

## Variabilidade e potencial da fonte eólica para geração de energia elétrica na costa amazônica

Várias comunidades vivem na região costeira no estado do Pará e por estarem em regiões mais isoladas, essa parte da população não recebem a energia elétrica que é distribuída e buscam outras fontes de energia para desenvolverem suas atividades. Nesse sentido, esse trabalho objetiva caracterizar a variabilidade do vento horizontal atuante na região de Cuiarana (costa amazônica) e avaliar o potencial para geração de energia eólica. Foi utilizado uma série de dados de direção e velocidade do vento a 12 metros de altura no período de 2011 a 2018. Os dados foram agrupados e calculados quanto a sua ocorrência dentro de 16 setores de direção e 6 classes de velocidade (m/s). Os meses do segundo semestre apresentaram a maior frequência de velocidades acima de 3 m/s. A direção predominante ao longo do ano foi de leste e nordeste influenciada pela atuação dos ventos alísios de sudeste e nordeste. O período de primavera austral registrou as maiores velocidades médias horárias do ano principalmente entre as 12:00 e 15:00 horas. A região de Cuiarana apresenta potencial para geração de energia elétrica através da fonte eólica. Contudo, o conhecimento da variabilidade do vento em outras localidades da costa e em outros níveis de altura se faz necessário.

**Palavras-chave:** Vento; Energia Eólica; Amazônia; WRPLOT.

## Variability and potential of the wind power source for electric power generation in the amazon coast

Several communities live in the coastal region of the state of Pará and because they are in more isolated regions, this part of the population does not receive electricity that is distributed and seek other sources of energy to develop their activities. In this sense, this work aims to characterize the variability of horizontal wind acting in the Cuiarana region (Amazon coast) and to evaluate the potential for wind power generation. A series of wind direction and speed data was used at 12 meters in the period from 2011 to 2018. The data were pooled and calculated for their occurrence within 16 driving sectors and 6 speed classes (m/s). The months of the second semester presented the highest frequency speeds above 3 m/s. The predominant direction throughout the year was from the east and northeast influenced by the action of the southeast and northeast trade winds. The southern spring period recorded the highest average hourly speeds of the year mainly between 12:00 a.m. and 3:00 p.m. hours. The Cuiarana region has potential for wind power generation. However, knowledge of wind variability in other coastal locations and at other height levels is required.

**Keywords:** Wind; Wind Power; Amazon; WRPLOT.

Topic: **Uso de Recursos Naturais**

Received: **02/12/2019**

Approved: **10/01/2020**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Hyago Elias Nascimento Souza**   
Universidade do Estado do Pará, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9712810427104066>  
<http://orcid.org/0000-0001-8765-2981>  
[eng.hyagosouza@gmail.com](mailto:eng.hyagosouza@gmail.com)

**Maria Isabel Vitorino**   
Universidade do Estado do Pará, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4813399912998401>  
<http://orcid.org/0000-0003-3253-5301>  
[vitorino@ufpa.br](mailto:vitorino@ufpa.br)

**Carlos José Capela Bispo**   
Universidade do Estado do Pará, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1082753191579268>  
<http://orcid.org/0000-0003-2399-3140>  
[capela@uepa.br](mailto:capela@uepa.br)

**Eduardo Ribeiro Marinho**   
Universidade do Estado do Pará, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2214813622704219>  
<http://orcid.org/0000-0002-9957-9555>  
[educnquimica2011@hotmail.com](mailto:educnquimica2011@hotmail.com)

**Filipe Gomes Dias**   
Universidade do Estado do Pará, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2284263711223302>  
<http://orcid.org/0000-0003-0284-1391>  
[dias.filipe@live.com](mailto:dias.filipe@live.com)

**Aline Souza Sardinha**   
Universidade do Estado do Pará, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9339221229423995>  
<http://orcid.org/0000-0001-6245-0734>  
[alinesardinha@uepa.br](mailto:alinesardinha@uepa.br)

**Eliane de Castro Coutinho**   
Universidade do Estado do Pará, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7392327864420841>  
<http://orcid.org/0000-0003-3152-7828>  
[elianecoutinho@uepa.br](mailto:elianecoutinho@uepa.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0036

### Referencing this:

SOUZA, H. E. N.; VITORINO, M. I.; BISPO, C. J. C.; MARINHO, E. R.; DIAS, F. G.; SARDINHA, A. S.; COUTINHO, E. C.. Variabilidade e potencial da fonte eólica para geração de energia elétrica na costa amazônica. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.1, p.400-410, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0036>

## INTRODUÇÃO

Vários municípios e comunidades vivem na região costeira do Estado do Pará. Na porção nordeste do Estado, diversas comunidades tradicionais habitam ilhas e penínsulas formadas pelos estuários característicos dessa região, conhecida como rias ou reentrâncias (SOUZA FILHO, 2005). Por estar em regiões mais isoladas, essa parte da população não recebe a energia elétrica que é distribuída pelo estado e buscam outras fontes de geração de energia elétrica para desenvolverem suas atividades (PINTO et al., 2017; ROSA, 2007).

De acordo com a Resenha Energética Brasileira (2019) no ano de 2018, 83,3% da oferta interna de energia elétrica no Brasil foi proveniente de fontes renováveis, onde apenas 7,6 % foram gerados por sistemas eólicos. Contudo, esse percentual foi responsável pela produção elétrica de 48.475 GWh, abastecendo principalmente a região nordeste do Brasil com até 74,1% da energia consumida nesta região.

No Pará, segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2018), foram gerados 43.002 GWh de energia elétrica no ano de 2017, proveniente principalmente de hidroelétricas presentes no estado. Contudo, o Pará possui uma desvantagem para utilização da energia eólica devida a baixa magnitude de ventos na maioria de suas microrregiões. A área costeira pode ser a região com maior potencial para geração de energia elétrica a partir da força dos ventos, voltado principalmente ao abastecimento das comunidades mais isoladas que utilizam óleo diesel e biomassa como fonte alternativa de energia (PINTO et al., 2017; BORGES et al., 2011).

Buscar fontes de energias alternativas e renováveis tem sido um desafio para vários países devido ao aumento da demanda por energia elétrica e pelas questões socioambientais (PINTO, 2013). De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica) 76,6 milhões de pessoas foram abastecidas por fontes eólicas em 2018 atendendo mais de 25 milhões de residências por todo o país. Além disso, essa energia produzida pelos ventos possui baixo impacto socioambiental negativo e não emitem CO<sub>2</sub> evitando a emissão de 20,5 milhões de toneladas em 2018.

No aproveitamento dos recursos eólicos para geração de energia elétrica é necessário analisar todas as variáveis envolvidas, principalmente as características do vento (CASTRO, 2006). O vento é o movimento do ar em relação à superfície terrestre, processando-se tanto no sentido horizontal quanto vertical, variando em termos de velocidade e direção de acordo com seus fatores controladores. Na costa amazônica, esses fatores controladores podem ser de mecanismos de circulação de meso à larga escala, tais como Atividades Convectivas, Circulação de Brisa e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (MATTIUZZI et al., 2012; MOURA et al., 2012).

Nesse contexto, Hartmann (2016) descreve que o planeta recebe diferentes intensidades de radiação solar pela sua superfície, aquecendo-a desigualmente. Esse aquecimento desigual gera diferentes pressões que movimentam massas de ar pelo globo terrestre dando origem a diferentes circulações de massas de ar. A movimentação dessas massas dão origem a Circulação Geral da Atmosfera. O autor descreve ainda que essa Circulação é um mecanismo natural do planeta para mantê-lo em equilíbrio térmico. Além disso, essa

circulação provoca o deslocamento das massas de ar de altas latitudes para zonas de baixa pressão na região equatorial originando um sistema chamado de Ventos Alísios (REBOITA et al., 2010).

Para a caracterização do vento em um ponto da atmosfera são necessárias duas informações fundamentais: a sua direção e o seu gradiente de velocidade. Essas variáveis são observadas de forma pontual por sensores específicos como anemômetro e cata-vento do tipo Wild em uma determinada altura ao longo do tempo. Onde, ao analisar os valores de direção e velocidade identifica-se uma variabilidade temporal dos dados, podendo ser uma variação horária, mensal ou até interanual (LIRA et al., 2017; MATTIUZZI et al., 2012).

Essa variabilidade é influenciada por fatores controladores como a Circulação de Brisa. A circulação de brisa marítima (BM) assim como a circulação de brisa terrestre (BT), é resultado da diferença de capacidade calorífica do continente e da água. Durante o dia, a temperatura no continente é maior em relação a temperatura da água, porém a noite é observado o contrário. No lado que está quente ocorre uma baixa pressão com o fluxo de ar sendo proveniente do lado relativamente mais frio. Este ar que se desloca para o lado mais quente sobe e retorna para o lado mais frio, gerando uma circulação local (GERMANO et al., 2017).

As brisas marítimas contribuem na intensificação da variação da direção e velocidade dos Ventos Alísios. A direção das brisas depende, fundamentalmente, da orientação da costa litorânea, sendo esta, no litoral, perpendicular à linha da costa (GERMANO et al., 2017; LIRA et al., 2017). A atuação do vento ao adentrar o continente é influenciada pelo relevo e pela cobertura do solo, ou seja, a superfície terrestre pode reduzir o torque dos ventos por conta de uma propriedade física chamada rugosidade. Além disso, essa interação entre superfície-atmosfera gera um comportamento turbulento dos ventos formando uma camada limite superficial (MAFRA et al., 2016).

No Brasil, a região Nordeste apresenta magnitudes significativas de vento, principalmente durante o período de estiagem, sendo a região com maior potencial eólico do país (SANTANA et al., 2019). Contudo, a região Norte e principalmente a costa amazônica necessita de pesquisas para compreender as características dos ventos e seus fatores controladores. Com ênfase na avaliação do seu potencial eólico para geração de energia elétrica a fim de abastecer comunidades isoladas (BELLINI et al., 2017).

Essa necessidade se aplica fortemente em um cenário de investimentos para geração eólica no país. Segundo o *Global Wind Report 2018*, o Brasil instalou 1.939 MW apenas ano de 2018, atingindo uma capacidade total instalada de 14.707 MW. Com isso, o Brasil é líder no mercado latino americano de energia eólica e o mais promissor até a próxima década (GWEC, 2019). Diante do exposto buscou caracterizar a variabilidade do vento horizontal atuante na região de Cuiarana situado na costa amazônica a fim de avaliar seu potencial eólico para geração de energia elétrica.

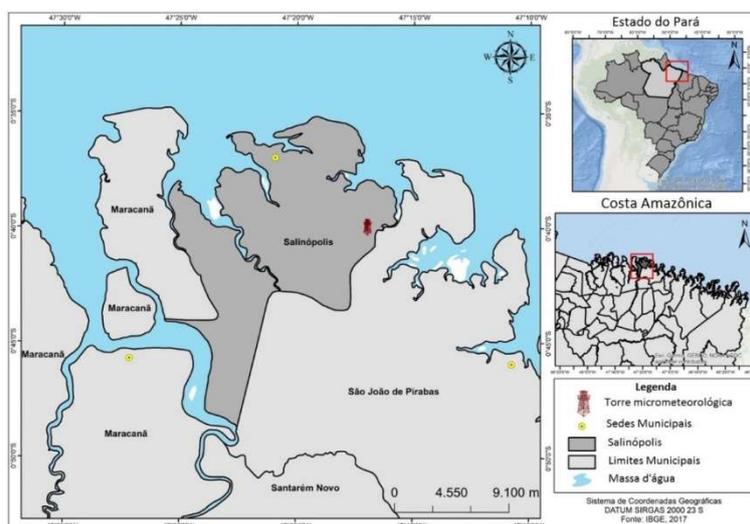
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

Forma utilizados dados de direção e velocidade do vento de uma torre micrometeorológica localizada em Cuiarana, município de Salinópolis no estado do Pará (Figura 1). Essa torre está localizada a aproximadamente 5 km da linha da costa, dentro do Sítio Experimental de Cuiarana pertencente a Universidade Federal Rural da Amazônia e a Universidade Federal do Pará.

Salinópolis está situado na costa amazônica, apresenta extensas faixas de praias, ilhas, florestas de mangue, restingas e áreas agrícolas. Esse mosaico de paisagens é característico dos municípios localizados em uma parte do litoral amazônico chamado de Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia – CMMA (BARBOSA et al., 2015; SOUZA FILHO et al., 2005).

Essa região é habitada por centenas de comunidades, em sua maioria formada por vilas de pescadores, sendo a pesca sua principal atividade econômica. Além disso, muitas comunidades não são abastecidas pela energia elétrica distribuída pela Centrais Elétrica do Pará – CELPA, devido ao difícil acesso a estas vilas. Diante disso, a população busca outros sistemas geradores de energia elétrica, como os sistemas a diesel, para desenvolver suas atividades (ROSA, 2007).



**Figura 1:** Localização da torre micrometeorológica de Cuiarana no Município de Salinópolis, Costa Amazônica.

Foram utilizados uma série de dados de direção e velocidade do vento (m/s) obtidos a partir de um anemômetro instalado a 12 m de altura na torre micrometeorológica do Sítio Experimental de Cuiarana. A torre é composta por um *datalogger* que registra dados a cada 10 minutos em hora local (UTC -3:00). A base de dados utilizada contém informações registradas de janeiro de 2011 a dezembro de 2018 totalizando 8 anos de dados.

Foi analisada a frequência de direção e velocidade dos ventos da região utilizando médias horárias. Os dados foram agrupados e calculados quanto a sua ocorrência dentro de 16 setores de direção (norte N; norte-nordeste NNE; nordeste NE; leste-nordeste ENE; leste E; leste-sudeste ESSE; sudeste SE; sul-sudeste SSE, sul S; sul-sudoeste SSW; sudoeste SW; oeste-sudoeste WSW; oeste W; oeste-noroeste WNW; Noroeste NW; norte-noroeste NNW) e 6 classes de velocidade em m/s (calmaria; 0.10 - 1.00; 1.00 - 2.00; 2.00 - 3.00; 3.00 - 4.00; 4.00 - 5.00) (ROCKETT et al., 2017; PEARCE, WALKER, 2005). A representação gráfica mensal e horária (hora local) foi feita a partir da rosa dos ventos, apresentando a distribuição da frequência percentual

dos ventos por classes e direções. Para esta análise foi utilizado o *software* WRPLOT ([www.lakes-environmental.com](http://www.lakes-environmental.com)).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Variabilidade mensal do vento

Na tabela 1 se observa que ventos com magnitudes abaixo de 3,00 m/s ocorrem com maior frequência no primeiro semestre do ano, apresentando mais momentos de calmarias entre os meses de março e junho. Já no segundo semestre foram observadas maiores frequências de vento acima de 3,00 m/s, principalmente nos meses entre setembro e novembro durante a primavera austral.

**Tabela 1:** Distribuição mensal da frequência de vento (%) em diferentes classes (2011 a 2018) na torre micrometeorológica de Cuiarana, costa amazônica.

Meses	Distribuição da frequência de ventos (%)					
	Classes de velocidade do vento (m/s)					
	Calmaria	0,10 – 1,00	1,00 – 2,00	2,00 – 3,00	3,00 – 4,00	4,00 – 5,00
Janeiro	0,2	11,2	21,7	38,2	16,7	1,4
Fevereiro	0,3	22	30,3	33,1	12,3	1,4
Março	0,7	22,4	29,8	33,4	12,4	0,4
Abril	0,9	30,5	31,8	27,0	9,4	0,2
Maio	1,3	28,8	31,3	27,4	10,3	0,7
Junho	0,6	24,9	29,1	30,6	13,9	0,8
Julho	0,8	23,9	26,3	30,1	17,1	1,7
Agosto	0,1	4,3	25,2	38,2	26,5	5,5
Setembro	0	0,1	15,6	42,9	32,3	7,9
Outubro	0,1	1,3	13,9	46,4	31,2	6,2
Novembro	0	1,9	19,9	44,2	30,6	5,3
Dezembro	0,1	5,7	20,1	41,8	27,7	4,4

A variabilidade da magnitude dos ventos na costa amazônica está associada com o fluxo médio dos ventos alísios que através do deslocamento das cristas subtropicais pode alterar a velocidade da circulação local (BAPTISTA, 2003). Além disso, devido à proximidade com o oceano, a circulação de brisa marítima (BM) atua no mesmo quadrante de direção da média de fluxo dos alísios, intensificando a velocidade dos ventos principalmente durante o segundo semestre (GERMANO et al., 2017; COSTA et al., 2012; SANTOS et al., 2013).

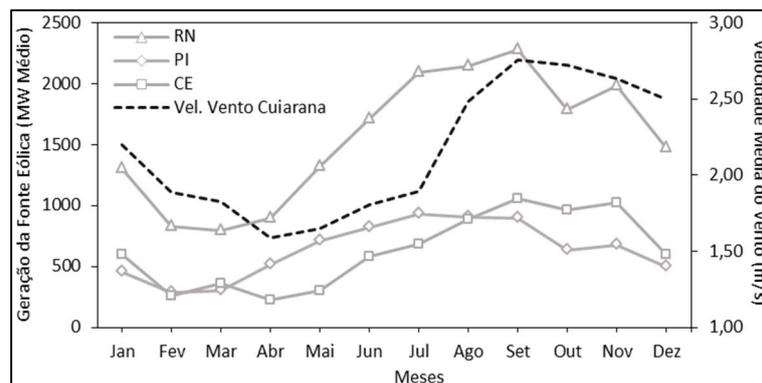
Durante os meses observados com menores velocidades de vento ocorre a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esse sistema precipitante de escala global atua na costa amazônica durante os meses de março, abril e maio devido à alta atividade convectiva associada a este sistema (MOURA et al., 2012; MOURA et al., 2018). A intensa nebulosidade e precipitação provocada pela ZCIT na região amazônica, afeta o fluxo médio de ventos gerando atenuação da sua velocidade. Essa confluência é conhecida por zona de calmaria, pois reduz a magnitude de ventos que chegam na costa (NOBRE et al., 1996; GERMANO et al., 2017).

A ZCIT também atua no litoral norte do Nordeste brasileiro, onde a maior parte do período chuvoso do Rio Grande do Norte, Piauí e Ceará culmina na época em que a ZCIT está mais ao Sul, durante o outono austral (SILVA et al., 2011). É nesta mesma época do ano que são registradas as menores produções de energia eólica nesses estados segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica).

O Boletim Anual de Geração Eólica 2018 da ABEEólica demonstra que a geração de energia (MW médio) variou de 795,9 em março para 2.278,9 em setembro no estado do Rio Grande do Norte (Figura 2). Essa variação mostra como a atuação da ZCIT no litoral norte do Brasil pode reduzir a capacidade de geração elétrica pela fonte eólica nos estados dessa região. Bem como pode contribuir para a redução do fator de capacidade das usinas eólicas instaladas no país chegando a 24,6% em março de 2018.

O período de maior geração elétrica (MW médio) nos estados do Brasil, assim como o período de maior fator de capacidade nacional coincide com os meses de maiores frequências de vento observadas acima de 3,00 m/s na costa amazônica (Tabela 1). Essa relação indica que o litoral amazônico possui variabilidade temporal de velocidades de ventos similares a maioria dos estados brasileiros com potencial eólico.

Amanajás et al. (2012) ao analisarem o regime de precipitação da Amazônia oriental, observaram que a costa amazônica possui a maior variação pluviométrica ao longo do ano, registrando a menor precipitação média de 22 mm para o mês de outubro. Esse período seco e com pouca nebulosidade favorece a entrada dos ventos alísios em toda a faixa costeira, intensificando sua velocidade média mensal (m/s) durante o segundo semestre (Figura 2).



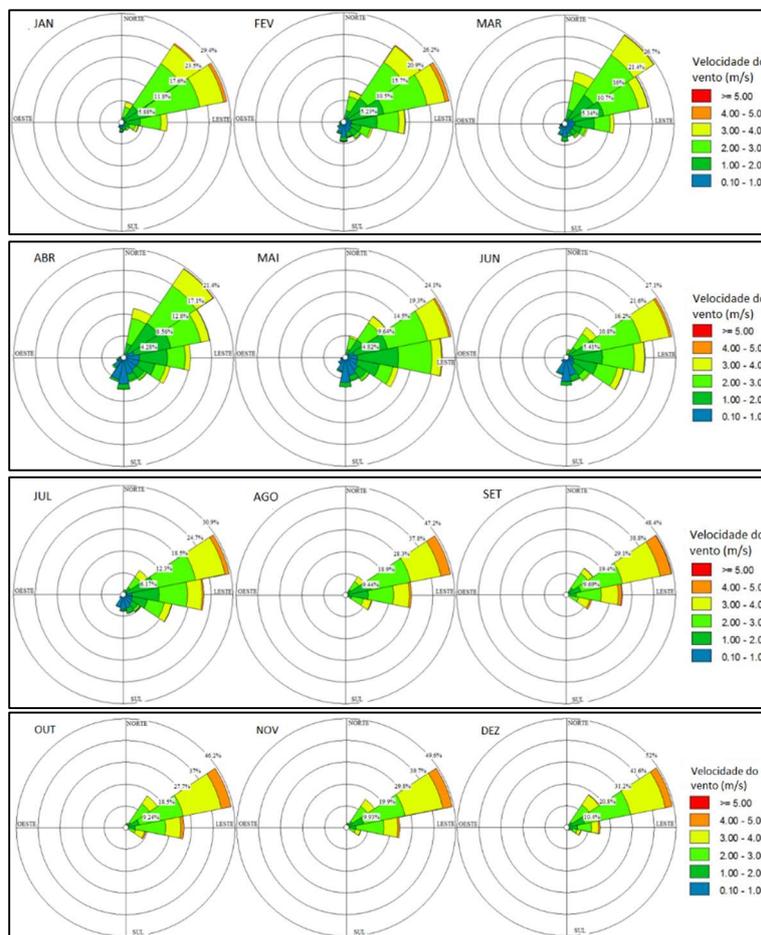
**Figura 2:** Velocidade média mensal (m/s) do vento em Cuiarana (2011-2018) e Geração da Fonte Eólica (MW médio) dos estados Rio Grande do Norte, Piauí e Ceará no ano de 2018. **Fonte:** Boletim Anual de Geração Eólica (2018).

Fatores controladores como a ZCIT e BM podem influenciar tanto na variação da velocidade do vento ao longo do tempo, como também na variabilidade da sua direção. Os dados de direção do vento analisados entre 2011 e 2018 mostraram que as maiores frequências de ventos 33,6%, 19,4% e 16,5% são provenientes das direções leste-nordeste, leste e nordeste, respectivamente. O setor leste-sudeste também apresentou frequência significativa de ventos com 9,5% provenientes desta direção.

A frequência de direção observada demonstra que os ventos atuam principalmente de leste e nordeste. Isso ocorre devida a atuação dos ventos alísios de nordeste e sudeste que chegam até a costa amazônica em diferentes períodos do ano (MOURA et al., 2018; MOURA et al., 2012). Nesse sentido, a Figura 3 apresenta uma observação mensal da frequência de direção dos ventos.

De janeiro a maio, observa-se predominância dos ventos de nordeste, com até 26,7% em março. A atuação da ZCIT na costa amazônica nesse período permite a entrada dos ventos provenientes do hemisfério norte (alísios de nordeste). Devido à alta atividade convectiva associada a ZCIT, a maior parte da frequência

desses ventos é abaixo de 3 m/s de magnitude (MOURA et al., 2012). Entre abril e junho é observado um percentual significativo de frequência de ventos do setor Sul (S), chegando em média a 3,4%. Ventos desta direção são registrados devido a atuação da brisa terrestre, que se torna mais perceptível neste período devido a atenuação dos alísios pela elevada precipitação pluviométrica. Com maiores registros observados durante a madrugada (03:00 - 06:00 hora local) (GERMANO et al., 2017).



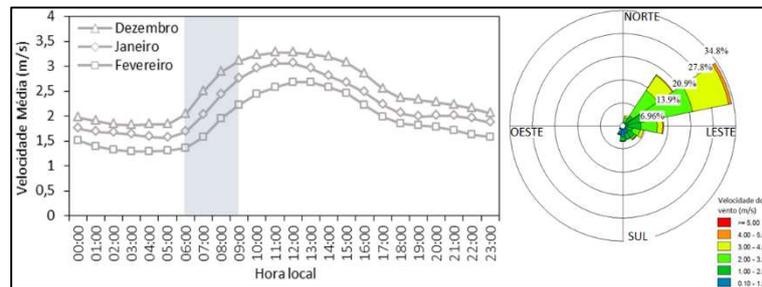
**Figura 3:** Rosa dos ventos demonstrando a frequência mensal de direção e velocidade dos ventos em Cuiarana, Costa Amazônica (2011–2018).

A partir de julho até dezembro a direção dos ventos tende a ser predominante dos setores leste e leste-nordeste, com maiores frequências registradas em agosto 28% e dezembro 52%, respectivamente. O deslocamento da ZCIT para norte durante o inverno e primavera austral aliado a intensificação da Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul permite a entrada dos ventos alísios de sudeste na Amazônia. Esses ventos atuam paralelos a costa e se somam a brisa marítima formada durante o dia. Conseguem ultrapassar facilmente os 4 m/s, com frequência de 19,4% entre os meses de primavera austral (GERMANO et al., 2017; LIRA et al., 2017).

### Variabilidade horária do vento

Na figura 4, observa-se o perfil de velocidade média horária em Cuiarana durante o verão austral. Nota-se uma diminuição contínua da velocidade média do vento entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro com 3,28, 3,06 e 2,68 m/s, respectivamente, para as 12:00 hora local. O período entre as 06:00 e

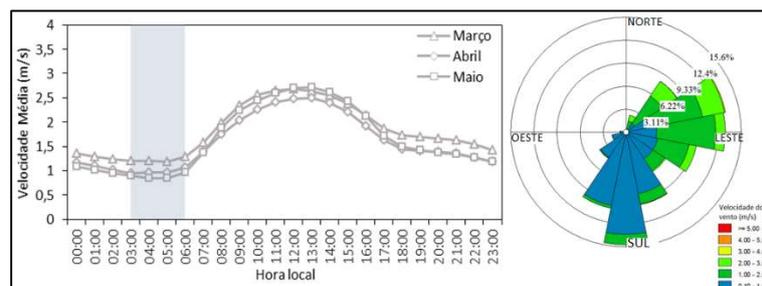
09:00 hora local apresenta a maior variação de velocidade média, aumentando gradativamente até atingir sua máxima as 12:00 hora local. Durante esse intervalo, a direção predominante, com 34% de frequência, é do setor leste-nordeste, e sua maior frequência de velocidade (34,1%) fica na classe 2,00 - 3,00 m/s, como demonstrada na rosa dos ventos da Figura 4.



**Figura 4:** Perfil da velocidade média horária em Cuiarana durante os meses de verão austral e rosa dos ventos da frequência de direção e velocidade entre as 06:00 e 09:00 hora local.

O verão austral na costa amazônica é caracterizado pelo início do período chuvoso, influenciado principalmente por dois sistemas meteorológicos precipitantes, as Linhas de Instabilidade (LI) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (COHEN et al., 1989; CAMPONOGARA et al., 2011). Esses sistemas tendem a ganhar força na Amazônia Oriental e Central durante o verão, diminuindo a magnitude dos ventos alísios que chegam ao litoral da Amazônia (MELO et al., 2019).

Com a chegada do outono no hemisfério sul, os ventos apresentam sua menor velocidade média horária. Durante a madrugada, entre as 03:00 e 06:00 hora local, são observadas a maior frequência de calmaria e velocidade média abaixo de 1 m/s. É nesse intervalo de tempo que são registradas a maior frequência de brisas terrestres (15,3%) provenientes do setor sul. A velocidade do vento nesse intervalo é baixa, concentrando 57% da sua frequência na classe entre 0,1 e 1,00 m/s (Figura 5).

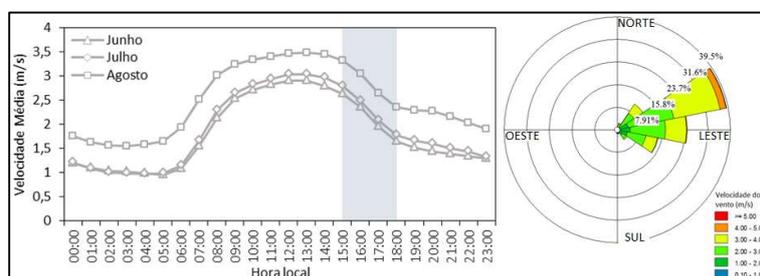


**Figura 5:** Perfil da velocidade média horária em Cuiarana durante os meses de outono austral e rosa dos ventos da frequência de direção e velocidade entre as 03:00 e 06:00 hora local.

O deslocamento da ZCIT para a costa norte do Brasil durante o outono favorece os maiores volumes de precipitação no litoral da Amazônia, com isso a intensa cobertura de nuvens contribui para a atenuação da magnitude dos ventos alísios sendo perceptível uma maior frequência da brisa terrestre na costa durante a madrugada (MOURA et al., 2012; GERMANO et al, 2017).

Durante o inverno no Brasil, ocorre a transição para o aumento da velocidade média dos ventos. Em agosto é quando há um aumento significativo dessa velocidade alcançando os 3,5 m/s as 12:00 hora local. Para o período entre 15:00 e 18:00 hora local se observa a menor variação da velocidade média entre os

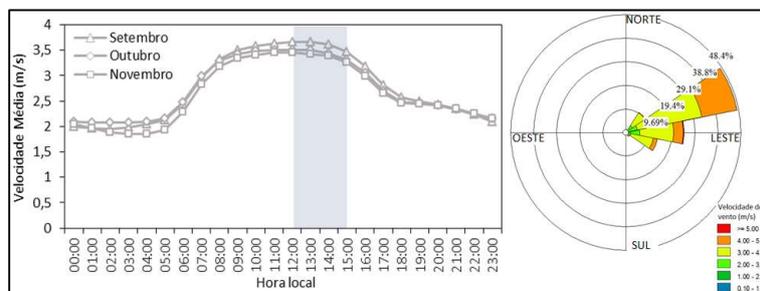
meses dessa estação (Figura 6). Nesses horários, com o final do dia, os ventos alísios bem como a brisa marítima perdem intensidade, atingindo frequência de 44,5% na classe de 2,00 a 3,00 m/s. Nesses horários também, já são observados ventos provenientes do setor leste, porém o setor leste-nordeste ainda apresenta a maior frequência (38,8%) como demonstrada na rosa dos ventos da Figura 6.



**Figura 6:** Perfil da velocidade média horária em Cuiarana durante os meses de inverno austral e rosa dos ventos da frequência de direção e velocidade entre as 15:00 e 18:00 hora local.

Durante esses meses de inverno a atuação das LI ainda é frequente na Amazônia (MELO et al., 2019). Contudo, esse sistema se associa a ocorrência dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) provocando precipitações consideráveis e desfavorecendo a plena entrada dos ventos alísios de sudeste na Amazônia pela costa (ALCÂNTARA et al., 2011; COHEN et al., 1989; COHEN et al., 1995).

Dentre os meses de primavera austral, setembro registrou a maior velocidade média do ano com 3,67 m/s as 12:00 hora local. É durante essa estação que a velocidade média dos ventos alcança sua máxima magnitude, principalmente no início da tarde entre as 12:00 e 15:00 hora local. Nesse intervalo do dia, a frequência de velocidade de ventos na classe entre 3,00 – 4,00 m/s é de 59,4%, e essa significância é registrada principalmente na direção leste-nordeste (47,5%) (Figura 7).



**Figura 7:** Perfil da velocidade média horária em Cuiarana durante os meses de primavera austral e rosa dos ventos da frequência de direção e velocidade entre as 12:00 e 15:00 hora local.

Com a migração da ZCIT para o hemisfério norte, os ventos alísios de sudeste entram livremente na costa amazônica. É nesse período que são registrados os menores índices de precipitação nessa região favorecendo o aumento da magnitude dos ventos (AMANAJÁS et al., 2012). Porém, ainda é observada atuação de LI e de Sistema Convectivo de Mesoescala Circular (SCMC) na Amazônia Oriental (SODRÉ et al., 2015; COHEN et al., 1995). Esses dois sistemas meteorológicos se formam e adentram o continente, influenciados pela atuação da BM e dos ventos alísios, com ocorrências de precipitação até a Amazônia Central (GERMANO et al., 2017; MELO et al., 1995).

A compreensão da variabilidade mensal e horária do vento é indispensável na definição da instalação

do parque eólico e do seu aproveitamento máximo de potência. Posteriormente, o projeto *Micrositing* determinará as características do vento em toda a área do parque a ser instalado os aerogeradores estimando a produção de energia elétrica de cada um deles (BELLINI et al., 2017).

## CONCLUSÕES

A região de Cuiarana em Salinópolis apresenta potencial para geração de energia elétrica através da fonte eólica. Principalmente para abastecer as comunidades isoladas que habitam a região costeira e não estão inseridas na rede de distribuição. Contudo, recomenda-se aprofundar o conhecimento da variabilidade do vento em outras localidades da costa, bem como observá-la em outros níveis de altura (30 m e 50 m).

Posteriormente, estudos para elaboração de projetos de engenharia devem ser realizados. O projeto *Micrositing* definirá o exato posicionamento de cada aerogerador no parque eólico para maximizar a previsão da produção anual de energia e determinar os tipos de aerogeradores adequados à magnitude dos ventos da região.

## REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, C. R.; DIAS, M. A. S.; SOUZA, E. P.; COHEN, J. C.. Verification of the role of the low level jets in Amazon squall lines. *Atmospheric Research*, v.100, n.1, p.36-44, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.12.023>

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C.. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.4, p.423-434. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862012000400006>

BAPTISTA, M. C.. **Uma análise do campo de vento de superfície sobre o Oceano Atlântico Tropical e Sul usando dados do escaterômetro do ERS**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

BARBOSA, I. C. C.; MÜLLER, R. C. S.; ALVES, C. N.; BERRÊDO, J. F.; SOUZA FILHO, P. W.. Composição Química de Sedimento de Manguezal do Estuário Bragantino (PA) - Brasil. *Revista Virtual de Química*, v.7, n.4, p.1087-1101, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150060>

BELLINI, D.; OLIVEIRA, E. C.; LAGIOIA, U. C. T.; SILVA, A. C. B.; MELO, J. L.. Energia eólica: desenvolvimento de geração de energia sustentável. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.8, n.2, p.205-223, 2017. DOI: <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.002.0017>

BORGES, F. Q.; ZOUAIN, D. M.. A matriz elétrica no estado do Pará e seu posicionamento na promoção do desenvolvimento sustentável. *Planejamento e políticas públicas*, v.2, n.35, 2011.

CAMPONOGARA, G.; DIAS, M. A. F. S.. Precipitação diária e estrutura vertical da atmosfera em Belém, PA. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 7. *Anais*. 2011. p.263-266. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X9435>

CASTRO, R. M. G.. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada**: introdução à energia eólica. 3 ed. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A.. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v.4, p.34-40, 1989.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A.. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. *Monthly Weather Review*, v.123, p.3163-3174, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123%3C3163:ECAWAS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123%3C3163:ECAWAS%3E2.0.CO;2)

COSTA, G. B.; LYRA, R.. Análise dos padrões de vento no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.1, p.31-38, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862012000100004>

SILVA, V. P.; PEREIRA, E. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. D. A.; SOUSA, I. F.. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15 n.2, 2011.

GERMANO, M. F.; VITORINO, M. I.; COHEN, J. C. P.; COSTA, G. B.; SOUTO, J. I. D. O.; REBELO, M. T. C.; SOUSA, A. M. L.. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon: an observational study. *Atmospheric Science Letters*, v.18, n.2, p.67-75, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/asl.726>

GWEC. Global Wind Energy Council. **Global Wind Report 2018**. Brussels: GWEC, 2019.

HARTMANN, D. L.. **Global physical climatology**. 2 ed. Seattle: Elsevier, 2016.

LIRA, M. A. T.; MOITA NETO, J. M.; LOIOLA, J. V. L. D.; SILVA, E. M. D.; ALVES, J. M. B.. Caracterização do regime de ventos no Piauí para o aproveitamento de energia eólica. *Revista*

**Brasileira de Meteorologia**, v.32, n.1, p.77-88, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778632120150712>

MAFRA, A. C. B.; ARAÚJO, A. C.; SÁ, L. D. A.; SANTOS, R. M. N.; TREBS, I.; SÖRGE, M.. Variability of the mean concentration of CO<sub>2</sub> above the amazonian forest during nighttime associated with distinct turbulence regimes. **Ciência e Natura**, v.38, n.1, p.429-433, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X19840>

MATTIUZZI, H. V.; MARCHIORO, E.. O Comportamento dos Ventos em Vitória (ES): a gestão e interpretação dos dados climatológicos. **Revista Geonorte**, v.2, n.4, p.983-993, 2012.

MELO, A. M.; DIAS-JUNIOR, C. Q.; COHEN, J. C.; SÁ, L. D.; CATTANIO, J. H.; KUHN, P. A.. Ozone transport and thermodynamics during the passage of squall line in Central Amazon. **Atmospheric Environment**, v.206, p.132-143, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.02.018>

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I.. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p.475-483, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862012000400010>

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I.; ADAMI, M.. Análise de componentes principais da precipitação pluvial associada à produtividade de soja na Amazônia legal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, 2018.

NOBRE, P.; SHUKLA, J.. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v.9, p.2464-2479, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009%3C2464:VOSSTW%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009%3C2464:VOSSTW%3E2.0.CO;2)

PEARCE, K. I.; WALKER, I. J.. Frequency and magnitude biases in the 'Fryberger' model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. **Geomorphology**, v.68, n.12, p.39-55, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.030>

PINTO, L. I. C.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e

ambientais. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.12, n.6, p.1082-1100, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2064>

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T.. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>

ROCKETT, G. C.; TELLES, P.; BARBOZA, E. G.; GRUBER, N. L. S.; SIMÃO, C. E.. Análise espaço-temporal dos ventos no extremo norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v.44, n.2, p.203-219, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78271>

ROSA, V. H. S.. **Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: Em busca de um modelo sustentável**. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SANTANA, L. V. R.; SILVA, A. S. A.. Análise de agrupamento da velocidade do vento no Nordeste do Brasil. **Sigmae**, v.8, n.2, p.481-489, 2019.

SANTOS, S. R. Q.; VITORINO, M. I.; BRAGA, C. C.; CAMPOS, T. B.; SANTOS, A. P.. O efeito de brisas marítimas na Cidade de Belém-PA: utilizando análise em Multivariada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n.5, p.1110-1120, 2013. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5.5.p1110-1120>

SODRÉ, G. R.; VITORINO, M. I.; COHEN, J. C. P.; MORAES, B. C.. Estudo observacional da convecção de mesoescala em diferentes superfícies no estado do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.5, p.1281-1293, 2015. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.5.p1281-1293>

SOUZA FILHO, P. W. M.. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.23, n.4, p.427-435, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2005000400006>