

## PROCESSOS SINÓTICOS ASSOCIADOS A QUEDA ABRUPTA DA GERAÇÃO EÓLICA EM PARQUES DO NE DO BRASIL: PASSOS INICIAIS PARA PREVISÃO.

Werik K. S. Rodrigues (IC)<sup>1</sup>, Arcilan T. Assireu (PQ)<sup>1</sup>, André L. Reis (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

**Palavras-chave:** ERA-5; Energia eólica; GOES-16; LIDAR.

### Introdução

No contexto atual brasileiro, observa-se um crescente destaque para o avanço das pesquisas relacionadas à produção de energia sustentável. Dentro desse âmbito, a geração de energia proveniente de fontes eólicas está emergindo como uma área particularmente promissora. Conforme atestado pelo Relatório de Status Global de Energias Renováveis de 2022 (GSR), o Brasil figura entre as nações com maior capacidade instalada nesse domínio, embora ainda registre números inferiores aos da China e dos Estados Unidos. Nesse cenário, compreender integralmente os mecanismos subjacentes a essa modalidade de geração se revela de suma importância, a fim de otimizar seu aproveitamento.

A ocorrência de eventos sinóticos que resultam em uma marcante redução na velocidade do vento pode acarretar tanto em interrupções transitórias quanto em diminuições na produção de energia. Em situações excepcionais, ventos excessivamente fortes podem também demandar a desativação temporária das turbinas com o propósito de prevenir possíveis danos. Os impactos da súbita diminuição da velocidade do vento são significativos não somente para a produção de energia eólica, mas também exercem efeitos adversos sobre a integridade dos aerogeradores, resultando na redução da sua vida útil (Hara et al. 2012).

O monitoramento e previsão precisa dos eventos sinóticos em tais regiões são imperativas para aprimorar a gestão da produção de energia nos parques eólicos. Este processo requer a adoção de tecnologias de ponta, incluindo radares, LIDAR, e dados de satélite, em conjunto com modelos meteorológicos altamente precisos.

Neste contexto, eventos meteorológicos, com duração aproximada de 1,5 horas (07:00h-08:30h), caracterizado por abrupta queda na velocidade do vento e mudança de direção, observados pela manhã durante o período de setembro a dezembro de 2021 (Figura 2) no complexo eólico OMEGA, localizado no município de Paulino

Neves, MA, foram registrados, onde os indicativos analisados mostram a determinante influência dos distúrbios da brisa marítima em relação a dinâmica atmosférica do local.

Antecipa-se que os resultados deste estudo possam agregar o entendimento sobre os efeitos dos eventos sinóticos na produção de energia em parques eólicos, abrindo caminho para a formulação de estratégias mitigadoras destinadas a atenuar esses impactos.

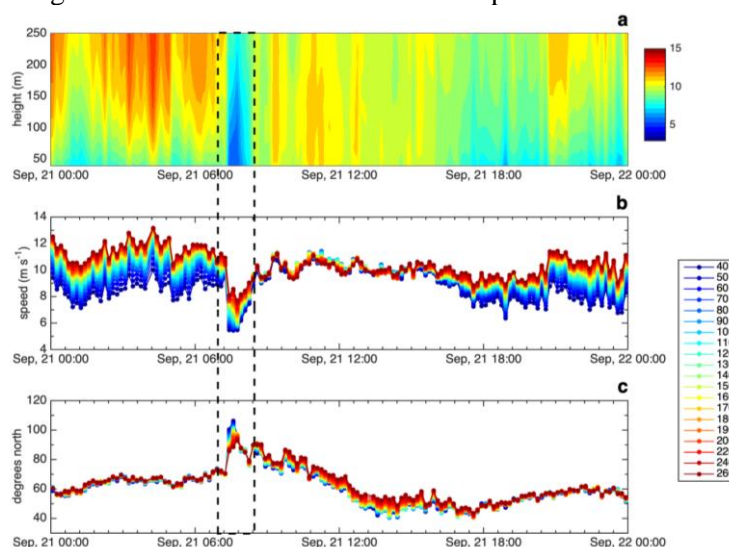


Figura 1 – (a) Intensidade do vento a partir do LIDAR em 20 diferentes alturas (40 a 260 m). Perfil vertical da intensidade (b) e da direção do vento (c). As cores no painel (a) trazem a intensidade do vento em  $m s^{-1}$ . FONTE: Assireu et al. (2022).

### Metodologia

O presente estudo tem como objetivo aprofundar a investigação dos mecanismos atmosféricos que ocasionam a súbita redução na velocidade do vento e a consequente interrupção na geração de energia em um complexo eólico OMEGA, localizado no município de Paulino Neves, MA, este estudo se baseará na análise de

dados meteorológicos para investigar a correlação entre a convergência causada pela influência da brisa marítima e as variações nos parâmetros da mesma em um complexo eólico (Figura 2), foi realizada uma metodologia de análise utilizando dados provenientes do modelo de reanálise ERA5, imagens referentes ao GOES16 e medições obtidas através do LIDAR no local do estudo. Para tal, serão analisados dados meteorológicos referentes aos horários de maior frequência de ocorrência do evento (Figura 3), tais como velocidade e direção do vento, climatologia da temperatura e análise da cobertura de nuvens no local. Serão avaliadas as condições meteorológicas associadas a esses eventos. Para uma análise preliminar, o presente estudo tem como referência o evento registrado no dia 21 de setembro de 2021 (Figura 1).

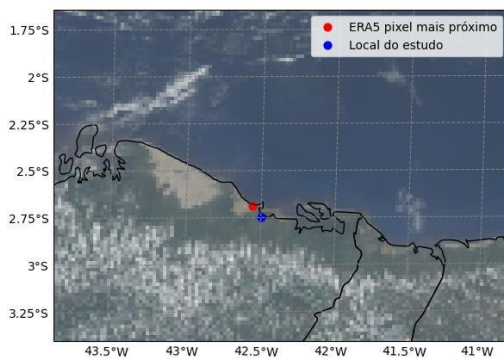


Figura 2 – Região alvo do estudo. Ponto vermelho representa a localização do LIDAR e ponto azul representa o pixel mais próximo do ERA5.

### Resultados e discussão

No segundo semestre de 2021, especificamente de setembro a dezembro, foram registradas um total de 28 instâncias de queda abrupta na velocidade do vento na região, com uma média de duração de aproximadamente 1 hora e 54 minutos. Conforme ilustrado nas Figura 3, os registros desses eventos foram compilados para o período compreendido entre meia-noite e meio-dia, com destaque para os meses de outubro e dezembro, nos quais ocorreu um número significativamente maior de ocorrências, enquanto setembro apresentou apenas 2 eventos registrados. Além disso, com exceção de setembro, a distribuição desses eventos foi mais uniforme, com 9 ocorrências em outubro, 10 em novembro e 7 em dezembro.

Ao examinar a frequência horária das ocorrências, destaca-se que o maior número de registros ocorre por volta das 6 e 7 horas da manhã. Esse padrão sugere uma possível correlação com a dinâmica da circulação local, especialmente durante a transição entre a noite e o dia,

quando a circulação atmosférica é influenciada pela variação de temperatura entre a terra e o mar.

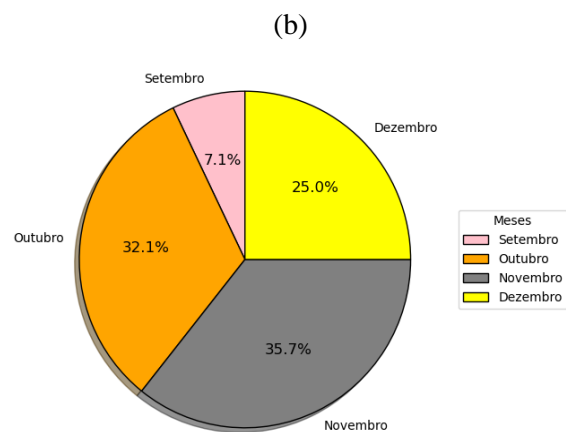
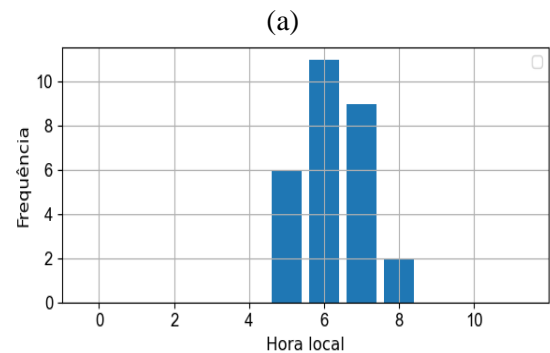


Figura 3 – Frequência horária (a) dos eventos e porcentagem (b) de eventos registrados no período do estudo no ano de 2021. FONTE: Autoria própria.

A análise dos dados do ERA-5 e LIDAR evidenciam a presença da brisa marítima e ventos alísios no local onde se tem a direção predominante dos ventos de NE. A Figura 4 mostra os vetores de direção e intensidade do vento para o dia 21 de setembro onde foi registrado uma variação nos padrões médios dos parâmetros mencionados. Para melhor compreensão, o dia anterior ao evento foi utilizado para comparação entre os valores obtidos. A partir dos registros, é possível notar a variação da direção do vento no período do evento, entre 5 e 8 horas da manhã para os valores registrados pelo LIDAR a 100m de altura, onde o fluxo de direção leste prevalece, estando em concordância com os dados obtidos pelo ERA5.

O perfil de velocidade vertical indica a presença de uma forçante positiva, sendo associado a nebulosidade devido ao ar ascendente presente ponto de interesse (Figura 5). É possível notar valores positivos ligeiramente mais intensos em 950 hPa (aproximadamente 600m) durante o período inicial do evento, que em junção com a umidade

disponível é um forte indicativo para a formação de nuvens no local. Também é possível notar uma zona de convergência nos níveis próximos a 850 hPa (1500m), onde se tem o encontro das parcelas de ar subsidente e ascendente, implicando no aquecimento da região circundante.

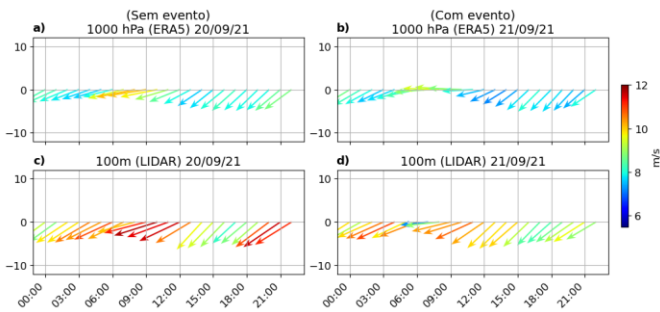


Figura 4 – Velocidade e direção do vento horário em 1000 hPa e 100m (LIDAR) nos dias 20 e 21 de setembro de 2021. FONTE: Autoria própria.

A partir da Figura 6, nota-se variações menos tênues no gradiente de temperatura no dia do evento em comparação ao dia posterior e anterior ao mesmo, com destaque para os níveis de 1000 hPa (100m) e superfície, o que pode ser considerado um indicativo de grande influência na intensidade e direção da brisa marítima.

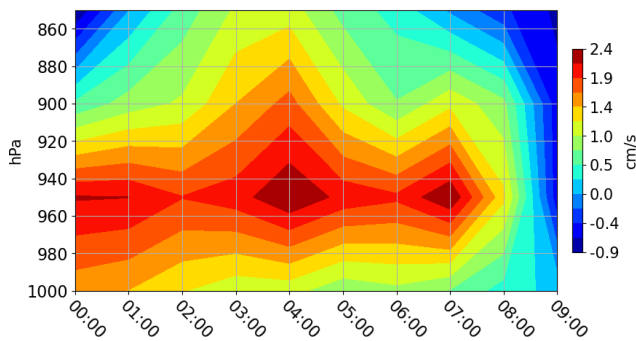


Figura 5 – Perfil vertical da velocidade vertical (w) para o dia 21 de setembro de 2021. FONTE: Autoria própria.

Neste caso, sendo associado a uma brisa mais fraca devido ao gradiente menos acentuado, que por sua vez influencia diretamente a intensidade e direção do vento no local. Portanto, a direção predominante é modulada majoritariamente pelos ventos alísios durante o evento, fazendo assim com que fluxos provenientes de SW tenham grande impacto na dinâmica do local.

A presença de nebulosidade pode ser confirmada a partir dos canais visível (VIS) e infravermelho (IR) provenientes do GOES 16 (Figura 7) onde é possível notar uma faixa de nebulosidade sobre o ponto de interesse. A presença de nuvens cumulus, como pode ser

observado a partir das temperaturas no canal IR, afeta o balanço de radiação solar, interferindo na distribuição de calor e no fluxo de ventos locais devido à redução das diferenças de temperatura entre a terra e o mar, ocasionando distúrbios na intensidade e a direção da brisa marítima, bem como a formação de ventos locais, como a brisa terrestre.

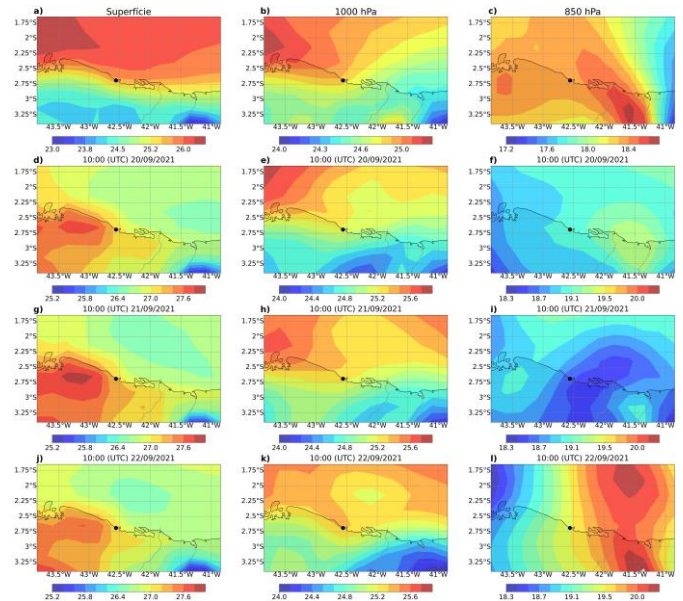


Figura 6 – Composição da distribuição de temperatura obtida através do ERA5 para os dias 20, 21 e 22 de setembro de 2021. Imagens a), b) e c) indicam a climatologia do local e imagens subsequentes são referentes aos dias mencionados.

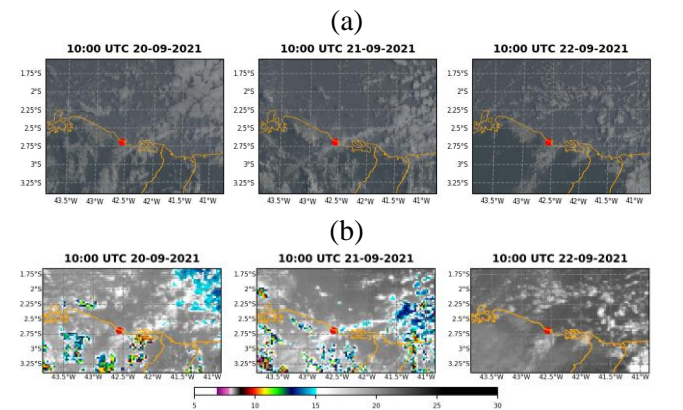


Figura 7 – Observações projetadas com canais do espectro visível (a) do satélite GOES16 para gerar uma imagem de cores reais (RGB - True color) e infravermelho (b) para os dias 20, 21 e 22 de setembro de 2021. FONTE: Autoria própria.

## Conclusões

A interação entre a brisa terrestre, prevista para o evento, e a nebulosidade presente no local, parece ser uma boa

aproximação para explicar a queda súbita de intensidade e mudança de direção observadas. O gradiente de temperatura relativamente mais suave no dia do evento, conforme observado nos dados do ERA-5, se mostra também um indicador importante para futuras análises de demais eventos registrados.

### **Agradecimentos**

Agradecimentos a ANEEL, Gera Maranhão S.A., Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e Equatorial Energia S.A. (PD-00037-0042/2020), pelo financiamento ao Projeto EOSOLAR. Os autores são gratos ao CNPq e ao Instituto Nacional em Energias Oceânicas e Fluviais (INEOF) pelo apoio.

### **Referências**

ASSIREU, A. T. et al. **EOSOLAR Project: Assessment of Wind Resources of a Coastal Equatorial Region of Brazil—Overview and Preliminary Results**. *Energies*, v. 15, n. 7, 1 abr. 2022.

REN21. **Renewables Global Status Report**. 2022. Disponível em: < [https://www.ren21.net/reports/global-status-report/?gclid=Cj0KCQjwjryjBhD0ARIsAMLvnF8XAvbMRF1b\\_cAjfPeRpYQP7SUtJt5XxUxAPaVM7IjT4g-Ok1\\_YPiEaA15MEALw\\_wcB](https://www.ren21.net/reports/global-status-report/?gclid=Cj0KCQjwjryjBhD0ARIsAMLvnF8XAvbMRF1b_cAjfPeRpYQP7SUtJt5XxUxAPaVM7IjT4g-Ok1_YPiEaA15MEALw_wcB)>. Acesso em: 24 maio 2023.

Hara, Y.; Hara, K.; Hayashi, T. **Moment of Inertia Dependence of Vertical Axis Wind Turbines in Pulsating Winds**. *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 2012, Article ID 910940, 12 pages, 2012.