de uma série temporal, pela decomposição da mesma em tempo-frequência. Esta é capaz de determinar os modos dominantes de variabilidade e, como estes modos variam no decorrer do tempo (Ideião et. al., 2006).

Quando da escolha de uma função ondeleta, tal decisão deve ser tomada em virtude da representatividade da mesma às características do sinal em estudo, ou seja, da série temporal. Caso o interesse esteja no estudo de mudanças de amplitude e fase, uma ondeleta complexa deve ser uma ótima escolha, como é o caso da função ondeleta de Morlet, que ajuda a capturar o sinal oscilatório dos dados (Torrence e Compo, 1998). Sobre a ondeleta de Morlet:

A função ondeleta de Morlet é definida da seguinte forma:

$$\psi_0(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} e^{iw_0 t} e^{-\frac{1}{2}t^2}, \quad (3)$$

em que $e^{-\frac{1}{2}t^2}$ é envelope gaussiano, w_0 é uma frequência adimensional (ou seja, o valor que determina a forma do sinal modulador da

função ondeleta) e t é cada valor da série temporal. Para a ondeleta base de Morlet sugere-se que a frequência de corte w_0 seja igual a 6 como escolha ótima (este valor foi utilizado nesta pesquisa para geração dos resultados posteriormente apresentados na próxima seção) e que também é um valor sugerido por (Torrence e Compo, 1998) e (Grinsted et al., 2004).

Torna-se importante observar que mesmo dilatando (comprimindo) e transladando, o sinal da função ondeleta de Morlet não perde sua estrutura característica do sinal original (Oliveira, 2002; Hsu e Li, 2010). Isso é altamente requerido, em virtude da modulação do sinal em estudo para todas as frequências presentes na série, dando origem assim, à multiresolução, empregada nesta pesquisa.

Tendo em vista que os fenômenos climáticos globais e suas conexões com a precipitação são temas muito explorados e compreendidos, a ondeleta vem colaborar por ter aplicações em meteorologia no que se refere à quantificação das relações tempo-escala dos fenômenos atmosféricos. No caso deste estudo, será um artifício matemático que auxiliará na detecção de perturbações no comportamento padrão da precipitação frente a fenômenos climáticos não-cíclicos ou de menor escala.

3. Resultados e Discussão

Aplicação da TO à média pluvial e aos índices climáticos pluviais - Foram analisados

47 anos de precipitação diária do NEB. Desses dados foram obtidas médias mensais para cada ano dos 11 índices definidos pelo ETCCDMI (Tabela 1). Na seção a seguir, as Figuras 2 a 5 mostram os espectros de ondeleta dos 11 índices selecionados em suas respectivas regiões homogêneas obtidas pela aplicação da AA.

À esquerda, nas Figuras 2 a 5, estão os espectros de energia para o período de 1960 a 2006. Estes limites temporais, 1960 e 2006, são indicados no eixo horizontal (abscissa com intervalos de dois anos) por 60 e 06, respectivamente, e o intervalo do periodograma varia no eixo vertical (ordenada) de 0,5 (semianual) a 32 anos. Um terceiro eixo com valores expressos em escala logarítmica é dedicado à intensidade de energia, comumente representado por cores em um diagrama que varia da fase negativa (tons para vermelho) para a fase positiva (tons para azul) da oscilação. A linha contínua acima da qual se está quadriculado no periodograma, é chamada de cone de influência. Os períodos fora deste cone (área quadriculada) devem ser negligenciados por não possuírem uma confiança estatística adequada.

À direita, nas Figuras 2 a 5, tem-se um gráfico cujo eixo vertical (ordenada) refere-se ao período em anos (mesmo do periodograma); o eixo horizontal (abscissa) representa a variância (energia) associada a cada período em anos; a linha tracejada delimita o nível de significância de 95% e

anteposta a este gráfico encontra-se um mapa do Nordeste brasileiro mostrando a distribuição espacial dos postos pluviométricos do respectivo grupo homogêneo (G1, G2, G3 ou G4) a que foi aplicada a Análise de Ondeletas.

Ressalte-se que, nessa seção, são apresentados os resultados de espectros obtidos apenas para os grupos G1 e G4, uma vez que, esses grupos foram os únicos que ficaram mais uniformemente distribuídos no NEB, ou seja, o grupo G1 teve sua configuração espacial homogênea predominantemente inserida na costa leste do NEB, e o grupo G4 teve sua espacialização localizada mais ao norte do NEB. Por outro lado, os outros grupos, G2 e G3, não apresentaram tanta uniformidade em sua caracterização espacial homogênea de índices pluviais, pois, ora atuavam numa mesorregião do NEB, ora em outra. Não obstante, no Apêndice, estão todos os espectros que não aparecem nessa seção, Figuras A1, A2, A3 e A4.

Para o grupo G1 - Com base na análise espectral da precipitação total referente ao período de 1960 a 2006, representada na Figura 2a, nota-se a presença de energia associada a fase positiva da precipitação total durante o ano de 1985 (ano de La Niña). Isso indica associação, embora fraca, com a fase positiva (cor para azul, favorável à chuva) das oscilações de 1, 2, 4, 8 e 12 anos. A oscilação de 1 ano está relacionada com o ciclo anual das chuvas no leste do Nordeste, as demais

oscilações provavelmente estão associadas a outros eventos climáticos. A propósito, segundo Chang e Li (1997) o Dipolo da Alta dos Azores e a Baixa da Groelândia são responsáveis pelas oscilações interdecadais de 12 anos. Já o dipolo da TSM entre o Atlântico norte e o sul originam as flutuações decadais. No caso das oscilações de 2 e 4 anos, verificadas entre 1966 a 1990, podem estar relacionadas com a oscilação bienal (Moron, 1997). Para o período de 1968 a 1976 realmente pode estar relacionada com a oscilação quase-bienal, uma vez que neste período esta oscilação teve um mínimo (máximo) a cada 2 anos. De 1977 a 1992 a oscilação quase-bienal teve um período entre mínimo (máximo) superior a dois anos e de 1992 a 1998 voltou até período de 2 anos.

O Índice de Anomalia de TSM do Atlântico Tropical Sul (TSAI), IOS, Niño3 e Niño1+2, para o período de 1961 a 2005 apresentam oscilações da ordem de 4 a 5 anos, possivelmente estes são os fatores que produziram as oscilações de 2, 4 e 8 anos na precipitação total anual da costa leste do Nordeste. Por outro lado, TSAI, IOS, Niño3, Niño1+2 e TNAI mostram uma oscilação da ordem de 12 anos. A propósito muitos pesquisadores, a exemplo de Aragão (1998), Alves (2002), Moura et al. (1998), Alves et al. (1997), Santos e Brito (2007), entre outros, já descreveram sobre a influência destes índices na precipitação total anual e nos extremos de precipitação do Nordeste do Brasil. Portanto, oscilação destes índices produz oscilações na

precipitação, não necessariamente com a mesma periodicidade, mas com a periodicidade composta de todos os índices.

Verifica-se um ciclo de quatro anos, com 95% de significância, entre 1965-1994, em que há aumento (tom para azul) seguido de diminuição (tom para vermelho) no número de dias secos consecutivos e é visivelmente recorrente a partir do ano 2000, porém não confirmado por já se apresentar fora do cone de influência (Figura 2b). A década de 1970 apresenta menos intensidade na escala de quatro anos, e nota-se núcleos isolados nos períodos 1962-1965, 1982-1983, 1990-1992 e 2000-2003 na configuração de 0,5 a 1 ano (Figura 2b).

Na Figura 2c o espectro de potência global mostra energia significativa no período de quatro anos para o número dias úmidos consecutivos (DUC). Conforme pode ser visto na distribuição do espectro de ondeletas, a periodicidade de quatro anos apresentou energia espectral reduzida nas décadas de 1980 e 1990. Já a periodicidade de dois anos teve energia espectral aumentada na década de 1960, bem como a periodicidade de um ano entre 1960-1965 e 1982-1986.

De acordo com a Figura 2d,e,f, que mostra as configurações espectrais para os índices R10, R20 e R50, respectivamente, verifica-se que o período 1980-1985 apresentou energia espectral proeminente para as periodicidades até dois anos para os três índices. Esse fato pode estar associado à atuação do fenômeno El Niño ocorrido em

1982-1983, considerado um dos mais intensos e que contribuiu com chuvas intensas, principalmente superiores a 50 mm, na região litorânea a leste do NEB (Figura 2f). Com relação ao índice R10 (Figura 2d), é importante notar que o espectro global mostra maior energia, com nível de significância de 95%, para a periodicidade de quatro anos, com destaque para as décadas de 1960 e 1970.

Para o índice SDII, observando a configuração da energia em todas as escalas espectrais verifica-se que o ciclo de aproximadamente quatro anos está presente no período de 1964 a 1976, desaparece no período de 1976 a 1986 e retorna a ser observado de 1986 a 2002 (Figura 3a); de 1980 a 1985 a periodicidade anual foi predominante (Figura 3a). As explicações para este tipo de configuração são semelhantes as da PRECPTOT. Entretanto, é salutar mencionar que os níveis de energia observados para o grupo G1 foram relativamente baixos, demonstrando que não houve mudanças bruscas mensais na intensidade da precipitação local.

Contrariamente ao índice SDII, os índices R95p e R99p do grupo G1, apresentaram escalogramas com altos valores de energia em várias escalas como mostra as Figuras 3b e 3c, respectivamente. Conforme Figura 3b, o ciclo de dois anos apresentou energia espectral mais intensa na década de 1960. As variações semianuais e anuais se destacaram na década de 1970. Também pode ser percebida a periodicidade na escala de

quatro anos para a década de 1980.

Ressalta-se que durante a década de 1980 ocorreu El Niños em 1982/83 e 1986/87 e La Niñas em 1984/85 e 1988/89. Esta sequência de El Niño/La Niña possivelmente contribuiu para a periodicidade na escala de quatro anos. Resultado semelhante foi observado para R50 (Figura 2f).

Para o índice R99p (Figura 3c) verifica-se maior energia espectral na escala anual em 1985, e nas décadas de 1960 e 1970 ocorre periodicidade na escala de dois anos, as quais podem estar relacionadas com a oscilação bienal (Moron, 1997), similarmente ao encontrado para PRECPTOT (Figura 2).

Os resultados obtidos para R99p evidenciam a baixa frequência desse evento no grupo G1, sobretudo a partir de 1990 (Figura 3c). Isto foi verificado devido ao fato de que R99p se refere a chuvas diárias muito intensas e a década de 1990 foi mais seca que as três décadas anteriores. Este período mais seco nos anos de 1990-99 foi decorrente da atuação de dois fortes eventos de El Niño (1991/93 e 1997/98) e a não ocorrência de La Niña forte.

Na Figura 3d são mostrados os resultados obtidos para o índice Rx1day. Observa-se que na escala de quatro anos houve picos positivos de energia em 1982 e 1986 (anos de início de eventos de El Niño) intercalados por um pico negativo (tom vermelho) em 1984. Essa configuração também foi semelhante na escala de um ano, porém com menor intensidade. Para Rx5day (Figura 3e), a

energia espectral é manifestada apenas na escala de um ano, apesar da maior energia registrada ter sido para a escala de quatro anos

entre 1968 e 1998, ao nível de significância de 95%.

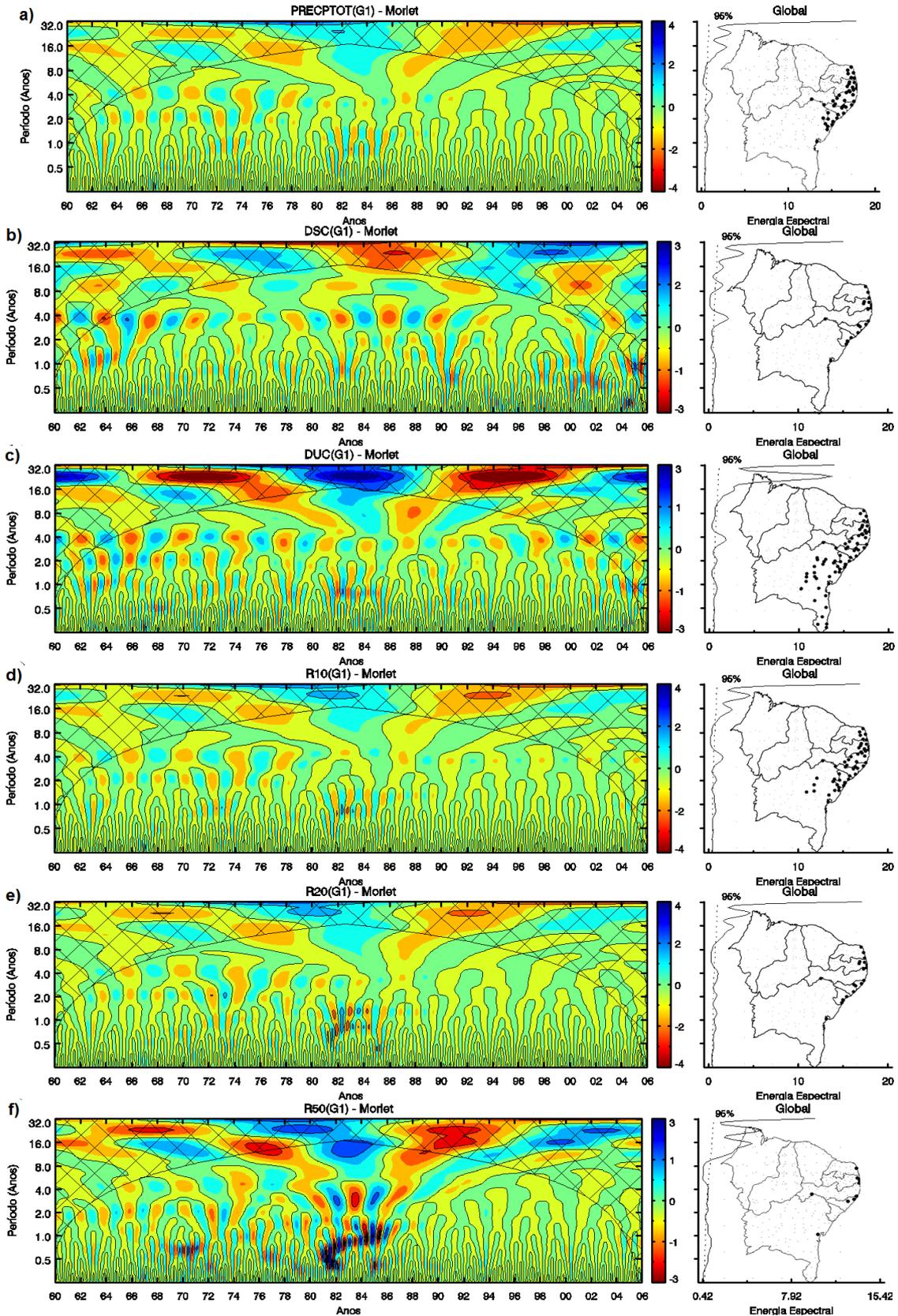


Figura 2. Transformada da ondeleta de Morlet e espectro de energia global referente a: PRECPTOT (a), DSC (b), DUC (c), R10 (d), R20 (e) e R50 (f), do grupo G1.

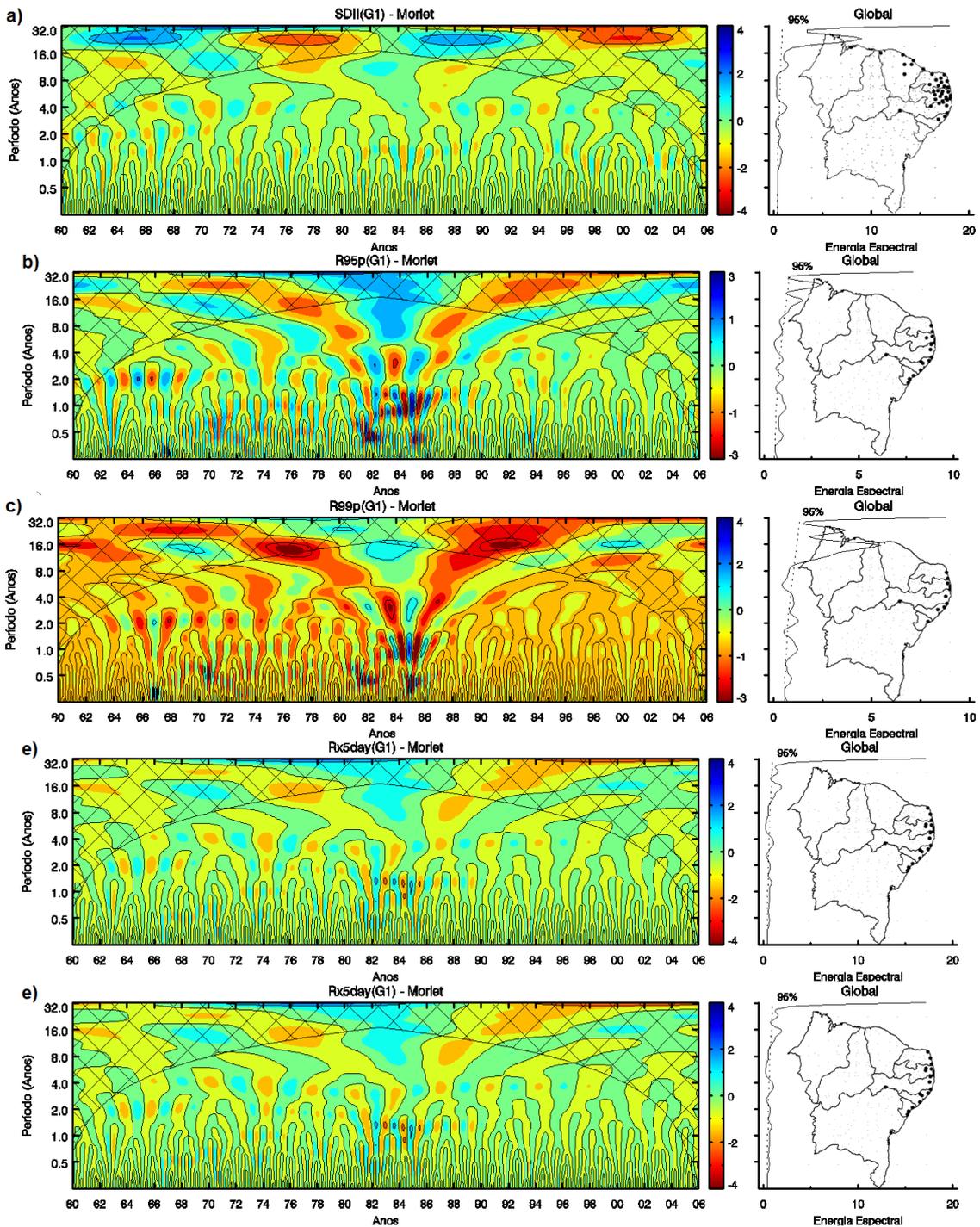


Figura 3. Transformada da ondeleta de Morlet e espectro de energia global referente a: SDII (a), R95p (b), R99p (c), Rx1day (d) e Rx5day (e), do grupo G1.

Para o grupo G4 - As Figuras 4 e 5 apresentam os espectros de ondeletas obtidos para o grupo G4. À semelhança do agrupamento homogêneo obtido para o grupo G1 (3.2.1), o grupo G4 apresenta relativa uniformidade na espacialização de seus postos, a maioria localiza-se na parte mais ao

norte do NEB. É o grupo que apresentou menor quantidade de índices, oito no total. Os índices DUC, SDII e R50 não necessitaram ser representados por um quarto grupo.

A Figura 4a exibe os contornos espectrais obtidos para o índice PRECPTOT do grupo G4. A escala de quatro anos

novamente apresenta pico para o índice PRECPTOT. O pico se sobressai em 1964, perdendo intensidade até 1976. Além disso, pode ser visto na Figura contornos mais intensos entre 1972 e 1974, na escala anual.

Na Figura 4b, também se destaca a escala de quatro anos com um pico significativo entre 1994 e 2002. Uma vez que 1998 foi ano de El Niño e este apresenta espectro positivo (tom azul) na escala de quatro anos, pode-se afirmar que neste ano o fenômeno El Niño contribuiu para aumento do número de dias secos consecutivos (DSC), fato oposto observado em 2000 na mesma escala.

Os índices R10 e R20 são exibidos na Figura 4c,d, respectivamente. Para R10 (Figura 4c), há um modesto pico na escala de quatro anos (1966-1974). Entre 1968 e 1976 ocorreram na escala de um ano também moderados contornos positivos (tons azuis) intercalados por negativos (tons vermelhos). Para R20 (Figura 4d), a configuração é semelhante a do R10, porém um pouco mais ativa. Nota-se que o pico observado na escala de quatro anos é mais intenso entre 1964 e 1974 e, na escala de um ano, o período de 1972-1974 é mais intenso no espectro quando comparado ao do R10.

De acordo com a Figura 4e, tem-se uma particularidade na escala de dois anos para o índice R95p. O pico verificado nesta escala concentra-se no período de 1964 a 1976, perdendo atividade a partir de 1969. Ainda assim, entre 1970 e 1974, a escala

anual mostra energia espectral importante para o grupo G4.

Cabe notar a ausência de contornos espectrais significativos para PRECPTOT, R10, R20 e R95p, desde 1980 (Figura 4). Isso indica que não há mudanças reais no comportamento destes índices para o grupo G4.

Para R99p (Figura 5a), a distribuição espacial encontra-se mais dispersa pelo NEB. No gráfico de energia espectral global nenhum pico se sobressai. Entretanto, pode-se observar que nos períodos 1962-1964, 1966-1967, 1969-1971 e 1973-1974 ocorreram contornos espectrais consideráveis na escala anual. Entre 1965-1968, na escala de dois anos e quatro anos também houve condições favoráveis (tons azuis em 1965 e 1968) e desfavoráveis (tom vermelho em 1967) para o R99p do grupo G4.

Na Figura 5b,c, estão representados os resultados espectrais para os índices Rx1day e Rx5day, respectivamente. Nos dois índices a escala de quatro anos apresenta maior energia, todavia, para Rx1day isso é mais evidente no espectro. Além disso, para o Rx1day prevalece contornos negativos dominando todo o espectro e 1962-1964, 1970-1971, 1974-1975, 1982-1983 foram períodos cuja escala inferior a dois anos esteve mais ativa (Figura 5b), contrariamente ao observado para Rx5day, cuja configuração no periodograma não demonstrou contornos positivos ou negativos relevantes (Figura 5c).

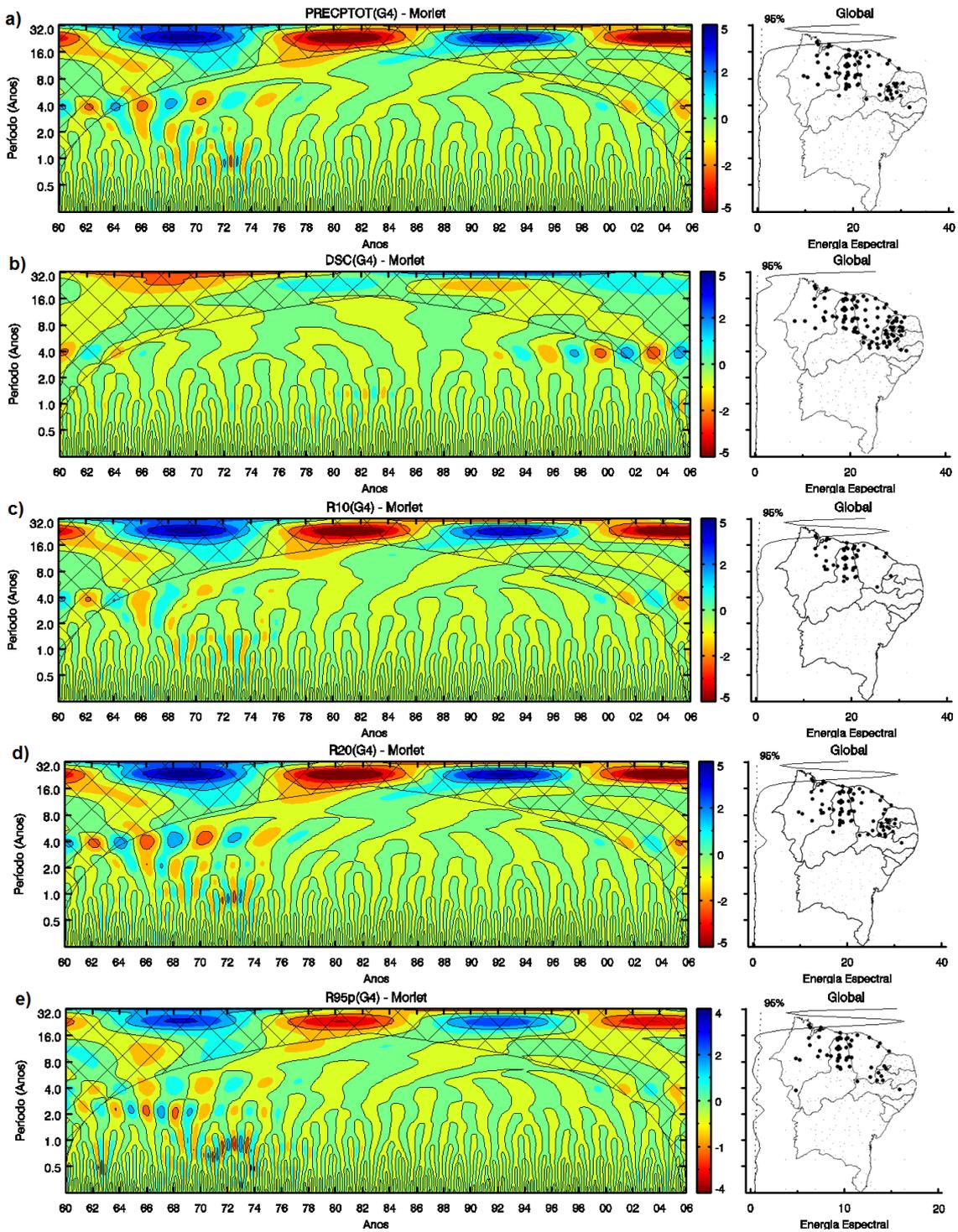
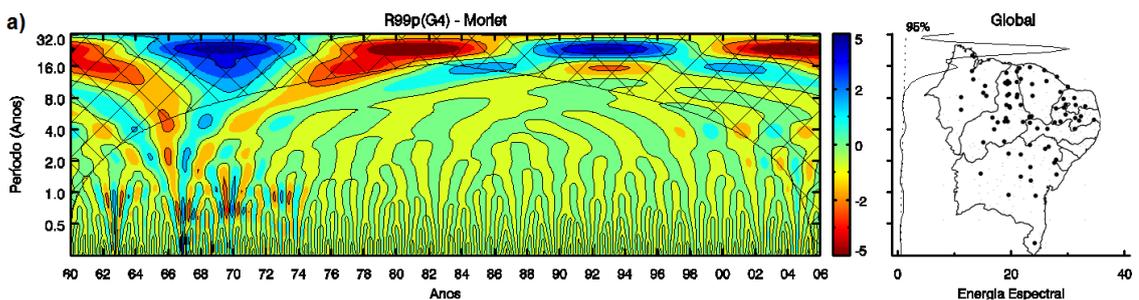


Figura 4. Transformada da ondeleta de Morlet e espectro de energia global referente a: PRECPTOT (a), DSC (b), R10 (c), R20 (d) e R95p (e), do grupo G4.



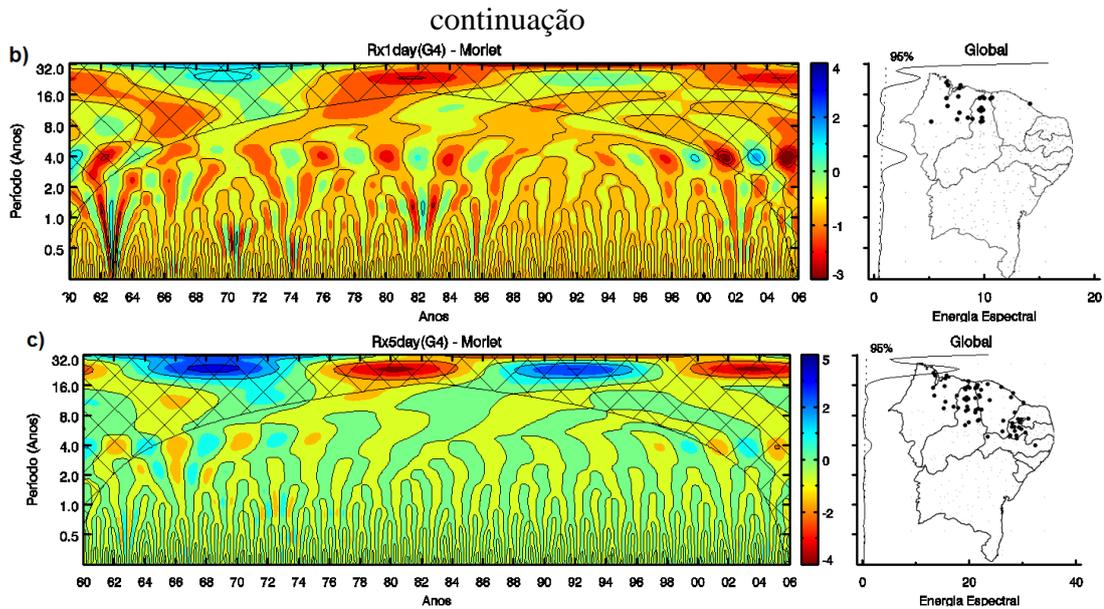


Figura 5. Transformada da ondeleta de Morlet e espectro de energia global referente a: R99p (a), Rx1day (b) e Rx5day (c), do grupo G4.

4. Conclusões

Na AA, os índices climáticos pluviiais: R50 e DUC foram regionalizados por apenas dois grupos homogêneos (G1 e G2), SDII por três (G1, G2, e G3) e os demais índices por quatro (G1, G2, G3 e G4). Na AA, as configurações espaciais obtidas demonstraram que para a maioria dos índices pluviiais: G1 está pluviometricamente mais associado ao leste, G4 ao norte, e G2 e G3, indefinição. Os resultados da aplicação da TO mostraram que a escala de 4 anos apresentou os maiores níveis de intensidade de energia espectral e modulou em todos os grupos pluviiais homogêneos obtidos boa parte das oscilações de frequência mais alta, da bienal a semianual, com destaque para a década de 1980.

Os resultados mostram que os valores observados em diversas configurações espaciais e temporais dos índices climáticos pluviiais são influenciados pelas condições de

contorno. Estão mais ligados à já conhecida atuação dos sistemas atmosféricos indutores de precipitação, sobretudo da atuação dos índices ENOS e ODP, que modularam significativamente o perfil escalar em diversos períodos das séries temporais analisadas. Portanto, pode-se afirmar que variabilidade climática da variável precipitação foi afetada pelas mudanças climáticas, trata-se de uma variabilidade natural, cujos condicionantes e interações são intrínsecos ao ciclo natural atmosférico.

5. Agradecimentos

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Profissionais de Ensino Superior) pela ajuda financeira durante a pesquisa e aos revisores anônimos pelo afincamento nas correções.

6. Referências

Alves, J. M. B.; De Souza, E. B.; Repelli, C.

- A.; Vitorino, M. I.; FERREIRA, E N. S. (1997). Episódios de La Niña na bacia do Oceano Pacífico Equatorial e a distribuição sazonal e intrasazonal das chuvas no setor norte do Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 12, 77-82.
- Alves, J. M. B. (2002). Reanálise de índices de temperatura da superfície do mar no Atlântico e Pacífico tropicais potenciais indicadores da qualidade da estação chuvosa do setor norte do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. v.10, n.1 p.179-187.
- Andrade, R. A.; Baldo, M. C.; Nery, J. T. (1999). *Variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica de Santa Catarina*. *Acta Scientiarum* 21(4):923-928 – Maringá – PR.
- Aragão, J. O. R. (1998). O impacto do ENSO e do dipolo do Atlântico no nordeste do Brasil. *Bulletin Institut Français Études Andines*, v.27 n.3, p.839-844.
- Braga, C. C.; Melo, M. L. D.; Melo, E. C. S. (1998). Análise de agrupamento aplicada a distribuição da precipitação no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília-DF. Anais... Sociedade Brasileira de Meteorologia. p.1857-62.
- Castro, A. C. (Novembro, 2007). Padrões de variabilidade intrasazonal sobre a cidade de São Paulo e Oceano Atlântico Sul adjacente utilizando a análise de ondeleta, no período de 1982 a 2005. Dissertação de Mestrado. USP.
- Chang, P.; Ji, L.; Li, H. (1997). A Decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interaction. *Nature*, 385:516-518.
- Edelbrock, C. (1979). Comparing the Accuracy of Hierarchical Clustering Algorithms: the Problem of Classifying Everybody. *Multivariate Behavior Research*, v. 14, p. 367- 384.
- Everitt, B. S.; Dunn, G. (1993). *Applied multivariate analysis*. London: Edward Arnold, 400p.
- Grinsted, A.; Moore, J.; Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 11, n. 5/6, p. 561-566.
- Halkidi, M.; Batistakis, Y. and Vazirgiannis, M. (2001). On clustering validation techniques, *Journal of Intelligent Information Systems*, 17:2/3, 107–145.
- Hsu. K. and Li, S. (2010). Clustering spatial-temporal precipitation data using wavelet transform and self-organizing map neural network. *Advances in Water Resources*. v. 33, p. 190-200.
- Ideião, S. M. A.; Costa, I. Y. L. G.; Santos, C.A .G. (2006). Análise da viabilidade do uso de água de chuva em condomínios horizontais

através da Transformada Wavelet. VI Seminário Iberoamericano sobre sistemas de abastecimento urbano de água, João Pessoa. Proceedings...VI SEREA, v. 1, p. 1-8, 2006. 1 CD-ROM.

Kaufman, L. and Rousseeuw, P. J. (1990). Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis, Wiley, New York.

Oliveira, H. M. Wavelets: Entrando na Onda. Disponível na Internet. 2002. <www2.ee.ufpe/codec/livro_wavelets.pdf>; <www2.ee.ufpe/codec/CHESFsummary.pdf>;

Maraun, D.; Kurths, J. (2004). Cross Wavelet Analysis: Significance Testing and Pitfalls. *Nonlinear Processes in Geophysics*, v. 11, p. 505–514.

Massei, N.; Dupont, J. P.; Mahler, B. J.; Laignel, B.; Fournier, M; Valdes, D.; Ogier, S. (2006). Investigating transport properties and turbidity dynamics of a karst aquifer using correlation, spectral, and wavelets analyses. *Journal of Hydrology*. V. 329, p. 244-257.

Mimmack, G. M.; Mason, S. J.; Galpin, J. S. (June 2002). Choice of Distance Matrices in Cluster Analysis: Defining Regions. *Journal of Climate*, v. 14, p. 2790-2797.

Moron, V. (1997). Trend, Decadal and Interannual Variability in Annual Rainfall of

Subequatorial and Tropical North Africa. *Inter. Journal of Climate*., 785-805.

Moura, B. A. G.; Aragão, J. O. R.; Passavante, J. Z. O.; Lacerda, F. F.; Rodrigues, R. S.; Ferreira, M. A. F.; Lacerda, F. R.; Souza, I. A. (1998). Estudo preliminar da variabilidade pluviométrica do setor leste do Nordeste do Brasil: Partes I e II. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, Brasília - DF, Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Meteorologia. CD Rom.

Santos, C. A. C.; Brito, J. I. B. (2007). Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. *Revista Bras. de Meteorologia*, v.22, n.3, 303-312.

Schunk-Silva E.; Nery J. T. (2000). *Distribuição espacial e temporal da precipitação na região centro sul do Estado do Paraná*. Congresso de Biometeorologia, em Maringá, PR.

Torrence, C.; Compo, G. P. (January 1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 79, n. 1, p. 61-78.

Ward, J. H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, v. 58, p. 236-244.

7. Apêndice

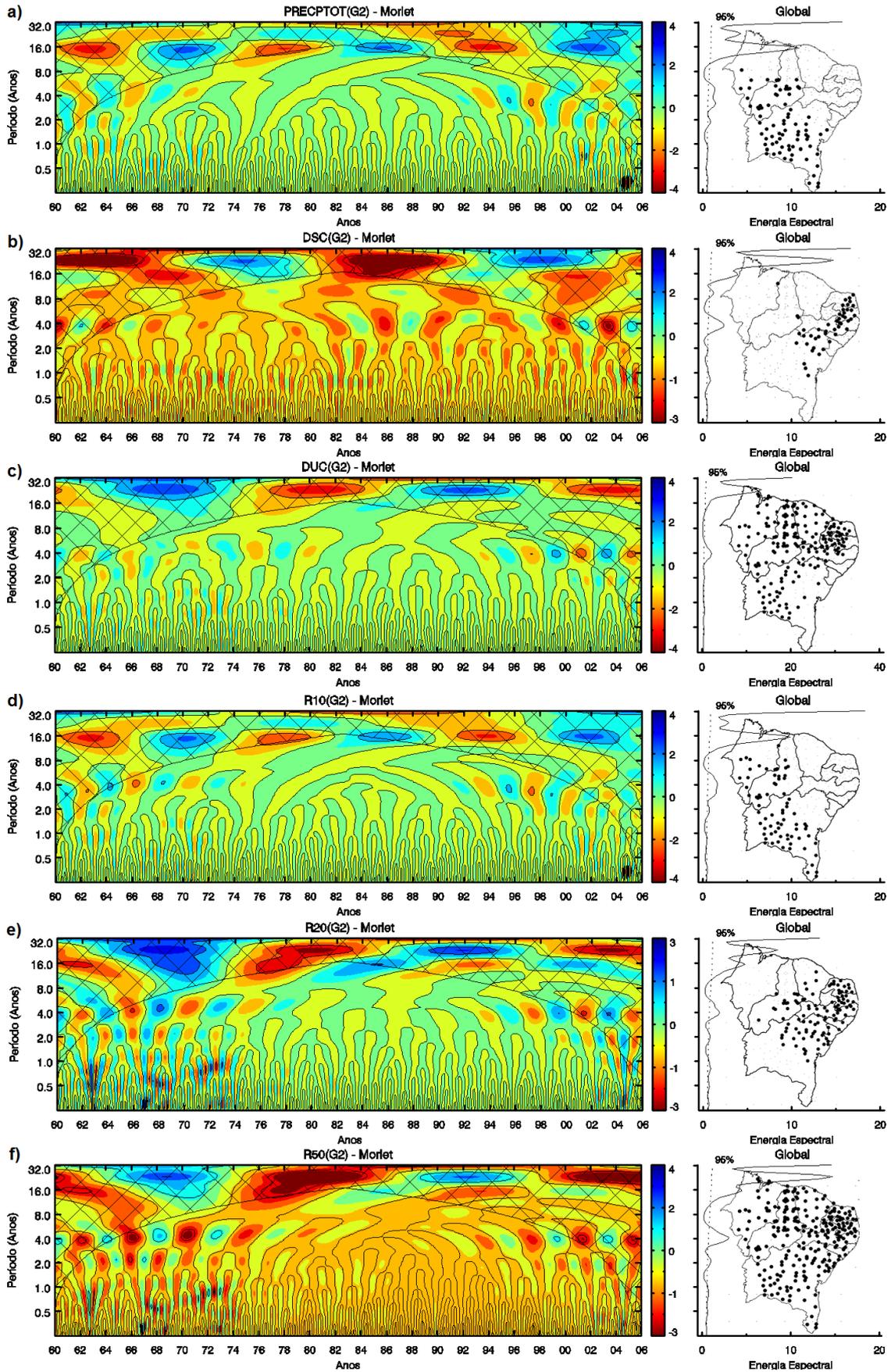


Figura A1. Transformada da ondeleta de Morlet e espectro de energia global referente a: PRECPTOT (a), DSC (b), DUC (c), R10 (d), R20 (e) e R50 (f), do grupo G2.

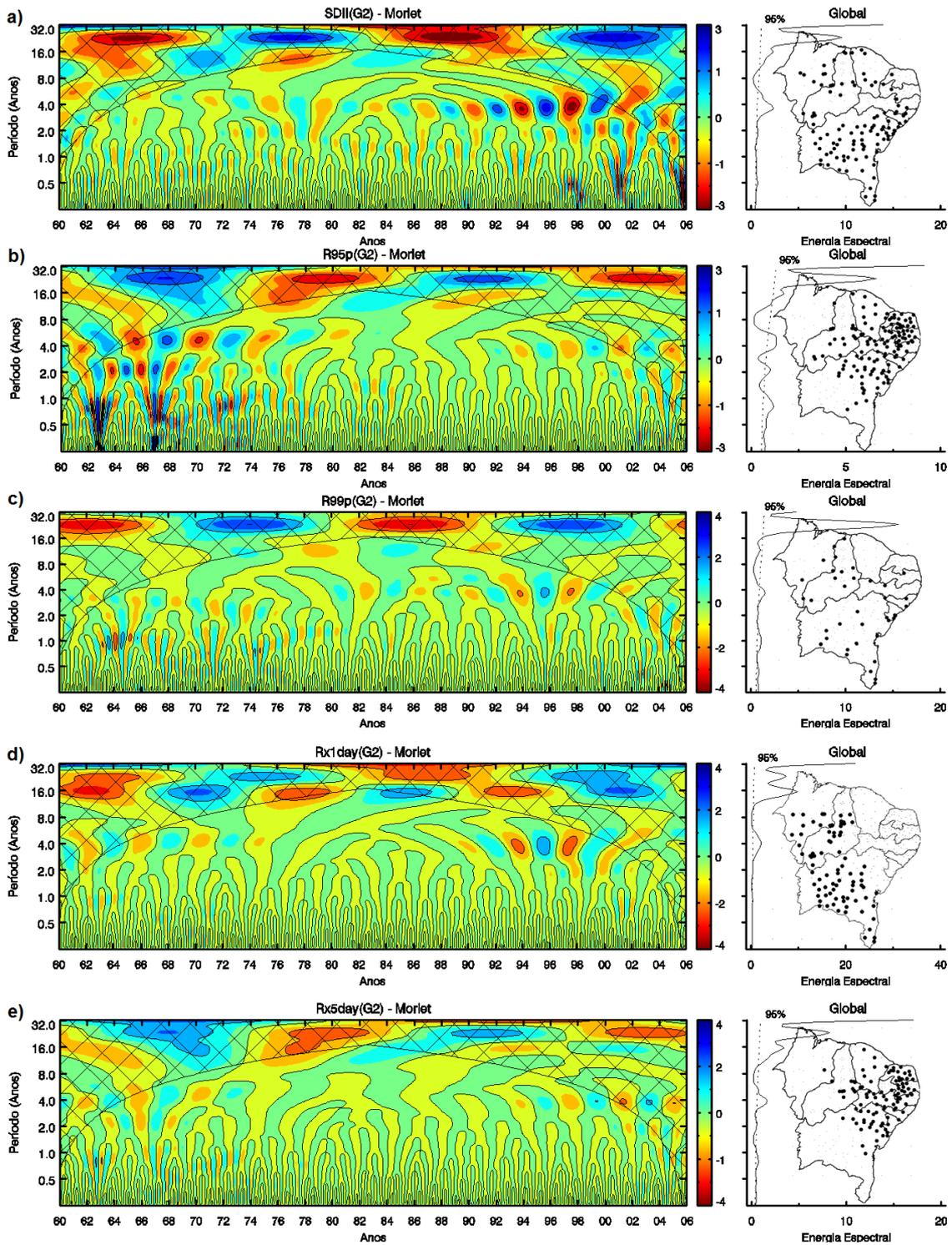


Figura A2. Transformada da ondeleta de Morlet e espectro de energia global referente a: SDII (a), R95p (b), R99p (c), Rx1day (d) e Rx5day (e), do grupo G2.

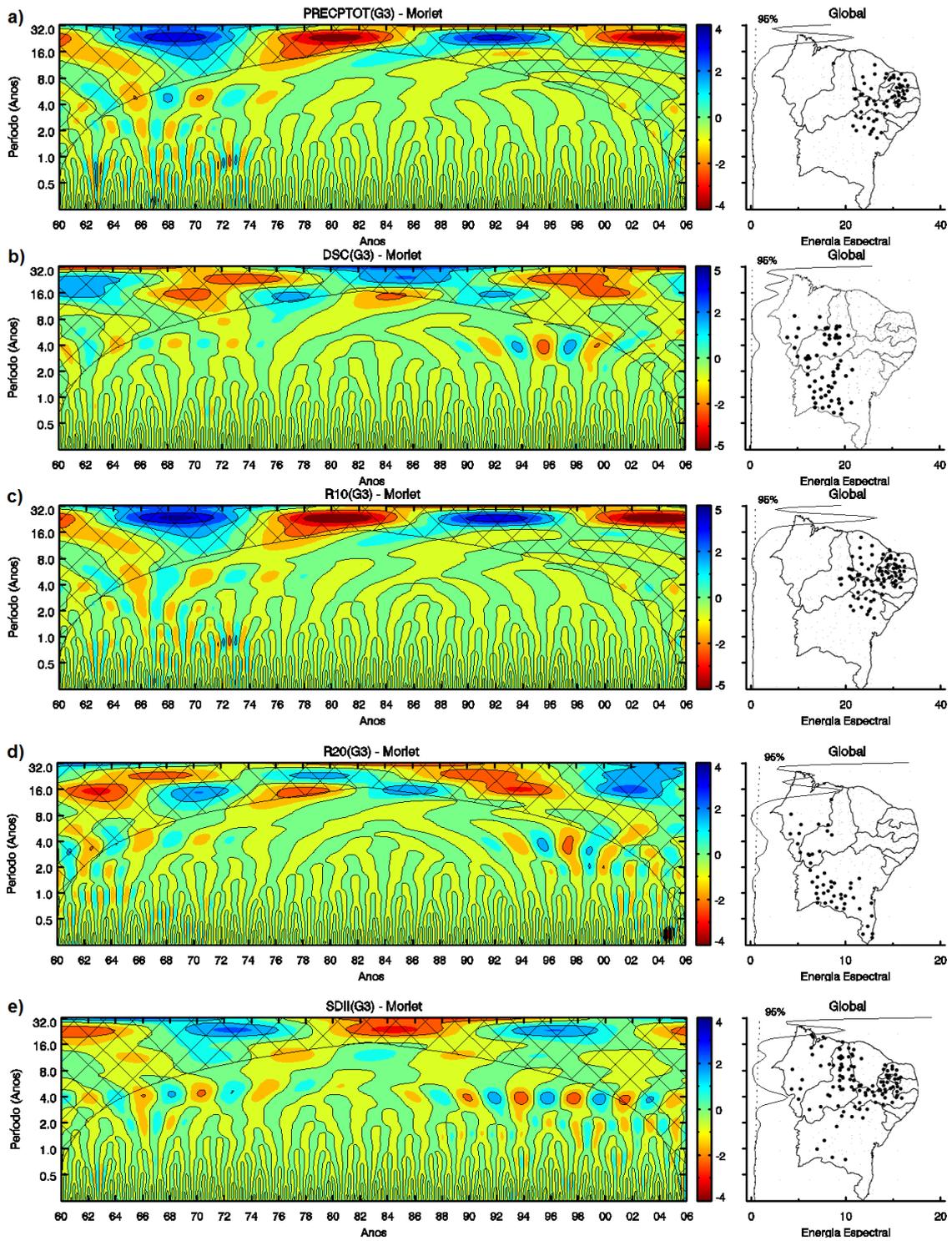


Figura A3. Transformada da ondeleta de Morlet e espectro de energia global referente a: PRECPTOT (a), DSC (b), R10 (c), R20 (d) e SDII (e), do grupo G3.

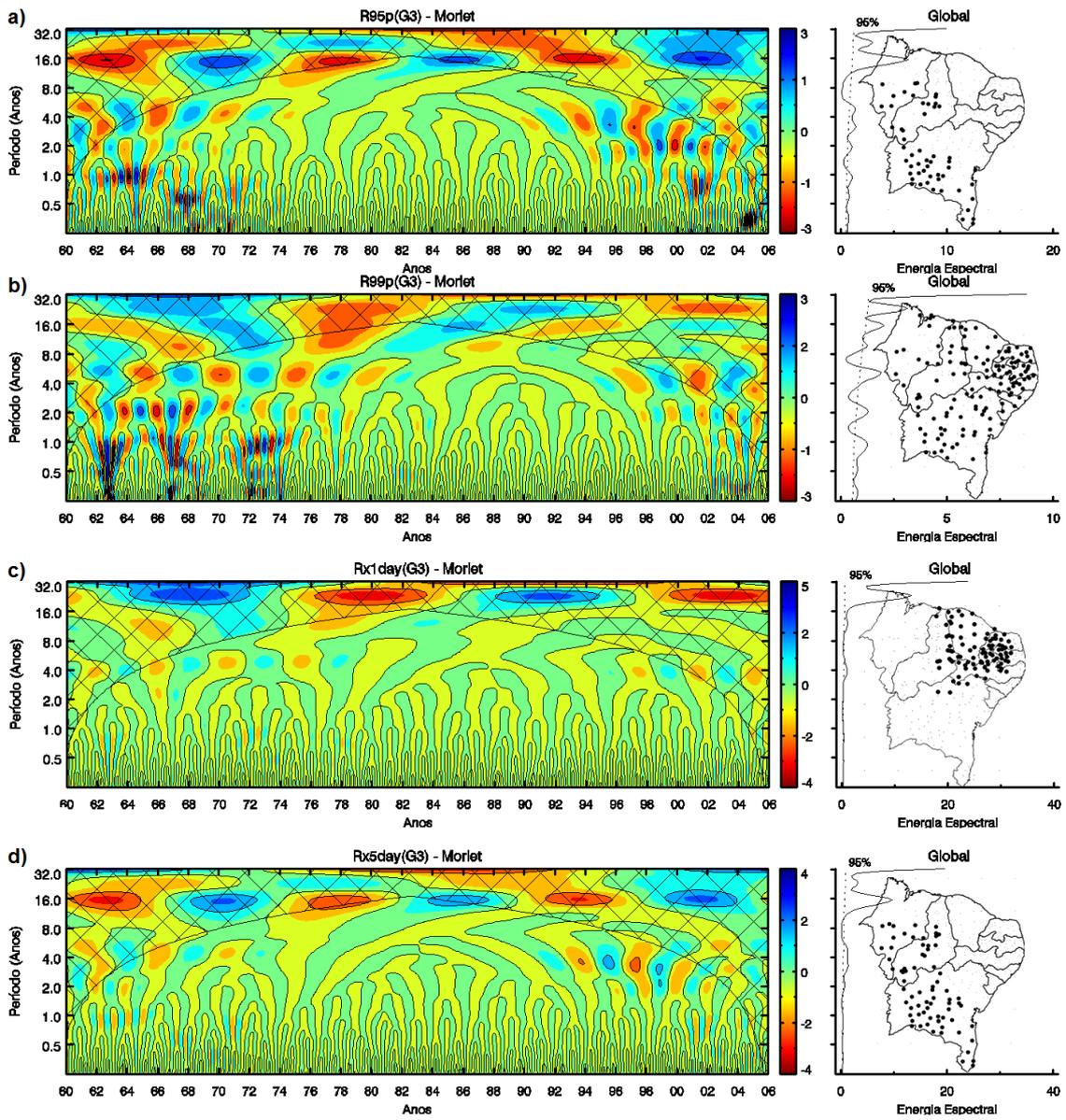


Figura A4. Transformada da ondeleta de Morlet e espectro de energia global referente a: R95p (a), R99p (b), Rx1day (c) e Rx5day (d), do grupo G3.