

ESTUDO DE CASO DO EVENTO DE BAIXA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA EM 2009 NO NORDESTE BRASILEIRO: POSSÍVEIS INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS REGIONAIS

Mônica Nassar Machuca, monica@machuca.com.br¹

Isadora Limas Coimbra, isadoralimas@gmail.com¹

Reinaldo Haas, reinaldohaas@gmail.com¹

Yoshiaki Sakagami, sakayoshi@gmail.com²

Júlio César Passos, julio.passos@ufsc.br¹

Eduardo Victor Dias, eduardo.dias@atlanticenergias.com.br³

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, LEPTEN - Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia, Trindade, Florianópolis - SC, 88040-900,

²Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento Acadêmico de Saúde e Serviços, Av. Mauro Ramos, 950 - Centro, Florianópolis - SC, 88020-300,

³Atlantic Energias Renováveis S.A., Alameda Dr. Carlos de Carvalho, 555 - Centro, Curitiba - PR, 80430-210.

Resumo: O ano de 2009 foi caracterizado por altas precipitações, baixas velocidades do vento e consequente baixa geração de energia eólica no Nordeste Brasileiro. O objetivo deste trabalho foi analisar a velocidade do vento em 2009 no Complexo Eólico de Morrinhos/BA, relacionando suas variações com possíveis influências climáticas regionais de Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar e modulação interanual da Zona de Convergência Intertropical. Adicionalmente, o ano de 2012 foi utilizado como referência a fim de descartar a possível influência do fenômeno global El-Niño/Oscilação Sul. Neste trabalho, as análises foram feitas utilizando dados de Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar da National Centers for Environmental Prediction, dados de precipitação do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission e dados de velocidade do vento medidos em uma torre anemométrica do Complexo Eólico. Através dos dados de Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar, verificou-se a ocorrência de um Dipolo do Atlântico negativo de final de janeiro a meados de junho de 2009. Este fenômeno foi responsável pelo deslocamento e maior permanência da Zona de Convergência Intertropical na costa do Nordeste Brasileiro durante o primeiro semestre de 2009, fator que causou chuvas significativas e ventos fracos na região, verificados pelos dados de precipitação e observacionais no Complexo Eólico de Morrinhos. Por outro lado, em 2012, o dipolo não ocorreu e não foram observadas ocorrências significativas de chuvas associadas a ventos fracos em seu primeiro semestre. A velocidade do vento no primeiro semestre foi 13,6% menor em 2009 comparado com o mesmo período de 2012, apontando para a influência do dipolo negativo sobre a região. Ainda, em 2009 e 2012, a maior velocidade média mensal do vento ocorreu no segundo semestre, em agosto, atingindo 15,7% e 13,3% a mais que a média anual, respectivamente. Estima-se que isto tenha como causa a localização da Zona de Convergência Intertropical, que alcançou sua posição mais ao Norte, 14°N, durante o mesmo período. Em ambos os anos, no final do segundo semestre foi verificado um mês de alta precipitação acumulada e baixa velocidade média do vento, caso que não pôde ser explicado pela posição da Zona de Convergência Intertropical e deve ser abordado em outros estudos.

Palavras-chave: Modulação da ZCIT, Nordeste Brasileiro, Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar, Precipitação, Energia Eólica

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está atualmente em 8º lugar em capacidade eólica mundial instalada (GWEC, 2017), com mais de 500 parques eólicos (ABEEólica, 2018) somando 12,95 GW (ABEEólica, 2017). Destes parques, mais de 80% estão situados no Nordeste Brasileiro (NEB), sendo responsáveis por cerca de 84% da capacidade instalada no país (ABEEólica, 2018). Nos últimos anos, a Energia Eólica vem batendo recordes de geração no Brasil, no dia 14 de setembro de 2017, 64% do consumo de energia do Nordeste foi suprido pelos parques eólicos da região; já em 16 de julho do mesmo ano, 12,6% da energia do Sistema Interligado Nacional (SIN) foi fornecida pela eólica (ABEEólica, 2018).

Entretanto, em 2009 ocorreu um fenômeno anômalo nos parques do Nordeste, onde velocidade média do vento se mostrou muito abaixo da média nos meses de março, abril e maio (MAM) (ONS, 2009). Ainda, nesta mesma época,

diversos desastres provocados pelas fortes chuvas foram observados na região (CPTEC, 2009). Verifica-se na literatura uma carência de estudos na área de energia eólica relacionados a estes fenômenos anômalos, suas intensidades e frequências, bem como os mecanismos físicos aos quais estão associados. Ressalta-se, assim, a importância de análises e investigações dos fenômenos climáticos globais e regionais que afetam o regime de ventos do NEB, as quais permitem uma melhor previsão das tendências sazonais do vento e uma maior confiabilidade na produção de Energia Eólica.

A alegação de que há uma correlação inversa entre chuva e vento no Nordeste Brasileiro abre uma nova frente de pesquisa em eólica, uma vez que estudos sobre a dinâmica do vento são raros nessa região, embora estudos relacionados às chuvas sejam mais frequentes (Hastenrath e Greischar, 1993a; Xavier *et al.*, 2000; Hastenrath, 2006 e Lira *et al.*, 2017). Estas pesquisas geralmente são relacionadas a fenômenos globais, como El Niño-Oscilação Sul - ENOS (World Meteorological Organization, 2014) e Zona de Convergência Intertropical - ZCIT (Waliser e Gautier, 1993), e regionais, como Distúrbios Ondulatórios de Leste (Cavalcanti *et al.*, 2009), Dipolo do Atlântico (Pezzi e Cavalcanti, 2001), entre outros. Desta forma, este estudo de caso visa a analisar a velocidade do vento em 2009 e 2012 no Complexo Eólico de Morrinhos, investigando as possíveis influências de fenômenos globais e regionais em sua variação. A motivação deste trabalho provém do primeiro semestre de 2009, em que ocorreram chuvas fortes, ventos fracos e consequente baixa geração de energia nos parques eólicos da região. Adicionalmente, busca-se mostrar a importância destes estudos para a previsão sazonal de geração de energia eólica.

2. METODOLOGIA

2.1. Fenômenos Globais

Objetivando estudar mecanismos climáticos regionais para explicar a variação do vento em 2009, foi escolhido para comparação o ano de 2012, pelo fato de ambos terem sido influenciados pelo fenômeno global ENOS de similar intensidade. Esta decisão foi tomada com base nos dados do Multivariate ENSO Index (MEI) da Tab. 1 (NOAA, 2018a). Esta tabela mostra os valores mensais de MEI que são calculados a partir de seis variáveis meteorológicas (pressão na superfície do mar, vento superficial zonal e meridional, temperatura da superfície do mar, temperatura do ar próximo à superfície e fração total de nebulosidade do céu). Este histórico de valores é ordenado, desde 1950, de forma crescente para cada mês. O valor mais baixo do ranking MEI (1) denota o caso mais forte de La Niña, enquanto o valor mais alto (68 ou 69) denota o caso mais forte de El Niño (NOAA, 2018a).

Utilizando os 30% menores e maiores valores no ranking para definir respectivamente os eventos de La Niña e El Niño, estes são rotulados em Fraco (20-30% e 70-80%), Moderado (10-20% e 80-90%) e Forte (0-10% e 90-100%). Ainda, os meses com valores entre 30% e 70% no ranking são definidos como Neutros (NOAA, 2018). Com isso, pode ser verificado que em ambos os anos (2009 e 2012) ocorreu a transição de uma La Niña fraca para um período Neutro e posterior El Niño fraco/moderado a partir de junho.

Os eventos de ENOS influenciam no regime de chuvas do Nordeste, em que fortes fenômenos de La Niña (El Niño) causam chuvas (secas) no NEB (Hastenrath, 2006 e Cavalcanti *et al.*, 2009). Dado que os eventos de ENOS ocorridos no primeiro semestre dos dois anos em análise foram muito similares e o ano de 2012 não registrou baixas velocidades de vento como em 2009, presume-se que a baixa geração eólica no Nordeste Brasileiro não tenha sido causada pelo ENOS, e sim por outro(s) fenômeno(s) climático(s). Assim, foi utilizada como hipótese inicial deste estudo, a desconexão entre o ENOS e a baixa velocidade do vento e consequente baixa produção de energia eólica no NEB durante o primeiro semestre de 2009.

Tabela 1. Multivariate ENSO Index para os anos de 2009 e 2012 (NOAA, 2018a).

	Valores MEI		Ranking MEI		Análise MEI	
	2009	2012	2009	2012	2009	2012
Janeiro	-0,726	-0,993	17	13	La Niña Fraca	La Niña Moderada
Fevereiro	-0,707	-0,695	16	18	La Niña Fraca	La Niña Fraca
Março	-0,723	-0,398	15	22	La Niña Fraca	Neutro
Abril	-0,105	0,112	24	34	Neutro	Neutro
Maio	0,328	0,769	38	53	Neutro	El Niño Fraco
Junho	0,779	0,866	48	52	El Niño Fraco	El Niño Fraco
Julho	1,06	1,128	59	60	El Niño Moderado	El Niño Moderado
Agosto	1,073	0,628	60	47	El Niño Moderado	Neutro
Setembro	0,745	0,351	50	42	El Niño Fraco	Neutro
Outubro	0,924	0,097	53	36	El Niño Fraco	Neutro
Novembro	1,121	0,125	57	38	El Niño Moderado	Neutro
Dezembro	1,045	0,094	56	37	El Niño Moderado	Neutro

Além do ENOS, outro importante fenômeno climático global que influencia o NEB é a ZCIT, uma região ao redor do Equador, onde ocorre o encontro dos ventos alísios provenientes dos Hemisférios Norte e Sul (World Meteorological Organization, 2014 e Mendonça e Danni-Oliveira, 2007). Esta zona está localizada na região de máximos valores de

Temperatura da Superfície do Mar (TSM), máxima convergência de massa, máxima banda de nuvens convectivas, baixas velocidades do vento, entre outros (Cavalcanti *et al.*, 2009 e Grodsky e Carton, 2003), sendo considerada o sistema mais importante causador de chuvas ao longo do Equador (Waliser e Gautier, 1993). Sua localização varia tanto ao longo do ano, segundo o movimento aparente do sol (Cavalcanti *et al.*, 2009; Mendonça e Danni-Oliveira, 2007 e Nimer, 1989), quanto interanualmente, de acordo com outros fenômenos climáticos, como os eventos do ENOS (Hastenrath, 2006 e Berry e Reeder, 2014) e fenômenos relacionados à TSM (Chiang *et al.*, 2002). A ZCIT possui um ciclo anual bem definido e, geralmente, se posiciona na latitude limite de 14°N entre os meses de agosto e setembro, posteriormente iniciando sua trajetória para o Hemisfério Sul (HS), atingindo uma latitude mínima ao redor de 2°S em março/abril, (Cavalcanti *et al.*, 2009). Desta forma, a ocorrência de ventos calmos no NEB foi primariamente averiguada a partir da proximidade e influência da ZCIT sobre o Nordeste. A ZCIT teve sua localização determinada a partir de dados de precipitação acumulada maiores que 7 mm/d, estando este valor de acordo com o aplicado na literatura (Carvalho e Oyama, 2013).

2.2. Descrição dos Dados

Para investigar os possíveis fenômenos atmosféricos que afetaram a geração eólica em 2009, foram primeiramente utilizados dados de Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (ATSM). Estes são calculados em relação ao período base de 1971-2000 e apresentam resolução espacial de 1° x 1°. Tais dados são disponibilizados pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e pelo International Research Institute for Climate and Society (IRI) (IRI, 2018).

Dados de precipitação também foram analisados e obtidos pelo Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Estes são disponibilizados em totais diários, com resolução espacial de 0,25° x 0,25° (NASA, 2018), os quais foram posteriormente transformados em médias mensais, para possibilitar sua comparação com dados de velocidade de vento, e médias semanais, para comparação com os dados de ATSM.

A área escolhida para análise dos dados de precipitação e de ATSM foi entre 20°N e 20°S de latitude e 55°O e 0° de longitude, abrangendo desde a costa oeste da África até o NEB (Fig. 1). Desta forma, foi possível analisar os fenômenos climáticos que ocorreram no Oceano Atlântico e afetaram negativamente o vento do NEB no período investigado.

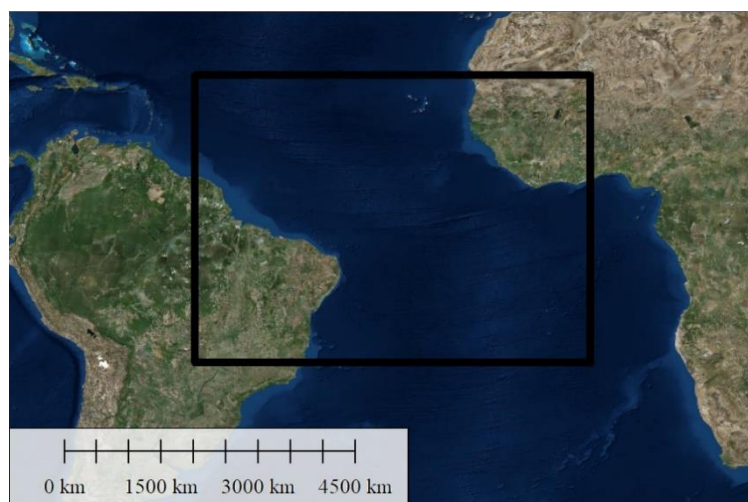


Figura 1. Domínio da análise. Fonte: ESRI, 2018 (modificado).

Além dos dados de precipitação e de ATSM, dados observacionais do Complexo Eólico de Morrinhos (CEM) também foram utilizados com o intuito de correlacionar a velocidade do vento medida com a atuação regional de fenômenos climáticos. O CEM pertence à Empresa Atlantic Energias Renováveis S. A. e está situado na cidade de Campo Formoso/BA em uma área de terreno complexo no interior do estado. Para este estudo, foram selecionados dados locais de velocidade de vento de 2009 e 2012 de uma de suas torres anemométricas. As medições foram obtidas por um anemômetro de copo localizado a 78 m de altura na torre, com frequência de aquisição de 1 s e armazenamento em médias de 10 min. Todos os dados de velocidade do vento foram consolidados e passaram por um procedimento de validação, para a exclusão de valores espúrios. Após este procedimento, as medições de velocidade do vento foram reduzidas em médias mensais para comparação com os dados de precipitação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Velocidade Média do Vento e Precipitação Acumulada Mensais nos Anos de 2009 e 2012

A Fig. 2 mostra a velocidade média mensal do vento medida em 78 m de altura em uma torre anemométrica do Complexo Eólico de Morrinhos e valores de TRMM da precipitação mensal acumulada, no ponto de grade mais próximo à localização da torre, ao longo de 2009 e 2012. Primeiramente, observa-se que em ambos os anos, meses com maiores índices de precipitações apresentaram menores velocidades médias do vento e vice-versa.

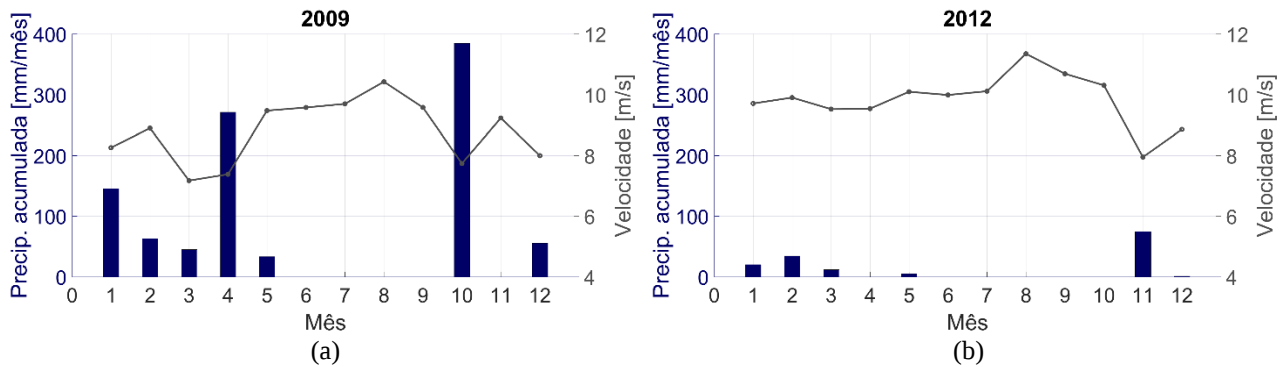


Figura 2. Velocidade média mensal observada em 78 m de altura na torre anemométrica do CEM e precipitação acumulada mensal (a) para o ano de 2009 e (b) para o ano de 2012.

Em 2009 e 2012, a maior velocidade média mensal registrada foi em agosto, o qual também foi um mês de seca na região (0 mm/mês). Em contrapartida, para 2009, as menores velocidades médias do vento foram observadas em março, abril e outubro os quais foram meses que apresentaram precipitações acumuladas de 45 mm/mês, 271 mm/mês e 385 mm/mês, respectivamente. Resultado semelhante também foi observado em 2012, onde o maior índice de precipitação anual ocorreu em novembro (74,5 mm/mês), sendo acompanhado de uma média mínima anual da velocidade do vento.

3.2. Análise do Primeiro Semestre de 2009 e 2012

O primeiro semestre do ano de 2009 foi marcado por um pico de precipitação no mês de abril no Complexo Eólico de Morrinhos, com valor acumulado igual a 271 mm/mês, bem como em grande parte do NEB (Fig. 3(a)). No entanto, tal ocorrência de grandes volumes de chuva na região não foi observada no mesmo período do ano de 2012 (Fig. 3(b)), o qual foi um mês seco no CEM.

Nos mapas da Fig. 3 pode ser observada uma grande faixa horizontal de precipitação acumulada, a qual representa a ZCIT. Nota-se que no NEB esta zona está localizada a aproximadamente 2°S em 2009 e 3°N em 2012, representando uma grande diferença latitudinal para o mesmo período de análise (abril). Em anos de modulação normal da ZCIT, esta atinge latitudes mínimas em março e abril, voltando a se direcionar para o Hemisfério Norte ainda em abril (Cavalcanti *et al.*, 2009). Entretanto, no ano de 2009, a ZCIT permaneceu sobre o NEB até meados de junho e foi responsável pelas altas precipitações e consequentes baixas velocidades do vento no primeiro semestre deste ano.

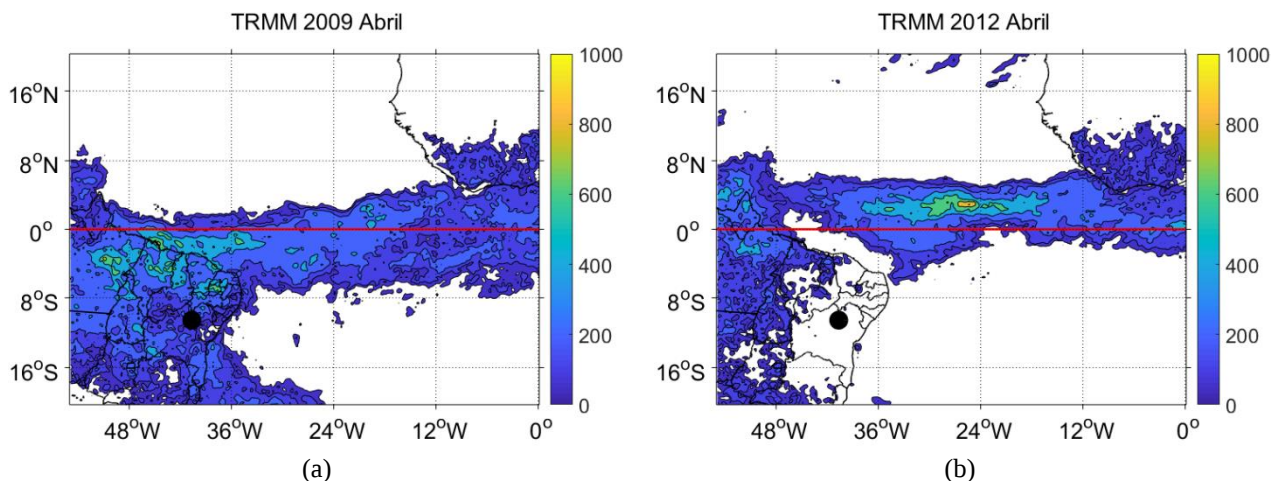


Figura 3. Mapas de precipitação acumulada mensal, em mm/mês, para (a) abril de 2009 e (b) abril de 2012. O círculo preto representa a localização do CEM e a linha vermelha a Linha do Equador.

Para averiguar a causa da maior permanência da ZCIT no Hemisfério Sul (HS), foram analisadas as Anomalias da Temperatura da Superfície do Mar no Oceano Atlântico Equatorial, em médias semanais, juntamente com dados de precipitação acumulada para o mesmo período. Tais mapas são mostrados na Fig. 4 para a última semana do mês de abril do ano de 2009 e 2012, o qual é um mês que faz parte da estação chuvosa da costa litorânea do NEB (março, abril e maio) (Pezzi e Cavalcanti, 2001).

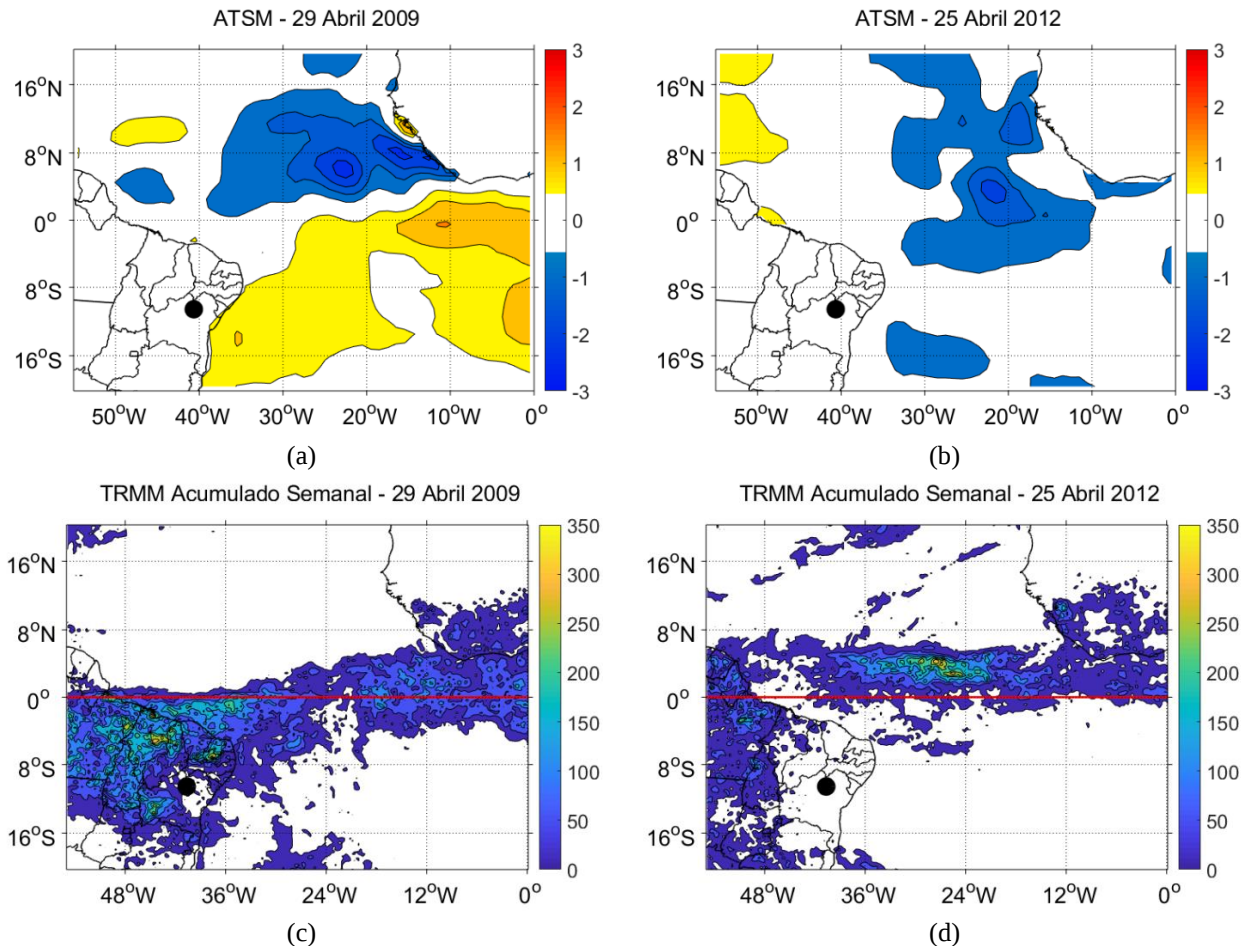


Figura 4. Mapas de Anomalia da TSM (superiores) em °C e precipitação (inferiores) em mm/mês, ambos em médias semanais para (a, c) 26/04 a 02/05 de 2009 e (b, d) 22/04 a 28/04 de 2012. O círculo preto representa a localização do CEM e a linha vermelha a Linha do Equador.

Como os mapas de ATSM são feitos continuamente ao longo dos anos, há um deslocamento do dia médio da semana entre os dois mapas, pelo fato dos anos não possuírem um número exato de semanas. Desta forma, a Fig. 4(a) apresenta dados médios centrados em 29 de abril de 2009, enquanto a Fig. 4(b), em 25 de abril de 2012. Através desses mapas, pode-se verificar a presença de uma anomalia negativa (em azul) da TSM do Oceano Atlântico no HN e uma positiva (em amarelo) no HS no ano de 2009, que perdurou desde o final de janeiro até meados de junho no Oceano Atlântico Equatorial. Este gradiente inter-hemisférico de anomalias da TSM é um fenômeno normalmente conhecido como “padrão de dipolo” ou “Dipolo do Atlântico” (Pezzi e Cavalcanti, 2001 e Wu *et al.*, 2005).

Em um dipolo negativo, a diminuição da temperatura no HN e o aumento da temperatura do HS são acompanhados de um maior gradiente de pressão superficial entre o norte e o sul (Hastenrath e Greischar, 1993b) e uma circulação atmosférica ascendendo no HS (sobre o Nordeste Brasileiro) e descendendo no HN (próximo a 10°N), enquanto o oposto ocorre em um dipolo positivo (Moura e Shukla, 1981). Assim, o padrão de dipolo negativo causa no HS uma intensificação da ZCIT, aumento da precipitação e ventos de superfície mais fracos (Hastenrath e Greischar, 1993 e Moura e Shukla, 1981). O Dipolo do Atlântico que ocorreu no primeiro semestre de 2009 foi negativo, ocasionando um deslocamento e maior permanência da ZCIT no HS, em latitudes próximas ao Nordeste Brasileiro, chegando a se situar ao redor de 4°S no início de abril, e sendo responsável pelas máximas precipitações e mínimas velocidades médias vistas na Fig. 1(a) no primeiro semestre do ano.

Em contrapartida, em 2012 não houve a ocorrência do Dipolo do Atlântico, onde tanto o Hemisfério Sul quanto o Norte apresentaram anomalias negativas de TSM. Portanto, a ZCIT ficou situada abaixo da Linha do Equador somente durante o mês de março, atingindo uma latitude mínima próxima de 1°S e voltando a realizar sua trajetória para o Hemisfério Norte em abril. Como consequência da proximidade desta zona de convergência, a média da velocidade do vento medida no CEM no primeiro semestre foi cerca de 13,6% menor em 2009 comparado com 2012 (Fig. 1).

Devido à relação mostrada entre o Dipolo do Atlântico e a geração de energia eólica no NEB, levanta-se a importância do monitoramento deste fenômeno, através da previsão da Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar. A ATSM pode ser verificada para um horizonte de previsão de até 90 dias, dependendo da fonte utilizada (NOAA, 2018b). Tal informação é útil para a indústria eólica do Nordeste Brasileiro, por possibilitar uma previsão sazonal mais precisa do comportamento do vento na região, influenciando positivamente o planejamento da operação e manutenção dos parques eólicos.

3.3. Análise do Segundo Semestre de 2009 e 2012

Tanto em 2009 quanto em 2012, conforme a zona de convergência se afasta do NEB, a velocidade do vento na torre atinge os maiores valores médios no ano, pela ZCIT ser uma região de ventos calmos. Em agosto e setembro de 2009, a posição latitudinal da ZCIT chega a atingir 12°N, o que faz com que os ventos atinjam velocidades mensais 15,7% e 7,6% acima da média para o ano, respectivamente. O mesmo ocorre no ano de 2012, onde a ZCIT chega a uma posição latitudinal boreal similar a 2009 nos mesmos meses, resultando em médias de velocidade do vento 13,3% e 7,5% maiores que a média anual para agosto e setembro.

Além dos picos de precipitação do primeiro semestre, explicados pela proximidade da ZCIT ao NEB, dois meses do segundo semestre também se destacam por alta precipitação acumulada e baixas velocidades do vento, outubro de 2009 e novembro de 2012 (Fig. 1). Para analisar estes meses, foram feitos mapas de precipitação acumulada trimestrais para a primavera do HS (setembro, outubro e novembro - SON), mostrados na Fig. 5.

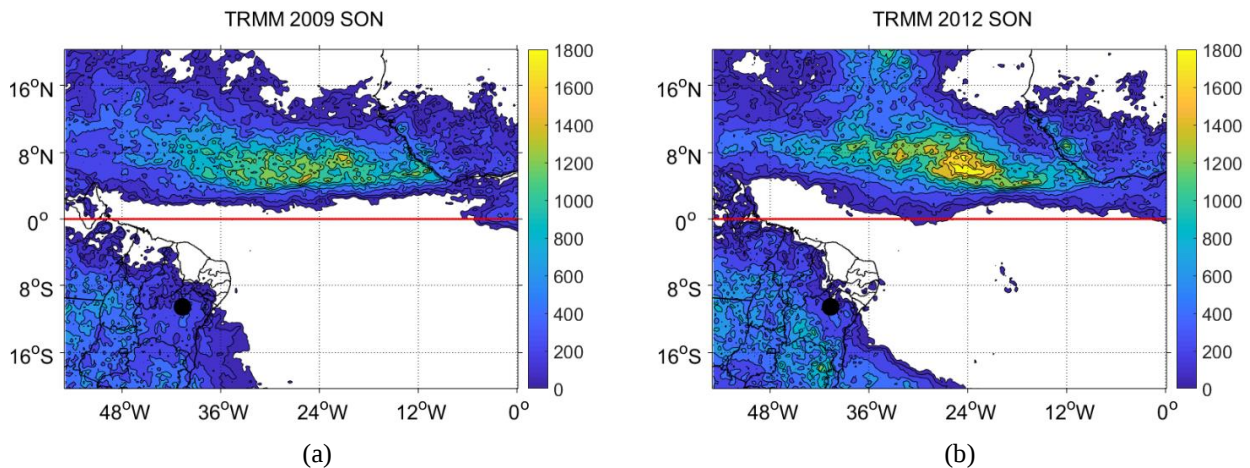


Figura 5. Mapas de precipitação acumulada, em mm, dos meses de setembro, outubro e novembro de (a) 2009 e (b) 2012. O círculo preto representa a localização do CEM e a linha vermelha a Linha do Equador.

É possível averiguar que em ambos os anos a ZCIT encontra-se afastada do NEB durante a primavera austral, não sendo responsável pela chuva vista na região. A partir da análise de mapas de precipitação da América do Sul, supõe-se que tais precipitações sejam oriundas de fenômenos climáticos provindos do HS. Ainda, nota-se que em ambos os anos o litoral Norte do NEB não é afetado pela ocorrência dos altos índices pluviométricos observados no restante da região.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou a variação da velocidade do vento em 2009 e 2012 no Complexo Eólico de Morrinhos, situado no interior da Bahia, investigando as influências de dois fenômenos climáticos, ZCIT e Dipolo do Atlântico, na variação deste parâmetro. O primeiro fenômeno foi analisado a partir de dados de precipitação do Tropical Rainfall Measuring Mission, enquanto o segundo foi verificado com dados de Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar. Este estudo foi motivado pela ocorrência de baixas velocidades do vento e consequente baixa geração de energia eólica observados no Nordeste Brasileiro durante o primeiro semestre de 2009. Adicionalmente, o ano de 2012 foi utilizado como referência para descartar a influência da oscilação global ENOS, por ambos os anos apresentarem ENOS de similar intensidade durante a primeira metade do ano.

Ao comparar as médias mensais dos dados de velocidade do vento com a precipitação acumulada mensal na região do Complexo Eólico de Morrinhos, notou-se que, tanto em 2009 quanto em 2012, os meses com maiores índices de precipitações apresentaram menores velocidades médias do vento e vice-versa. A maior diferença entre os anos estudados é verificada durante o primeiro semestre, em que 2009 mostrou uma menor velocidade do vento e maior precipitação na região, comparado a 2012.

Através da análise de ATSM, foi constatada a ocorrência de um Dipolo do Atlântico negativo no primeiro semestre de 2009, que permaneceu no Oceano Atlântico Equatorial desde o fim de janeiro até meados de junho. Tal fenômeno causou uma variação na modulação da ZCIT, a qual ficou ancorada no Nordeste Brasileiro durante todo o período do dipolo, chegando a uma mínima latitude de 4°S, e retornando para o Hemisfério Norte somente no início de junho, sendo que em anos normais esta zona de convergência inicia seu deslocamento para o norte em abril (Cavalcanti *et al.*, 2009). Já durante o primeiro semestre de 2012, conforme o esperado, não houve a ocorrência do Dipolo do Atlântico e, consequentemente, a ZCIT não percorreu latitudes tão baixas, tendo uma mínima de 1°S no mês de março e já retornando para o Hemisfério Norte em abril de 2012, seguindo a sua modulação normal. Para o Complexo Eólico, isto resultou em uma velocidade média do vento 13,6% menor no primeiro semestre de 2009, comparado com 2012.

Através do resultado da análise do primeiro semestre, confirma-se a hipótese inicial deste trabalho. O fenômeno ENOS não estava ligado à intensa precipitação e baixas velocidades de vento no início do ano de 2009 no Nordeste Brasileiro, tal evento foi resultante da atuação do Dipolo do Atlântico negativo. Ainda, devido à influência deste fenômeno na geração de energia eólica no NEB, ressalta-se a importância de monitorar o Dipolo do Atlântico através da previsão da Anomalia da Temperatura da Superfície do Mar. Tal monitoramento possibilita uma previsão sazonal mais precisa do comportamento do vento na região Nordeste, influenciando positivamente o planejamento da operação e manutenção dos parques eólicos.

A análise do segundo semestre dos anos em análise apontou que a modulação interanual da ZCIT afetou diretamente na velocidade do vento na região do Nordeste Brasileiro. Conforme esta zona de ventos calmos se afasta do NEB, a velocidade do vento na torre atinge os maiores valores médios mensais no ano, medindo ventos 15,7% e 13,3% maiores que a média anual em agosto de 2009 e 2012, respectivamente. Ainda, foram verificados altos valores de precipitação acumulada e baixas velocidades médias do vento em outubro de 2009 e novembro de 2012, períodos em que a ZCIT ainda se encontrava distante do NEB e, consequentemente, não sendo a responsável pela precipitação vista no Complexo Eólico estudado. Espera-se, segundo os mapas de precipitação apresentados, que algum fenômeno proveniente do Hemisfério Sul seja causador das altas precipitações. Recomenda-se, portanto, o estudo destes eventos em trabalhos futuros, focando também na região do litoral Norte do Nordeste, que não foi afetada por esta precipitação.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Atlantic Energias Renováveis S.A., pela Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), por meio do POSMEC-UFSC, e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

6. REFERÊNCIAS

- ABEEólica, 2017, “Dados Mensais – Novembro de 2017”, Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/02/Dados-Mensais-ABEEolica-02.2018.pdf>>, Acesso em: 12 mar. 2018.
- ABEEólica, 2018, “Infovento nº5”, Disponível em: <http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/01/05_Infovento-online.pdf>, Acesso em: 12 mar. 2018.
- Berry, G. e Reeder, M.J., 2014, “Objective Identification of the ITCZ - Climatology and Trends from the Era-Interim”, *Journal of Climate*, Vol. 27, pp. 1894-1909.
- Carvalho, M.A.V. e Oyama, M.D., 2013, “Variabilidade da Largura e Intensidade da Zona de Convergência Intertropical Atlântica: Aspectos Observacionais”, *Revista Brasileira de Meteorologia*, Vol. 28, No. 3, pp. 305-316.
- Cavalcanti, F.A.C., Ferreira, N.J., Silva, M.G.A.J., Dias, M.A.F.S., 2009, “Tempo e Clima no Brasil”, Ed. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 464 p.
- Chiang, J.C.H., Kushnir, Y., Giannini, A., 2002, “Deconstructing Atlantic ITCZ Variability: Influence of the Local Cross-Equatorial SST Gradient and Remote Forcing from the Eastern Equatorial Pacific”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. D1, pp. 1-19.
- CPTEC, 2009, “Casos Significativos do Mês de Abril de 2009”, Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/~rupload/arquivo/casos_sig_abril2009.pdf>, Acesso em: 30 nov. 2017.
- ESRI, 2018, “Imagery Data”, Disponível em: <<http://www.esri.com/data/imagery>>, Acesso em: 03 de março de 2018.
- Grodsky, S.A., Carton, J.A., 2003, “The Intertropical Convergence Zone in the South Atlantic and the Equatorial Cold Tongue”, *Journal of Climate*, Vol. 16, pp. 723-733.
- GWEC, 2018, “Global Wind Statistics 2017”, Disponível em: <http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL.pdf>, Acesso em: 12 mar. 2018.
- Hastenrath, S. e Greischar, L., 1993a, “Circulation Mechanisms Related to Northeast Brazil Rainfall Anomalies”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 98, No. 3, pp. 5093-5102.
- Hastenrath, S. e Greischar, L., 1993b, “Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies”, *Journal of Climate*, Vol. 6, pp. 743-758.
- Hastenrath, S., 2006, “Circulation and Teleconnection Mechanisms of Northeast Brazil Droughts”, *Progress in Oceanography*, Vol. 70, No. 2-4, pp. 407-415.
- IRI, 2018, “Dataset Documentation: Monthly Sea Surface Temperature Anomaly”, Disponível em: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Ocean_Temp/Weekly_Anomaly.html>, Acesso em: 03 mar. 2018.
- Lyra, G.B., Oliveira-Junior J.F., Gois, G., Cunha-Zeri, G., Zeri, M., 2017, “Rainfall Variability over Alagoas under the Influences of SST Anomalies”, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 129, No. 2, pp. 157-171.
- Mendonça, F. e Danni-Oliveira, I.M., 2007, “Climatologia: Noções Básicas e Climas do Brasil”, Ed. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 208 p.
- Moura, A.D. e Shukla, J., 1981, “On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model”, *Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 38, No. 12, pp. 2653-2675.
- NASA, 2018, “Tropical Rainfall Measuring Mission”, Disponível em: <<https://trmm.gsfc.nasa.gov/>>, Acesso em: 03 mar. 2018.
- Nimer, E. 1989, “Climatologia do Brasil”, Ed. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil, 421 p.

- NOAA, 2018a, "Multivariate ENSO Index", Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>>, Acesso em: 03 mar. 2018.
- NOAA, 2018b, "South America Weather and Climate", Disponível em: <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/international/samerica/samerica.shtml>>, Acesso em: 20 mar. 2018.
- ONS, 2009, "Boletim Mensal de Geração Eólica Dezembro/2009", Disponível em: <www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim_Eolica_dez-2009.pdf>, Acesso em: 15 mar. 2018.
- Pezzi, L.P. e Cavalcanti, I.F.A., 2001, "The Relative Importance of ENSO and Tropical Atlantic SST Anomalies for Seasonal Precipitation Over South America - A Numerical Study", *Climate Dynamics*, Vol. 17, No. 2-3, pp. 205-212.
- Xavier, T.M.B.S., Xavier, A.F.S., Dias, P.L.S., Dias, M.A.F.S., 2000, "A Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará (1964-98)", *Revista Brasileira de Meteorologia*, Vol. 15, No. 1, pp. 27-43.
- Waliser, D.E. e Gautier, C., 1993, "A Satellite Derived Climatology of the ITCZ", *Journal of Climate*, Vol. 6, pp. 2162-2174.
- World Meteorological Organization, 2014, "El Niño/Southern Oscillation", WMO, No. 1145.
- Wu, L., He, F., Liu, Z., 2005, "Coupled Ocean-Atmosphere Response to North Tropical Atlantic SST: Tropical Atlantic Dipole and ENSO". *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, pp.1-4.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

CASE STUDY OF THE LOW WIND POWER GENERATION EVENT IN 2009 IN THE BRAZILIAN NORTHEAST: POSSIBLE REGIONAL CLIMATE INFLUENCES

Mônica Nassar Machuca, monica@machuca.com.br¹

Isadora Limas Coimbra, isadoralimas@gmail.com¹

Reinaldo Haas, reinaldohaas@gmail.com¹

Yoshiaki Sakagami, sakayoshi@gmail.com²

Júlio César Passos, julio.passos@ufsc.br¹

Eduardo Victor Dias, eduardo.dias@atlanticenergias.com.br³

¹Federal University of Santa Catarina, Department of Mechanical Engineering, Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/n - Trindade, Florianópolis - SC, 88040-900,

²Federal Institute of Santa Catarina, Department of Health and Service, Av. Mauro Ramos, 950 - Centro, Florianópolis - SC, 88020-300

³Atlantic Energias Renováveis S.A., Alameda Dr. Carlos de Carvalho, 555 - Centro, Curitiba - PR, 80430-210.

Abstract. *The year of 2009 was characterized by high precipitation, low wind speed and consequently low wind power generation in the Brazilian Northeast. The purpose of this work was to analyze the wind speed in 2009 at Morrinhos Wind Farm/BA, relating its variations with possible regional climate influences of Sea Surface Temperature Anomaly and inter-annual modulation of the Intertropical Convergence Zone. In addition, the year of 2012 was used as reference in order to discard the possible influence of the global phenomenon El-Niño/Southern Oscillation. In this study, the analyses were made using Sea Surface Temperature Anomaly data from the National Centers for Environmental Prediction, satellite precipitation data from the Tropical Rainfall Measuring Mission and wind speed data measured in an anemometric tower of the Wind Farm. Through the Sea Surface Temperature Anomaly data, the occurrence of a negative Atlantic Dipole was verified from the end of January to the middle of June 2009. This phenomenon was responsible for the displacement and longer permanence of the Intertropical Convergence Zone on the Brazilian Northeast coast during the first semester of 2009, a factor that caused significant rainfall and weak winds in the region, which was verified by precipitation and observational data at Morrinhos Wind Farm. On the other hand, in 2012, the dipole did not occur and there were no significant incidences of rainfall associated with weak winds in its first semester. The wind speed in the first semester was 13.6% lower in 2009 compared to the same period of 2012, pointing to an influence of the negative dipole on the region. Furthermore, in 2009 and 2012 the highest monthly mean wind speed was in the second semester, in august, reaching 15.7% and 13.3% higher than the yearly average, respectively. It is estimated that this was caused by the location of the Intertropical Convergence Zone, that reached its northernmost position, 14°N, during the same period. In both years, at the end of the second semester, a month of high cumulative precipitation and low mean wind speeds was verified, which could not be explained by the Intertropical Convergence Zone and should be addressed in other studies.*

Keywords: ITCZ Modulation, Brazilian Northeast, Sea Surface Temperature Anomaly, Precipitation, Wind Energy