



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



ESTUDO DOS PADRÕES CLIMATOLÓGICOS DO VENTO USANDO TRANSFORMADA EM ONDELETAS

Marcos Antonio Lima Moura¹, André Deodato ferreira¹, Rayonil Gomes Carneiro²

1 – Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), Maceió, Alagoas, Brasil. Autor correspondente: e-mail: malm@ccon.ufal.br

2 – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brasil. rayonil_ono@hotmail.com

Artigo submetido em 20/10/2014 e aceite em 09/12/2014

RESUMO

A costa leste do Nordeste Brasileiro (NEB) é palco da ação simultânea de fenômenos transientes que interagem com os sistemas locais, modificando sua frequência e intensidade. Neste trabalho, utiliza-se a técnica de Transformada em Ondeletas¹ (TO) para analisar as séries temporais de magnitude do vento (componente zonal), a fim de aprimorar o entendimento dos sistemas locais de brisas marinhas e terrestres na costa leste de Alagoas. Esta técnica (TO) fornece uma moldura hierárquica que permite a dupla localização em tempo e frequência. Para isso foram utilizados os dados horários médios de velocidade do vento no período de Outubro de 2004 a Outubro de 2005 numa área de proteção ambiental da Ilha de Santa Rita, Marechal Deodoro, Alagoas (9° 42' 18" S e 35° 48' 32" W). As características do sinal mostraram a distinção entre as quadras seca e chuvosa. Na quadra seca, prevalecem os sistemas locais. Na quadra chuvosa predominam os sistemas transientes de grande escala, que inibem os efeitos das brisas. Na mesma base de dados, a direção do vento também foi analisada no intuito de revelar uma direção preferencial e sua persistência. Para este fim, foram utilizados gráficos do tipo rosa-dos-ventos e histogramas de frequências. Verificou-se que as maiores amplitudes e persistência dos ventos são de Sudeste (brisas) e foram incrementadas pelos ventos Alísios de SE, que sopraram o ano inteiro, criando uma interferência construtiva no sinal.

Palavras-chave: Ventos locais, Transformada em Ondeletas, Brisas

A STUDY OF THE CLIMATOLOGICAL PATTERNS OF THE WIND USING WAVELET TRANSFORM

ABSTRACT

The eastern coast of Northeastern Brazil experiments a large number of simultaneous weather related transients that interact with the local systems affecting their frequency and intensity. In this study, the wavelet transform is used to analyze time series of the wind magnitude (zonal components) in order to improve our understanding of the sea/land breeze system in the Alagoas State coastal area, Brazil. This technique provides a hierarchical frame that accommodates double location in time and frequency. Hourly data of averaged winds measured at the Ilha de Santa Rita, an ecological park located in Marechal Deodoro (Alagoas (9° 42' 18" S e 35° 48' 32" W) during October, 2004 – October, 2005 period were used for the above mentioned objective. The signals clearly identified the dry and rainy four month periods. The local systems prevailed during the dry periods, contrasting with the rainy periods when the transient large scale systems inhibited the breeze circulation. The wind direction was also analyzed using the same data basis in order to detect any preferential direction and the associated persistence. It was noticed that the largest amplitudes and persistences were related to the southeastern sea/land breezes enhanced by the year around blowing trade winds.

Key words: Local winds, sea/land breezes and wavelet analysis.

¹ O termo em francês *ondelletes* pode ser traduzido por ondeletas, onduletas, ondaletas. A maioria das produções bibliográficas utiliza o termo único em inglês *wavelet*. Para fins de praticidade linguística, este trabalho utilizará o termo "ONDELETAS" por ser o equivalente mais utilizado em alguns trabalhos em língua portuguesa.

Introdução

O Nordeste brasileiro (NEB) localiza-se numa região sujeita à influência de vários sistemas meteorológicos (em especial os de mesoescala) que atuam de forma diferenciada em relação à sua frequência e intensidade. Esses sistemas de mesoescala desempenham um grande papel na caracterização do microclima da região e são difíceis de serem detectados, pois interagem com a circulação de grande escala (Cavalcanti, 1982), tornando a climatologia da região bastante complexa. Segundo Figueiredo (2002), o estado de Alagoas está localizado numa sub-região do NEB que possui grande variabilidade na distribuição pluviométrica devido a sua orografia e sistemas de ventos locais.

O vento é uma variável importante na descrição dos mais variados sistemas meteorológicos. Especificamente, a análise do sistema de brisas (marinha e terrestre) pode ser bastante útil para se entender alguns dos padrões de precipitação, uma vez que as brisas marinhas podem transportar o vapor d'água liberado pelo oceano para o continente. Dependendo da quantidade de vapor d'água transportado podem ocasionar chuvas no continente. Esses sistemas constituem um dos principais mecanismos responsáveis pelo regime de precipitação observado no NEB e foi amplamente discutido na literatura (Kousky, 1979; Cavalcanti et al., 1982; Servain e Lukas, 1990).

A definição mais simples de uma série temporal está associada à ideia de um conjunto de observações de uma ou mais variáveis, ordenadas no tempo e registradas (preferencialmente) em períodos regulares. A característica mais importante das séries temporais é que há uma correlação das observações com observações vizinhas, que deve analisada e modelada. Ao se fazer uma análise destas séries temporais, espera-se que haja um sistema causal mais ou menos constante, relacionado com o tempo, o qual exerce controle sobre os dados no passado e pode continuar a fazê-lo no futuro.

A decomposição espectral no domínio de frequências de uma série temporal com suas várias escalas de tempo (harmônicas) torna possível identificar fenômenos que ocorrem em determinadas frequências (ou escalas). A função de ondeleta possui a capacidade de decompor e descrever uma série temporal no domínio da frequência, de forma que seja possível analisar, simultaneamente, essa série em diferentes frequências e escalas de tempo. A decomposição de uma série (ou função) com o uso de ondeletas é conhecida como Transformada em Ondeleta (TO) e tem suas versões contínua e discreta. Graças à habilidade de decompor as funções tanto no domínio da frequência quanto no domínio do tempo, as ondeletas são ferramentas poderosas para a análise de sinais e compressão de dados a serem analisados.

A TO tem sido amplamente utilizada e seu desempenho tem apresentado notável eficácia. Bolzan (2004; 2006) aplicou-a a um sinal geofísico e enfatizou a importância desta ferramenta quando aplicada à uma série temporal. Molina (2006) utilizou a TO e identificou assinaturas espectrais relevantes em sinais

de RADAR. A presença dos sistemas de brisas foi detectada por Holanda *et al.*, (2004), através de dados horários de vento medidos no Aeroporto Zumbi dos Palmares (AZP), na cidade de Maceió (AL), corroborando com os resultados obtidos por Lemes *et al.*, (2006), que utilizaram a Análise Espectral de Fourier. Torrence e Compo (1998) evidenciaram a inovação da TO na Meteorologia através de um trabalho precursor, envolvendo uma série de 1871 a 1996 na qual se revelou a intensidade e frequência predominantes do fenômeno El-Niño Oscilação Sul (ENOS).

A dinâmica que governa a atividade dos sistemas de mesoescala em regiões do leste do NEB necessita ainda de muitos estudos teóricos e observacionais. Nesse sentido, reside a importância desse trabalho, cujo objetivo principal é a análise de séries temporais de ventos usando a TO no intuito de melhor compreender os sistemas locais de brisas marinhas e terrestres na costa leste do Nordeste Brasileiro (especificamente, a cidade de Maceió, AL) e suas interações com outros sistemas de diferentes escalas temporais.

Material e Métodos

Área de estudo e descrição experimental

Os dados utilizados foram medidos em um sítio experimental (Lat. 9°42'18''S e Long. 35°48'32''W) localizado na ilha de Santa Rita, no município de Marechal Deodoro, dentro do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, aproximadamente a 15 km ao sul da cidade de Maceió, AL, durante o período de outubro de 2004 a outubro de 2005. O sítio apresenta uma cobertura de vegetação nativa com uma altura média do dossel em torno de 11,5m (mais especificamente uma floresta de manguezal) que faz parte da Área de Preservação Ambiental (APA).

Uma torre de 14m foi instalada devidamente equipada com diversos sensores para monitorar diferentes variáveis, das quais foram utilizadas somente a direção e intensidade do vento na elaboração desse trabalho. Os instrumentos estavam conectados a um sistema de aquisição de dados, no qual eram armazenados em médias de 5 minutos, após medições realizadas a cada 10 segundos e eram descarregados posteriormente, em laboratório, para consequente tratamento e utilização dos dados.

Climatologia da região

O estado de Alagoas está localizado em uma sub-região do Nordeste que possui grande variabilidade na distribuição pluviométrica devido a sua orografia e sistemas de ventos locais (Figueiredo, 2002). O microclima do complexo Mundaú-Manguaba foi descrito por Oliveira (1993) e complementado por Cabús (2002) como sendo tropical, semi-úmido com estações chuvosas (de maio a agosto), quando ocorre aproximadamente 60% do total médio anual de precipitação de 2.167,7 mm, e estações secas (de dezembro a fevereiro) bem definidas (classificação Köppen Am), sendo os outros meses considerados de transição. A temperatura anual média do ar é 25,5 °C, com uma variação média anual de 3,4 °C. A umidade

relativa anual média é 78,3% com máximo em maio (82,6%) e mínimo em novembro (74,7%). Durante a estação chuvosa, o vento sopra predominantemente de sudeste (SE) e, na estação seca, de Leste (E), com velocidade média de 6m.s⁻¹ em ambas estações. Estas são as principais diferenças climáticas entre as estações seca e chuvosa. A irradiância solar média mensal varia de 24 MJ.m⁻² em julho a 84 MJ.m⁻² em novembro.

A região está dentro do regime de ventos com componente zonal pronunciadamente de leste (os ventos alísios) e sofre a influência de outros sistemas, amplamente descritos na literatura, tais como os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e sistemas frontais.

As ondeletas de morlet e “chapéu mexicano”

Enquanto que a análise de Fourier consiste em decompor um sinal em senos e cossenos de várias frequências (Chierice, 2003), a TO é a decomposição de um sinal em escalas (dilatação e compressão) e translação de uma dada ondeleta original (denominada ondeleta mãe).

Em particular, as ondeletas de Morlet e “Chapéu Mexicano” são bastante utilizadas na análise das frequências presentes no sinal e na identificação de relações entre tempo e frequência (Bolzan, 2004). Estas funções são empregadas na análise de séries temporais, onde suavidade e variações contínuas na amplitude da ondeleta são esperadas. As duas ondeletas são apresentadas resumidamente na Tabela 1.

A ondeleta de Morlet nada mais é que a combinação de uma onda plana (senóide) de frequência modulada por um envelope gaussiano de largura unitária e tem a propriedade de acoplar oscilações suavizadas para valores da frequência $\omega_o = 6$ (Farge, 1992). A ondeleta “Chapéu Mexicano” é a segunda derivada de uma função gaussiana, sendo, portanto, uma ondeleta simétrica, muito apropriada para detectar regiões de máxima curvatura do sinal. Na Tabela 1, o expoente m indica a ordem da derivada e DOG significa *Derivative of Gaussian* (Derivada de Gaussiana); o valor de m = 2 fornece a ondeleta “Chapéu Mexicano”; k é o índice de escala.

Tabela 1 – Duas bases de funções ondeletas e algumas de suas propriedades.

Nome	$\Psi(t)$	Tempo de dobramento	Comprimento de onda de Fourier (λ)
Morlet	$\Psi(t) = \frac{1}{\sqrt[4]{\pi}} \exp(i\omega_o t) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$	$k\sqrt{2}$	$\frac{4\pi k}{\omega_o + \sqrt{2 + \omega_o^2}}$
DOG	$\frac{(-1)^{m+1}}{\sqrt{\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)}} \frac{d^m}{dt^m} \left[\exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \right]$	$k\sqrt{2}$	$\frac{2\pi k}{\sqrt{m + \frac{1}{2}}}$

Um exemplo e interpretações

A figura 1.a mostra um periodograma obtido a partir da TO com a ondeleta de Morlet, onde o eixo x contém as observações sequencialmente ordenadas (cerca de 3000 de magnitudes de vento) e o eixo y mostra os períodos da série em escala temporal (em horas). A escala de cinza desse gráfico representa a amplitude do sinal em cada de frequência, ou seja, representa a energia associada a cada frequência existente na série. Quanto mais escuro, mais intenso o sinal.

As periodicidades estatisticamente significativas (com 95% de confiança) são delimitadas por linhas de contornos contínuas na cor branca, que define uma região do periodograma chamada de cone de influência (COI). Períodos fora desse cone não devem ser considerados, pois não possuem confiança estatística; esses períodos espúrios são gerados por “efeitos de borda” (ou, efeitos de fronteira), pois a série temporal é, na prática, uma série finita.

Adicionalmente, adaptações nos programas originais possibilitaram a obtenção do Espectro Global de Ondeleta (EGO), que mede a variância (ou energia) das frequências, através do cálculo das variâncias

(energias) associadas a cada um dos períodos da série (Figura 1.b). Na realidade, trata-se de uma análise espectral via Transformada Rápida de Fourier (TRF). A análise do EGO, que excede o nível de significância, é importante para verificar a contribuição média dos picos espectrais (Torrence e Compo, 1998; Bolzan, 2004).

A fim de evidenciar a conexão estrutural das grandezas envolvidas, para cada período de estudo, foram utilizados gráficos capazes de identificar as ramificações entre as diversas escalas (Figura 1.c). Esses gráficos são gerados a partir da Transformada Contínua de Ondeleta (TCO) via “Chapéu Mexicano”, e apresenta os coeficientes de ondeleta. Trata-se do “ruído branco² gaussiano”, que é capaz de exibir todas as frequências (ou estruturas ramificadas) que atuam no fenômeno. O modo gaussiano recorre à distribuição de

² O adjetivo “branco” é utilizado para descrever este tipo de ruído em analogia ao funcionamento da luz branca, dado que esta é obtida por meio da combinação simultânea de todas as frequências cromáticas. O modo gaussiano é bastante verossímil para a maioria dos fenômenos naturais.

probabilidade com respeito ao valor médio, ou seja, a probabilidade que o sinal tem de se assumir um determinado valor. A escolha de uma distribuição

gaussiana é uma boa aproximação para muitas situações reais e gera modelos matematicamente tratáveis (Farge, 1992).

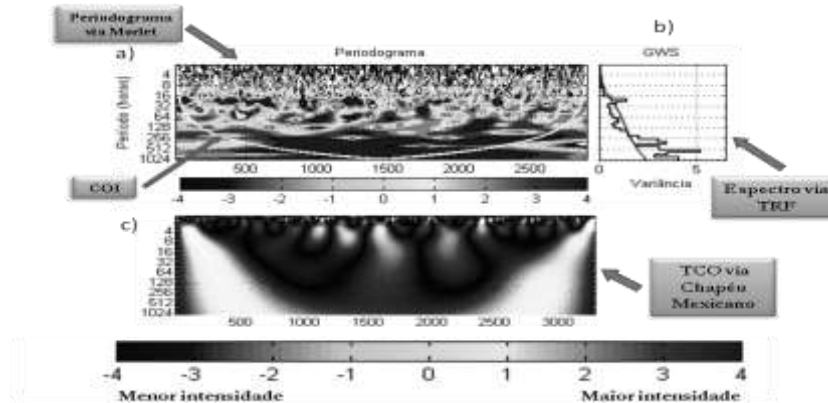


Figura 1 – Exemplo da composição dos periodogramas de Morlet e Chapéu Mexicano para uma mesma série de magnitude do vento.

Sazonalidade do ciclo diário a partir da rosa-dos-ventos

A TO exibe a intensidade dos ventos e as frequências atuantes, mas nada nos mostra sobre a direção preferencial em que este sopra. A fim de complementar essa informação, os gráficos a seguir exibem duas situações distintas para o entendimento dos padrões que predominam ao longo de cada período de estudo (Figuras 2a e 2b). Para este fim, foram desenvolvidos algoritmos que reúnem uma série de informações relevantes combinados ao diagrama de rosa-dos-ventos. Estes gráficos seguem o roteiro de divisão da Climatologia da região.

A situação no item a), exibe a rosa-dos-ventos convencional (medições diretas da ST), expondo a classificação completa das direções e indicando o regime de distribuição geral dos ventos ao longo do tempo. As magnitudes estão em escala logarítmica a fim de facilitar a visualização.

Para o item b), foi feito um histograma de frequência para os dados de entrada, ou seja, somente os valores com predominância estatisticamente significativa foram plotados. Este procedimento revela qual a direção preferencial que o vento sopra (sua persistência). Os círculos concêntricos pontilhados, interiores à rosa-dos-ventos, medem essa persistência (percentual) em que o vento sopra na direção predominante. Portanto, o conjunto gráfico nos mostra a intensidade, direção preferencial e persistência do vento.

Para ambos os casos, a tabela posicionada no canto superior à direita de cada gráfico mede a magnitude do vento numa escala graduada em metros por segundo ($m.s^{-1}$) cujas intensidades são divididas por grupos. Estes seguem um exame baseado no conjunto de dados e no bom senso, para se tornarem de fácil compreensão.

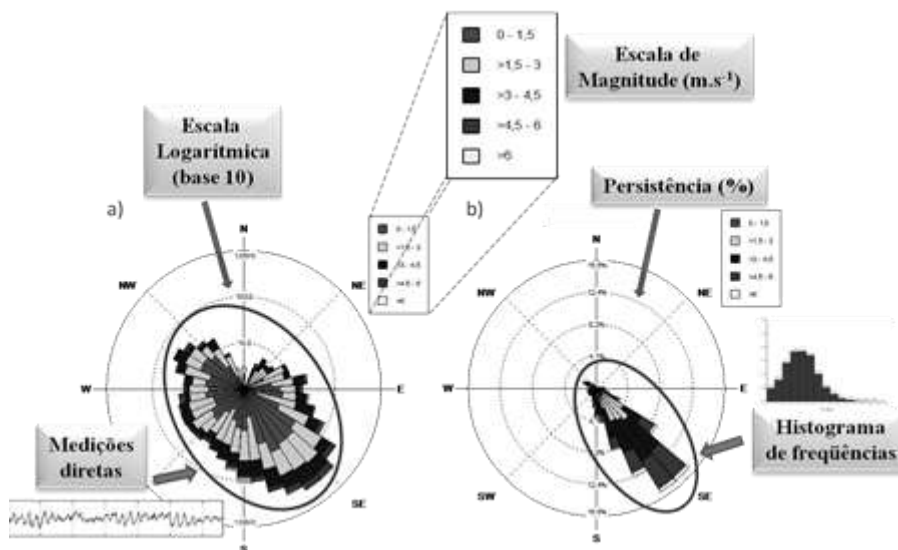


Figura 2 – Diagrama rosa-dos-ventos destacando duas situações: Convencional (a); com histograma de frequências (b).

Resultados e Discussão

Período seco

A magnitude do vento no período seco (Figura 3) mostra um sinal persistente e bastante homogêneo na escala de 24 horas, com o EGO (Figura 3.b) associado a essa componente tendo um forte pico de energia, sugerindo uma atuação mais intensa das brisas de terra e mar. Esse padrão é geralmente esperado para essa época do ano na região de estudo, devido à atuação mais acentuada da radiação solar. Há também pequenos núcleos em torno de 128 horas (4 – 5 dias) que atuam, em conjunto, com os sistemas de mesoescala. Eles também possuem um alto grau de persistência para essa época, e o EGO associa altas energias nesses sistemas. O período de 8 – 16 dias pode estar associado a um VCAN. De acordo com Ramirez (1996), o tempo de vida de um VCAN varia de acordo com as estações do ano e com os meses, possuindo maior tempo de vida no verão (9 – 10 dias) e menor nas estações de primavera (5 – 6 dias) e outono (6 – 7 dias). Os núcleos em torno de 4 – 5 dias podem

estar associados aos DOL, conforme descrevem Gandu *et al.* (1996) e Ferreira *et al.* (1990). Além disso, houve variações de intensidades dos sistemas de mesoescala que persistiram de forma alternada durante o período seco. No entanto, as maiores amplitudes do sinal no período seco, estão relacionadas a eventos da grande escala.

Por causa do aquecimento da superfície durante a estação seca, a turbulência do ar e o contraste térmico terra-mar são maiores que os observados na estação chuvosa, contribuindo para as maiores velocidades do vento e favorecendo a atuação das brisas quase que de maneira ininterrupta. Outro fato importante são as estruturas de grande escala atuando em conjunto com os sistemas de mesoescala, como destacado nas figuras 3.a e 3.c. Os períodos associados a esses sistemas variam em torno de 192 a 384 horas (8 – 16 dias). As ramificações, presentes ao longo da série, confirmam a atuação dessas estruturas, as quais são evidentes na figura 3.c.

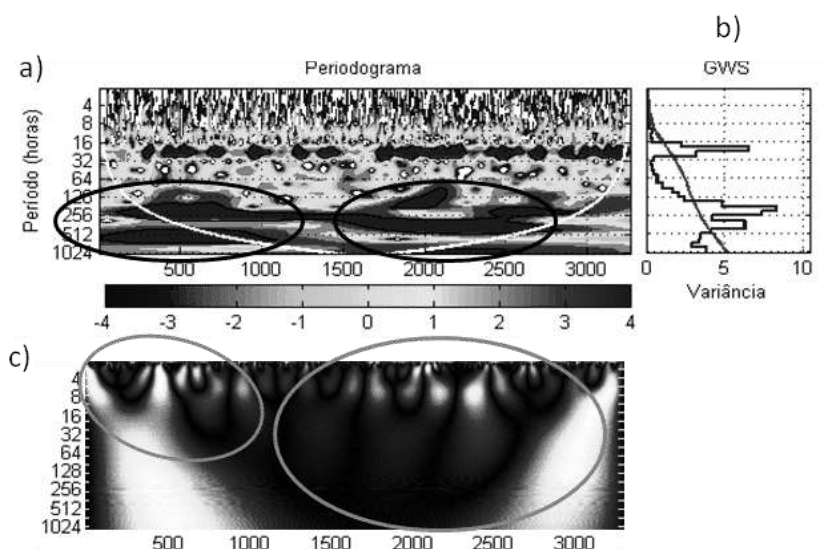


Figura 3 – Espectro de ondeleta para a magnitude do vento no período seco (a) espectro global, (b) coeficientes da Transformada em Ondeleta (TO) para o mesmo período e (c) Transformada Contínua de Ondeleta (TCO).

Embora os períodos supracitados referentes ao VCAN coincidam, aproximadamente, com os do DOL, essa coincidência pode ser questionável para a quadra seca, uma vez que o período dominante dos VCAN para os meses de verão varia em torno de 10 – 11 dias. Os VCAN atuaram em praticamente todo o período seco e foram os maiores responsáveis pela inibição da nebulosidade. A predominância de cavados em altos níveis também foi observada em diversos dias, sendo que vários deles evoluíram para vórtices ciclônicos.

Período chuvoso

A quadra chuvosa apresenta núcleos que se estende da meso a grande escalas (Figura 4.a). No entanto, tais núcleos são esparsos e se alternam em diversos momentos. Durante este período, as brisas contribuem de forma inexpressiva na formação dos campos de vento observados, em função disso a escala de 24 horas apresenta sinal intermitente e baixa magnitude. Devido à morfologia da costa de Alagoas

(favorável ao evento das brisas marinha / terrestre) e à alta persistência dos ventos de leste, pode-se constatar a existência das brisas, porém profundamente mascaradas pela interferência de sistemas maiores, ou seja, aqueles com período superior a 24 horas.

A grande intensidade do sinal, como visto no EGO (Figura 4.b) corresponde às mais altas energias que estão compreendidas entre os períodos de 256 a 512 horas (11 – 21 dias), consistente com a estrutura de ramificação (Figura 4.c). Os sistemas de brisas são atenuados pela presença desses transientes, uma vez que o EGO associa baixa atividade na faixa das meso escalas, apesar de algum sinal estar fora do COI.

A Figura 4.c mostra fortes ramificações, e grande coerência com as estruturas do periodograma, uma vez que os coeficientes da TO distribuem-se ao longo da série acompanhando os núcleos dentro do COI e estendendo seus ramos com igual período. Ao contrário da época seca, as estruturas de grande escala influenciam diretamente as escalas menores. Os DOL e

os VCAN são predominantes para esse período, mas podem ter sua atividade intensificada ou inibida,

conforme a posição climatológica.

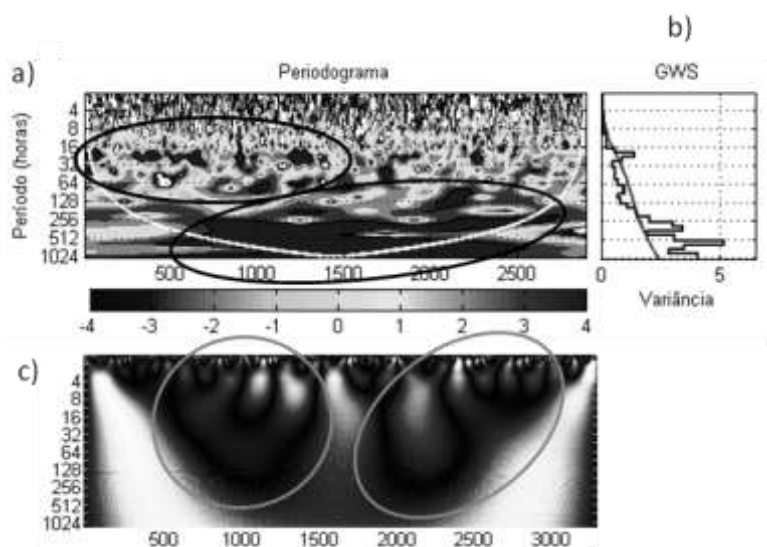


Figura 4 - Espectro de ondeleta para a magnitude do vento no período chuvoso: (a) espectro global, (b) coeficientes da Transformada em Ondeleta (TO) para o mesmo período e (c) Transformada Contínua de Ondeleta (TCO).

Comportamento anual

O comportamento anual da magnitude do vento e suas frequências dominantes são mostrados na figura 5.a, na qual se tem uma visão geral da evolução das estruturas envolvidas nos dois períodos por completo (seco e chuvoso). Sendo a energia total de um sistema proporcional ao quadrado da amplitude (Zdunkowsky & Bott, 2003) é razoável associar este padrão anual à atuação da radiação solar injetando mais (menos) energia no sistema no período seco (chuvoso).

O EGO (Figura 5.b) exhibe os picos correspondentes ao periodograma, que, por sua vez, mostra a forte ligação das componentes para o período seco, corroborando com o fato de que nesse período há

maior turbulência devido ao aquecimento das superfícies e, por conseguinte, grande transferência de energia entre as escalas. O oposto é verdade para o período chuvoso, onde tais condições são menos acentuadas.

Embora haja a atuação de mecanismos de grande escala no período chuvoso, evidencia-se um forte enfraquecimento (ou inibição) dos mecanismos no ciclo diário. As trocas de energia das grandes para as pequenas escalas são atenuadas por estes sistemas transientes. A configuração da ramificação da TCO (Figura 5.c) mostra a intensa atividade destas frequências durante todo o período de estudo.

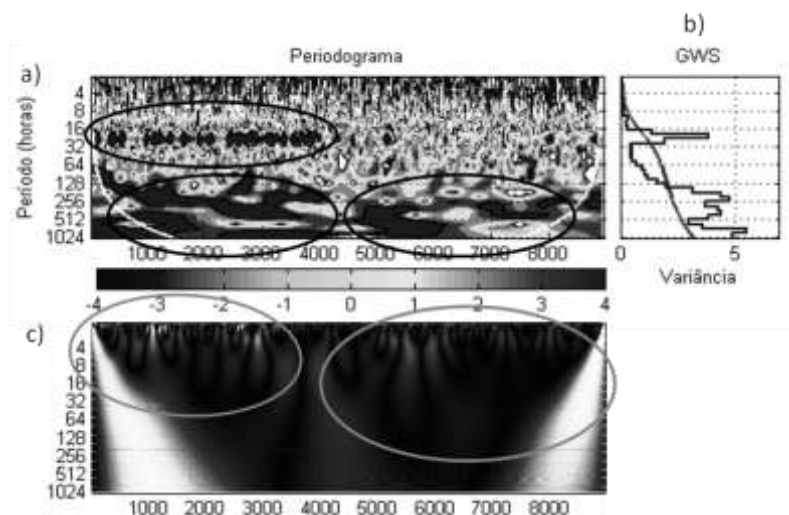


Figura 5 - Espectro de ondeleta para a magnitude do vento no período de estudo (a) espectro global, (b) Coeficientes da Transformada em Ondeleta (TO) para o mesmo período e (c) Transformada Contínua de Ondeleta (TCO).

Direção e persistência predominantes do vento

A frequência do ciclo diário correspondente a um período de 24 horas pode ser usada como uma frequência (ou período) de referência, pois o sistema de

ventos de interesse nesse estudo é causado por uma forçante térmica com esse período, que reflete a sequência de intervalos de aquecimento e resfriamento

diferenciais. A detecção da componente de SE, bem como sua persistência reforçam essa identificação.

Período seco

A figura 6.a exibe um padrão que salienta a contribuição moderada, mas não menos significativa, dos ventos que atuaram no setor NE. A atividade neste setor confirma a atuação dos ventos Alísios de NE, que juntamente com os Alísios de SE compõem um regime de ventos significativos. Observa-se, no entanto, um

incremento maior no setor SE, mostrando a interferência construtiva entre os Alísios de SE e a brisa marinha. A figura 6.b mostra o histograma de frequências com predominância dos ventos de SE.

Durante este período seco, também persistem moderados ventos de NW, os quais são opostos aos ventos de SE e, portanto, opostos à brisa marinha. Tal conjuntura comprova a ação constante da brisa terrestre durante todo o período.

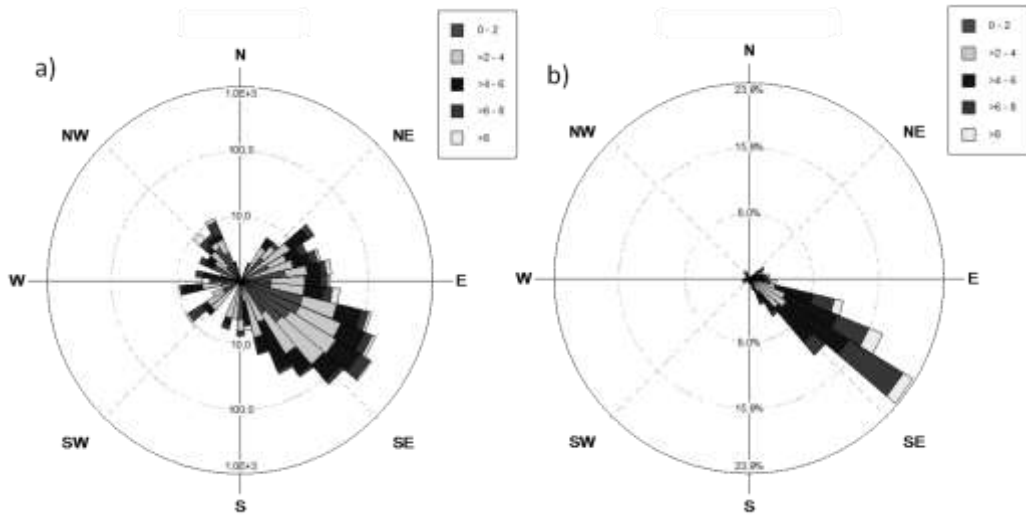


Figura 6 – Rosa-dos-ventos original (a); Rosa-dos-ventos com histograma de frequências relativas (b). (Período seco).

3.5.2. Período chuvoso

Embora haja predominância estatística para os ventos de sudeste (SE), nota-se também uma maior contribuição no setor entre o Sul (S) e o Sudeste (SE) em relação ao período anterior. Os ventos de Sul passam a ter relevante importância. Os Alísios quase duplicam sua intensidade do verão para o inverno (No caso da região, do período seco ao chuvoso).

A grande variabilidade no campo bórico é típica para o período chuvoso devido à diversidade de fenômenos transientes. A figura 7.a exibe este fato, pois impera alta heterogeneidade tanto em módulo quanto em direção do escoamento. Vemos uma leve

inclinação dos ventos na direção Sul (Figura 7.b), mas com predominância de SE.

Kousky (1980) observou também que o máximo de chuvas no setor leste do NEB, está possivelmente associado à máxima convergência dos Alísios com a brisa terrestre, a qual deve ser mais intensa durante as estações de outono e inverno quando o gradiente térmico entre a terra e o mar é mais intenso. Mesmo com a predominância dos Alísios de SE, a brisa ainda permanece, mas com intensidade menor. A componente é mais pronunciada no período chuvoso devido a essa combinação, que cria uma interferência construtiva no sinal.

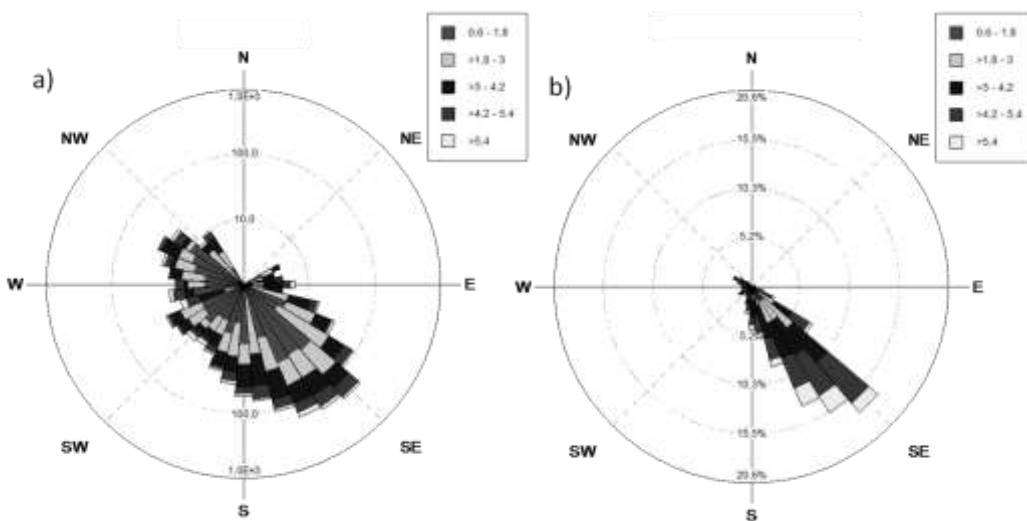


Figura 7 – Rosa-dos-ventos original (a); rosa-dos-ventos com histograma de frequências relativas (b). (Período chuvoso).

Conclusões

Ficou evidente a distinção entre as quadras seca e chuvosa, sobretudo no tocante às características do sinal, através da Transformada em Ondeletas (TO). Os sistemas de mesoescala atuam com mais intensidade no período seco, pelo fato de se ajustar ao ciclo diário da forçante térmica (radiação solar). Para a quadra chuvosa, predominam os sistemas transientes de grande escala. Em ambos os casos prevalecem os ventos de sudeste, típicos da atuação do ciclo diário e dos Alísios. Esta análise auxiliar detecta os padrões de direção do vento no ciclo diário para cada fase, reforçando o fato de que um exame desses padrões caracteriza a atuação do sistema de brisas, pois estas se ajustam à persistência do ciclo de 24 horas.

Outro fato é que a presença (ou ausência) de fenômenos da grande escala altera sensivelmente as características do sinal, quer seja em frequência ou amplitude. A TO revelou características relevantes de trocas energéticas, sazonalidade e intensidade. Os núcleos mais intensos de energia estão ligados às maiores amplitudes do sinal, que são amplificados na presença de transientes de baixa frequência.

Referências

- Bolzan, M. J. A. 2004. Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 26(1): 37– 41.
- Bolzan, M. J. A. 2006. Transformada em Ondeletas: Uma necessidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 28(4): 563-567.
- Cabús, R. C. 2002. Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminances in North – East Brazil. Tese (PhD em Arquitetura) – School of Architectural Studies - Universidade de Sheffield, 288p.
- Cavalcanti, I. F. A. 1982. Um estudo sobre as interações entre os sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 133p.
- Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Kousky, V. E. 1982. Análise de um caso de atividade convectiva associada as linhas de instabilidade na região Sul e Sudeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2. Pelotas. Anais... Rio de Janeiro: SBMET, p. 67–87.
- Chierice, R. A. F. 2003. O uso de wavelets na determinação do expoente de Hurst de uma série temporal diária de chuvas do município de Araras-SP de 1955-2000. 2003. Dissertação (Mestrado em Física) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 271p.
- Farge, M. 1992. The Wavelet Transform and its Applications to Turbulence. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 24: 395-457.
- Ferreira, N. J.; Chan, C. S.; Satyamurty, P. 1990. Análise dos distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6, Salvador. Anais... Salvador: SBMet. CD-ROM.
- Figuereido, J. O. G. R. 2002. Distribuição espacial da pluviometria em Alagoas com ênfase à variabilidade causada pelos padrões de temperatura da superfície do mar. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, 112p.
- Gandu, G. V. M. W. 1996. Análise de distúrbios ondulatórios de leste que afetam o Nordeste Brasileiro: um estudo de caso. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9, Campos do Jordão. Anais... Campos do Jordão: SBMet, CD-ROM.
- Holanda, S. C.; Gomes Filho, M. F.; Fedorova, N.; Gomes, H. B. 2006. Transformada Wavelet aplicada a análise de dados horários de vento a superfície para o AZP/AL. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, Florianópolis. Anais... Florianópolis: SBMet, CD-ROM.
- Kousky, V. E. 1979. Frontal influences on northeast Brazil. *Monthly Weather Review*. 107: 1142-1153.
- Kousky, V. E. 1980. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*. v.108: 488-498.
- Lemes, M. A. M.; Ferreira, A. D.; Rodrigues, L. R. L. 2006. Variabilidade intra-anual do vento para a cidade de Maceió, AL, Brasil, em 2004: Caracterização da brisa. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, Florianópolis. Anais... Florianópolis: SBMet, 2006. CD-ROM.
- Molina, A. L. B. 2006. Identificação de sinais de RADAR pulsados por meio de Transformada de Wavelet Contínua e Redes Neurais Artificiais. Dissertação de (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Tecnologia – UnB, 94p.
- Oliveira, A. M. 1993. Advection and dispersion processes in a coastal lagoon system: Mundaú-Manguaba, Brazil. Tese (PhD em Oceanografia) - Universidade da Carolina do Sul, 131p.
- Ramirez, M. C. V. 1996. Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos de altos níveis no Nordeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 109p.

Servain, J.; Lukas, S. 1990. Climatic Atlas of the Tropical Atlantic Wind Stress and Sea Surface Temperature 1985-1989. Service de la Documentation et des Publications (S.D.P.), IFREMER, Plouzané, France. 133p.

Torrence, C.; Compo, G. P. 1998. A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the American Meteorological Society. 79(1): 61-78.

Zdunkowsky, W.; Boot, A. 2003. Dynamics of the atmosphere: A Course in the Theoretical Meteorology. Cambridge University Press, 719p.