

IDENTIFICAÇÕES DAS OSCILAÇÕES ATMOSFÉRICAS RELEVANTES AO POTENCIAL EÓLICO EM AL

Sandro Correia de Holanda¹, Natalia Fedorova², Heliofábio Barros Gomes², Rosiberto Salustiano da Silva Júnior²
sandrocholanda@gmail.com

¹CECA/UFAL

²ICAT/UFAL

ABSTRACT

The preliminary knowledge of the wind variability is indispensable for estimating the wind energy potential of an area. Thus, for the development of this study were used wind data provided by INMET which were analyzed aiming identify atmospheric oscillations that contribute most to the variability of wind and also the wind potential in Alagoas-AL. Thus, to arrive these aims wavelet transform and the frequency distribution analysis were the tools used. The main results of this research showed that the predominant direction of winds vary between the northeast and southeast. Furthermore, it was found that trade winds and the daily cycle are the elements that contributed most to the wind energy.

Key-words: wind, variability, energy.

RESUMO

O conhecimento dos regimes dos ventos é de fundamental importância para estimar o potencial eólico de uma região. Sendo assim, para desenvolver esta pesquisa foram utilizados dados de velocidade e direção dos ventos coletados por uma estação automática do INMET instalada no campus da UFAL. Estes dados foram analisados com o objetivo de identificar e caracterizar as oscilações atmosféricas que mais contribuem para a variabilidade do vento e para o potencial eólico da área de estudo em Alagoas-AL. Para alcançar os objetivos foram feitas as distribuições de frequências das velocidades e da direções predominantes dos vento e, em seguida, a análise espectral com o uso da transformada em ondeletas TO. Os principais resultados mostraram que as direções predominantes dos ventos variaram entre o sudeste e o nordeste. Além disso, foi constatado que o ciclo diário atua em conjunto com ventos alísios e são os elementos que mais contribuem para a energia do vento e para o potencial eólico.

Palavras-Chaves: vento, variabilidade, energia.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento cada vez maior dos parques industriais e das cidades demandam cada vez mais a geração de energia elétrica. No mundo uma das alternativas que tem crescido bastante é a captação de energia dos ventos que é limpa e renovável. Atualmente, a China e os Estados Unidos da América possuem a maior capacidade instalada para geração de energia eólica no ranking mundial. Enquanto que na América Latina, o Brasil está na frente do ranking com 4,7 GW de capacidade total instalada passando a ser o 13º colocado no ranking mundial (WWEA, 2014). Contudo, antes executar projetos de implementação de parques eólicos é extremamente necessário realizar estudos prévios sobre os regimes dos ventos e os sistemas meteorológicos que atuam na região com a finalidade de maximizar a capacidade de geração de energia do vento e minimizar os riscos. O conhecimento da variabilidade do vento é de grande importância aos estudos do potencial eólicos de uma região (Da Silva, J.K.A, 2007). Por sua vez, sabemos que o vento é uma variável de difícil previsão, pois a sua variabilidade está relacionada a processos dinâmicos e termodinâmicos.

Neste sentido, para observar o regime dos ventos no estado brasileiro de Alagoas-AL foi feita uma análise da distribuição horária das frequências da velocidade e da direção dos ventos, onde foi possível observar o período em que as velocidades são maiores, bem como a direção predominante. Bernardo, et. al. (2002), após estudar a potência eólica da direção predominante do vento no Nordeste do Brasil, constatou que os ventos são predominantemente de sudeste.

Neste trabalho a transformada em ondas TO foi a ferramenta utilizada para caracterizar e identificar as oscilações atmosféricas de maiores energias associadas ao vento. De modo que os espectros globais de energias, também conhecidos como Global Wavelets Spectrum GWS, filtraram as escalas de frequências de maiores energias totais acumuladas durante todo o período de análise dos dados de vento. Por outro lado, os escalogramas mostraram a variabilidade do espectro de energia localizada no tempo, ao nível de significância de 10% que é representado pelo cone de influência. Vale ressaltar que a TO foi inicialmente utilizada para a análise de sinais sísmicos na geofísica (Morlet, 1983).

Dentro dos principais resultados deste trabalho ficou evidente que as oscilações do ciclo diário e as oscilações Madden-Julian OMJ (Madden and Julian, 1971), apresentaram as maiores energias espectrais, de modo que estas oscilações foram as que mais contribuíram significativamente para a variabilidade do vento e, conseqüentemente, para o potencial eólico da região.

Os resultados apresentados pelos espectros de energias foram ponderados pela significância de 10%, onde a hipótese nula H_0 do teste qui-quadrado foi representada pelo ruído vermelho.

Um dos objetivos deste trabalho consistiu em caracterizar a variabilidade da velocidade e da direção do vento. Enquanto que a análise espectral teve o objetivo de filtrar as oscilações com maiores energias significantes e cujas informações possam ser úteis aos estudos do potencial eólico da região.

2. DADOS E METODOLOGIA

2.1 DADOS

Os dados de velocidade e direção do vento utilizados neste trabalho foram coletado por uma estação meteorológica automática de responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia INMET no período entre 01/01/2009 até 05/10/2010. A estação automática é mantida dentro da Universidade Federal de Alagoas UFAL localizada na Latitude (-09,551168°) e Longitude (-35,770195°) que fica situada na região metropolitana da cidade de Maceió no estado brasileiro de Alagoas a 84 metros de altitude e distante cerca de 20 km da faixa litorânea que é banhada pelo oceano atlântico.

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 TRANSFORMADA EM ONDELETAS (TO)

Em geral, o estudo de sinais não-estacionários (sinal atmosférico) exige a utilização de técnicas matemáticas robustas de análise para poder observar, caracterizar e compreender os fenômenos atmosféricos que estão atuando. Nesta perspectiva, a Transformada em Ondeletas TO foi aplicada aos componentes zonal e meridional do vento a fim de filtrar as maiores energias espectrais significantes e poder identificar as oscilações geradas por sistemas atmosféricos que agem na região de tabuleiro costeiro de onde foram coletados os dados.

Para o desenvolvimento desta trabalho utilizou-se como ondeleta mãe a função Morlet, a qual constitui uma onda plana de frequência modulada por um envelope gaussiano de largura unitária bastante semelhante ao sinal meteorológico (Vitorino, 2003). Por sua vez, a TO é uma operação definida na forma

$$Wf(t-b, a) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\psi(t-b, a)dt \quad (1)$$

de modo na equação 1 $f(t)$ representa a série temporal dos dados originais e $\psi(t-b, a)$ é a função ondeleta morlet já normalizada imbuída dos coeficientes de escala (**a**) e posição (**b**) sendo definida pela equação 2 abaixo

$$\Psi(t-b, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \pi^{-1/4} e^{i w_0 \frac{(t-b)}{a}} e^{-\frac{(t-b)^2}{2a}} \quad (2)$$

onde o vetor de onda adotado é $w_0=6$ que é a condição necessária para que o período de oscilação seja equivalente a escala (Morlet, 1983). É importante ressaltar que a normalização é feita para que as escalas possam ser comparáveis umas com as outras e para que a transformada em ondeletas tenha energia unitária (Alcântara, 2007). Por sua vez, a energia de ondeleta é calculada pela equação 3.

$$E = [\Psi_{a,b}]^2 \quad (3)$$

É salutar observar que neste trabalho foi usado apenas a parte real dos coeficientes de ondeletas. Embora, na busca dos objetivos deste trabalho, caso fosse usado também a parte imaginária dos coeficientes os resultados seriam equivalentes.

O cálculo do espectro global de energia, conhecido como Global Wavelets Spectrum **GWS** nas diversas escalas e efetuado ao somar toda a energia (variância) associada a cada escala (período) que é definido pela equação 4.

$$GSW(t-b, a) = \int [W_{t-b,a}]^2 dt \quad (4)$$

É importante salientar que o espectro global de energia **GWS** foi ponderado pela significância estatística de 10%, onde a Hipótese nula **H₀** para a significância estatística foi associada a existência de ruído vermelho. O teste de significância utilizado foi o qui-quadrado de modo que a energia do ruído vermelho cresce com o decrescimento da frequência de oscilação delimitado pelo cone de influência dos escalogramas.

2.2.2 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA

Para a análise da variabilidade horária da frequência da magnitude do vento os dados foram filtrados a fim de separar as faixas típicas de magnitudes e direções do vento.

	Calmaria	Bafagem	Aragem	Brisa Fraca	Brisa Moderada	Brisa Fresca
Nós	<1	1 - 3	4 - 6	7 - 10	11 - 16	17 - 21
m.s ⁻¹	<1	1 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 9	9 - 11

TABELA I: Classificação na escala Beaufort para a velocidade do vento.

Neste estudo as informações sobre a variabilidade horária na magnitude do vento resultaram da contagem de sua frequência considerando a faixa de classificação da força do vento na escala Beaufort como mostrado na tabela I.

Por outro lado, a distribuição de frequência de direção anual do vento foi o resultado da contagem de suas frequências considerando as direções predominantes classificadas de acordo com a tabela II.

Código	Denominação	Faixa de direção
D1	Norte-Nordeste	356° - 54°
D2	Nordeste-Leste	55° - 94°
D3	Leste-Sudeste	95° - 144°
D4	Sudeste-Sul	145° - 184°
D5	Sul-Sudoeste	185° - 234°
D6	Sudoeste-Oeste	235° - 274°
D7	Oeste-Noroeste	275° - 324°
D8	Noroeste- Norte	325° - 355°

TABELA II: Classificação usada para determinar a direção predominante do vento

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 VENTO RESULTANTE.

A variabilidade na magnitude e na direção do vento é determinada pelas atuações de diversos fenômenos e sistemas atmosféricos os quais serão melhores discutidos mais adiante. Analisando a figura 01a constata-se que os ventos mais intensos como as brisas fraca, moderada e fresca ocorrem mais frequentemente no período diurno, entre aproximadamente, 07hs e 19:30hs, no horário em que as temperaturas estão mais altas. Por outro lado, no período noturno os ventos mais fortes são menos frequentes e dão lugar aos ventos mais fracos como a calmaria e a bafagem. Isso mostra que a energia solar tem um papel fundamental na variabilidade dos ventos criando um gradiente horizontal de temperatura entre o continente e o oceano.

Com relação à direção do vento, constatou-se que os ventos sopram mais frequentemente das direções D2 e D3 as quais juntas representam cerca de 55% do total da frequência relativa observada. Ou seja, os ventos sopram predominantemente de direções entre o nordeste e o sudeste. Sendo os ventos de sudeste, com 28% de frequência relativa, um pouco mais frequentes do que os de nordeste, com 27% de frequência relativa (Figura 01b).

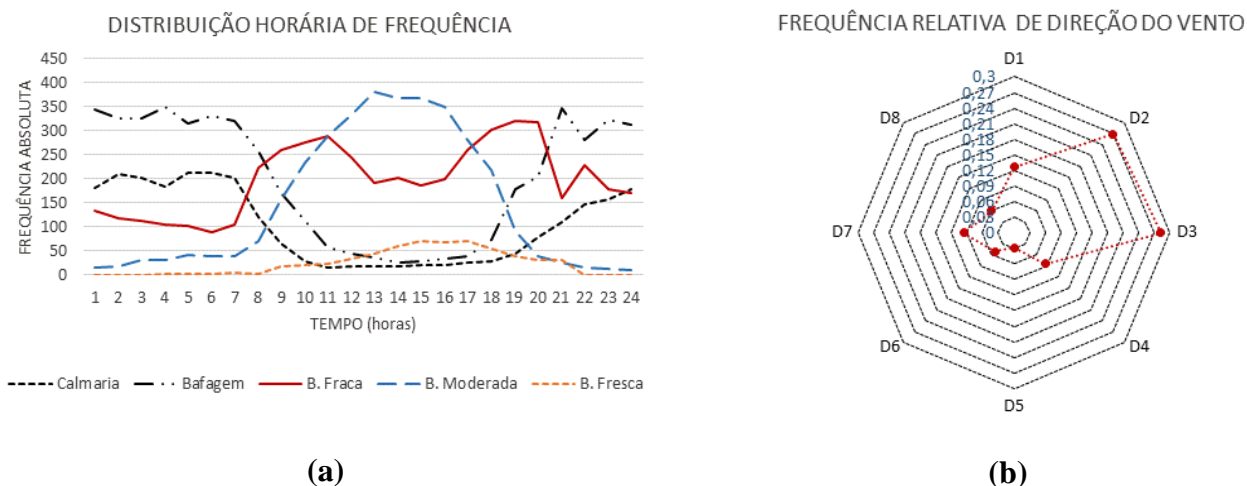


FIGURA 01: (a) Distribuição horária da frequência de magnitude do vento classificada de acordo com a tabela I e (b) Frequência relativa anual de direção do vento classificada de acordo com a tabela II.

Todas as informações reunidas até aqui indicam que o sistema de brisa marítima e terrestre atuam em conjunto com os ventos alísios e são os principais elementos que contribuem para a variabilidade do vento e, conseqüentemente, para o potencial eólico da região.

Em resumo o sistema de brisa marítima e terrestre que são produzidos pelo diferencial térmico entre o continente o oceano atlântico parece modular a variabilidade na magnitude e na direção do vento resultante na área de estudo. O papel modulador atribuído ao sistema de brisas foi também observando através dos espectros globais de energias e dos escalogramas das energias espectrais localizadas no tempo, os quais serão discutidos mais adiante, com o auxílio da TO.

3.2 ANÁLISE ESPECTRAL GLOBAL E LOCALIZADA NO TEMPO

Para facilitar o entendimento dos resultados dos espectros globais de energia GWS os picos de energias com 10% de significância foram numerados desde o (pico 1) até o (pico 3) os quais estão relacionados à sistemas atmosféricos específicos, tais como: Ciclo Diário (**pico 1**), Vórtices

Ciclônico em Altos Níveis VCAN's e Ondas de Leste OL (**pico 2**), Oscilações Madden-Julian OMJ (**pico 3**).

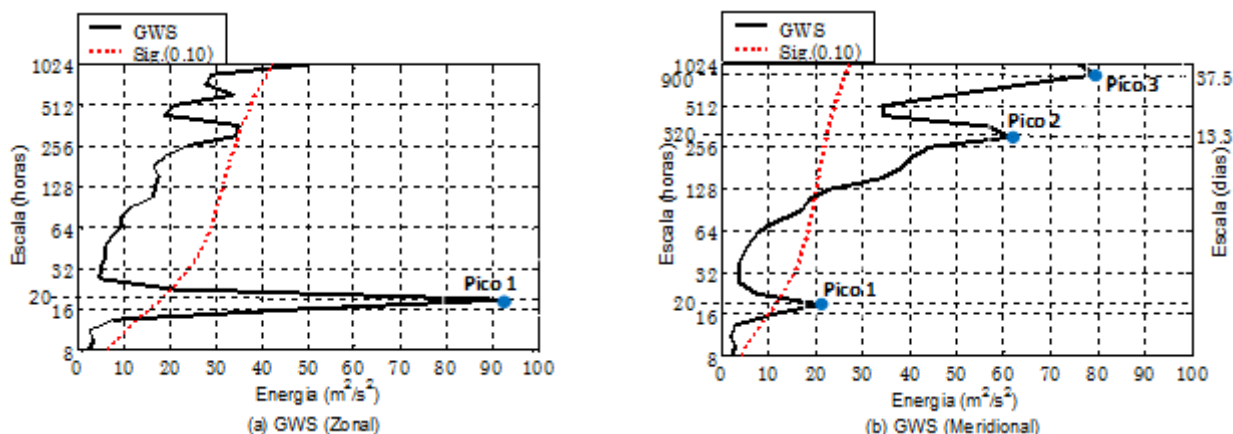


FIGURA 02: Escalas de frequências dos espectros globais de energias GWS (linha preta) ao nível de significância de 10% (linha vermelha) para as componentes do vento (a) Zonal CZ e (b) Meridional CM.

A figura 02 apresenta os espectros globais de energia GWS da velocidade do vento considerando todo o período de análise dos dados, onde os eixos verticais tratam das escalas de frequências e os eixos horizontais mostram as energias das componentes zonal e meridional dos ventos, cujas informações mais importantes foram reunidas e detalhadas na tabela III.

Picos Máximos de Energia Espectral do Vento (m^2/s^2)	Componente Zonal (CZ) (Escala de frequência)	Componente Meridional (CM) (Escala de frequência)	Sistemas Associados e Referências
(Pico 1)	≈ 20horas ($93m^2/s^2$)	≈ 20horas ($22 m^2/s^2$)	Ciclo diário (Brisas) (Holanda, 2009)
(Pico 2)	NOB	≈ 13dias ($62 m^2/s^2$)	VCAN's / OL (Vitorino, 2003)
(Pico 3)	NOB	≈ 37dias ($80m^2/s^2$)	OMJ (Madden-Julian, 1971)

TABELA III: Picos Máximos de Energias, ao nível de significância estatística de 10%, associados à sistemas atmosféricos com base nas Análises de dados horários do vento para as Componentes Zonal e Meridional do vento à superfície considerando toda a ST. Os valores dentro dos parênteses representam aproximadamente as energias medidas em (m^2/s^2) para cada escala do espectro de frequência. NOB, significa não observado.

Observando a tabela III, a qual resume as informações mais importantes contidas na figura 02, verifica-se que apenas o picos 1 aparece em ambas as componentes zonal e meridional do vento do

espectro global. Por outro lado, o picos 2 e o pico 3 são observados apenas na componente meridional do vento considerando a significância estatística de 10%.

O (pico 1) no GWS apresenta maior energia para a componente zonal ($\approx 93\text{m}^2/\text{s}^2$) quando comparado com a energia da componente meridional ($\approx 22\text{m}^2/\text{s}^2$). Isso ocorre devido a atuação do sistema de brisa marítima que intensifica o vento zonal (Tabela III). Como consequência, os escalogramas mostram que as oscilações do ciclo diário (pico 1) que está na escala de frequência de 20h aparecem com melhor definição localmente no tempo para a componente zonal, se comparada a componente meridional (Figuras 03a e 03b).

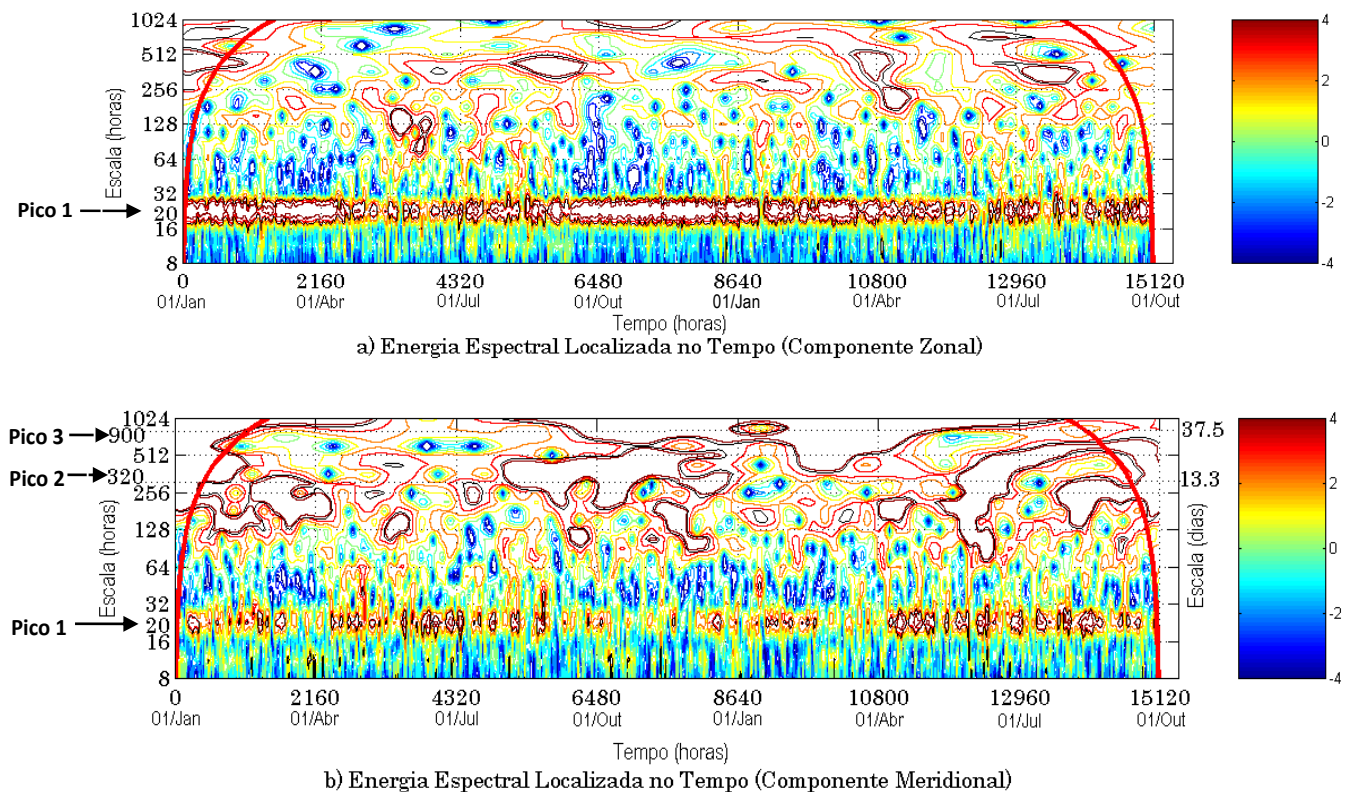


FIGURA 03: Escalogramas das energias espectrais localizadas no tempo nas escalas de frequências horárias para os ventos (a) zonal e (b) meridional. Cone de influência com 10% de significância (linha vermelha).

Todas estas informações indicam que o sistema de brisas (ciclo diário) somados aos ventos alísios são os elementos mais contribuem para o potencial eólico da área de estudo, pois ocorrerem durante todos os dias do ano com grande energia significante.

Por outro lado, o pico 2 que está relacionado as atuações dos (VCAN's e OL) com energia de ($\approx 62\text{m}^2/\text{s}^2$) assim como o pico 3 que está relacionado às (OMJ) com energia de ($\approx 80\text{m}^2/\text{s}^2$), ocorrem

nas escalas de frequências de (≈ 13 dias) e (≈ 37 dias), respectivamente, sendo observados apenas para a componente meridional do vento com 10% de significância (Tabela III e Figura 02b). Os picos 2 e 3 apesar de influenciar à variabilidade do vento apresentam menores contribuições ao potencial eólico se comparado com o pico 1 (ciclo diário), devido a sua baixa frequência de ocorrência durante o ano (Tabela III).

Em resumo, pudemos observar que os picos 1, 2 e 3 em conjunto contribuem, com significância estatística de 10%, para a variabilidade do vento. Contudo apenas o pico 1 associado ao ciclo diário, apresenta a maior energia espectral (Tabela III). Sendo assim, o pico 1, associado ao sistema de brisas (ciclo diário) somado ao ventos alísios são os elementos que mais contribuem para a energia do vento e para o potencial eólico.

4. CONCLUSÕES

Com base nos estudos da distribuição de frequência e dos espectros de energia do vento para a região de tabuleiro costeiro em Alagoas (AL) pode-se concluir que:

- As brisas marítimas e terrestres modulam a variabilidade do vento na região de tabuleiro costeiro em AL.
- Os maiores velocidades dos ventos são mais frequentemente observadas no período diurno entre 07:00hs e 19:30hs.
- Em AL os ventos sopram predominantemente de sudeste com, aproximadamente, 28% de frequência relativa, seguida da direção nordeste com aproximadamente, 27% de frequência relativa. Ou seja, as direções predominantes dos ventos variam entre o nordeste e o sudeste.
- O ciclo diário (pico 1) atuando em conjunto com os ventos alísios são os elementos que mais contribuem para o potencial eólico devido as suas grandes energias espectrais observadas.

AGRADECIMENTOS: Ao INMET e ao ICAT/UFAL pelo fornecimento dos dados. Aos organizadores do CONGREGMET XII.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E. H., 2007: Análise da turbidez na planície de nundação de curuaí (PA, Brasil) integrando dados telemétricos e imagens modis/terra. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos-SP.

BERNARDO B. DA SILVA, JAKSON J. A. ALVES, ENILSON P. CAVALCANTI, RENILSON T. DANTAS, 2002: Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. Rev. bras. eng. agrícola e ambiental, vol.6, n.3, p.431-439.

DA SILVA, J. K. A., 2007: Caracterização do Vento e Estimativa do Potencial Eólico para a Região de Tabuleiros costeiros (Pilar, Alagoas), Dissertação de Mestrado, UFAL/CCEN, Maceió-AL.

HOLANDA, S.C., 2009: Análise espectral e em componentes principais: uma visão conjunta à identificação e caracterização de oscilações e ruídos no AZP-AL. Tese de Doutorado, UFCG, Campina Grande-PB.

MORLET, J., 1983: Sampling theory and wave propagation. Springer.

MADDEN, R. A. e JULIAN, P. R., 1971: Detection of a 40-50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific. J. Atmos. Sci., v. 28, p. 702-708.

VITORINO, M. I., 2003: Análise das oscilações intrasazonais sobre a América do sul e oceanos adjacentes utilizando a análise de ondeletas. Tese de doutorado, INPE, São José dos Campos-SP.

Page, WWEA. Disponível em: <<http://www.wwindea.org>> Acesso em 06 de novembro de 2014.