



## **Uma análise da previsibilidade sazonal da velocidade do vento à superfície no estado de Alagoas-Nordeste do Brasil.**

Fabrizio Daniel dos Santos Silva <sup>1</sup>

Emerson Ribeiro de Oliveira <sup>2</sup>

Rafaela Lisboa Costa <sup>3</sup>

Mário Henrique Guilherme dos Santos Vanderlei <sup>2</sup>

Helber Barros Gomes <sup>1</sup>

Heliofábio Barros Gomes <sup>1</sup>

### *Resumo*

A região Nordeste do Brasil se destaca no cenário nacional de produção de energia eólica, com 523 parques eólicos instalados de um total de 619 no Brasil. Com ventos favoráveis para a produção de energia eólica, ainda há espaço para a prospecção e ampliação de parques eólicos, haja visto que ainda há estados com poucos ou nenhum parque eólico instalado, como é o caso de Alagoas. Apesar da energia eólica ser produzida em torres com diferentes níveis de altura, de 50 metros até mais de 200 metros, estudar o vento próximo a superfície é o primeiro passo para análises que visam estudar os recursos eólicos de uma região. Nesse sentido, utilizou-se nesse trabalho dados de velocidade média do vento a superfície (VVS) com resolução de 0,1 x 0,1°, de 1961 a 2020, para avaliar sua previsibilidade mensal especificamente no estado de Alagoas. Utilizou-se como variável preditora da velocidade média do vento a temperatura da superfície do mar (TSM) associada a técnica de análise multivariada análise de correlações canônicas (ACC). A ACC permite a construção de uma modelagem estatística baseada na relação da variabilidade espacial do preditor (TSM) e do preditando (VVS), e assim simular eventos passados ou gerar previsões para meses a frente. Os resultados mostraram áreas de Alagoas com altas correlações entre velocidades simuladas e observadas, um indicativo do potencial de previsibilidade dessa importante variável meteorológica.

**Palavras-chave:** Análise de correlações canônicas, Velocidade do vento, Previsão.

---

<sup>1</sup> Profs. Drs. da Universidade Federal de Alagoas – Campus Maceió, Instituto de Ciências Atmosféricas, [fabrizio.santos@icat.ufal.br](mailto:fabrizio.santos@icat.ufal.br), [helber.gomes@icat.ufal.br](mailto:helber.gomes@icat.ufal.br), [heliofabio@icat.ufal.br](mailto:heliofabio@icat.ufal.br).

<sup>2</sup> Alunos do Curso de Mestrado em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, [emersonribeiro9@gmail.com](mailto:emersonribeiro9@gmail.com), [mario.vanderlei@icat.ufal.br](mailto:mario.vanderlei@icat.ufal.br).

<sup>3</sup> Bolsista PNPd da Universidade Federal de Alagoas – Campus Maceió, Instituto de Ciências Atmosféricas, [rafaela.costa@icat.ufal.br](mailto:rafaela.costa@icat.ufal.br).



## INTRODUÇÃO

No atual contexto de desenvolvimento sustentável, a humanidade busca fontes alternativas de energia, sendo a energia eólica uma destas fontes (Adami et al., 2017). Portanto, é necessário aprimorar os estudos relacionados ao vento e a geração de energia, pois essa é cada vez mais uma alternativa para expandir a geração renovável de energia. Em um País de grande extensão territorial como o Brasil, esse recurso tem crescido em utilização para atender as demandas de eletricidade da população, com uma produção de aproximadamente 4,66 GW/h em 2019 de acordo com o Operador Nacional do Sistema elétrico (ONS, 2020).

Embora a maior produção seja das hidroelétricas, o fornecimento da energia eólica tem sido ampliado e representa atualmente 11.4% da matriz energética brasileira, com previsão de capacidade instalada de 16 GW ao final do período 2023-2017 (RAÍZEN, 2022). O Brasil possui registros de velocidade do vento três vezes superior à necessidade elétrica do país, colocando-o em posição de destaque no cenário mundial. Atualmente são 496 usinas eólicas instaladas com capacidade superior a 10 GW. Números de 2017 mostram que a região Nordeste (NEB) abriga o maior potencial eólico do país, estando o maior potencial no estado do Rio Grande do Norte com 920 MW instalada, acompanhado do Ceará com 600 MW e da Bahia com 520 MW (ABEEÓLICA, 2017; GWEC, 2017).

No NEB, as condições favoráveis do vento levaram a geração de energia eólica a bater recordes nos últimos anos (NEOENERGIA 2023), com 523 de um total de 619 parques eólicos instalados no país. Essa produção além de tudo, é estratégica, haja visto que a maior parte dos reservatórios para produção de energia hidrelétrica perdem capacidade no segundo semestre do ano após a redução natural das chuvas nas regiões centro-oeste e sudeste, período que coincide com a maior intensidade dos ventos no NEB.



## EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Todas essas questões que envolvem a produção de energia eólica no Brasil, por vezes, desvia o foco da principal variável meteorológica que mantém essa máquina econômica funcionando, que é o próprio vento, que também apresenta uma sazonalidade climática natural, é influenciado pela dinâmica de atuação de diferentes modos de variabilidade climática, incluindo as diferentes fases verificadas na temperatura da superfície do mar (TSM), tanto do Pacífico e, no caso do NEB, principalmente do Atlântico, acarretando em modificações nos seus três principais parâmetros: intensidade, direção e magnitude, tornando extremamente necessário o desenvolvimento de técnicas que melhorem seu monitoramento e principalmente a sua previsão.

É neste cenário que essa pesquisa se propõe a investigar a previsibilidade da velocidade do vento a superfície (VVS) sob diferentes perspectivas nos últimos 60 anos, de 1961 a 2020, no único estado do Brasil que ainda não possui nenhum parque de geração de energia eólica instalado: Alagoas. Para tanto, foi utilizada a Análise de Correlações Canônicas (ACC), uma técnica de estatística multivariada que correlaciona dois conjuntos de dados, de tal forma que essa correlação seja maximizada pelas componentes principais de cada conjunto de dados. A vantagem da técnica de ACC está no fato de a mesma possibilitar a busca de padrões de oscilação conjunta entre dois ou mais campos físicos, nesse caso entre a TSM e a VVS.

## METODOLOGIA

A área de estudo foi o estado de Alagoas, situado no leste do Nordeste brasileiro, com território dividido em 102 municípios, e banhado pelo Oceano Atlântico, principal responsável pela variabilidade climática observada nesse estado (Lyra et al., 2024). Alagoas possui, historicamente, apenas cinco estações meteorológicas com dados de longo prazo operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o que é insuficiente para avaliar os ventos à superfície em sua plenitude.

Os dados diários de velocidade do vento usados nesse estudo estão disponíveis a partir da análise gradeada de alta resolução espaço-temporal, disponibilizada por Xavier et al. (2022).



Como descrito em seu trabalho, os dados de velocidade do vento coletados em estações meteorológicas entre 1961 a 2020 foram expostos a um rigoroso controle de qualidade, e interpolados seguindo os melhores resultados obtida via validação cruzada entre os métodos de ponderação pelo inverso da distância (IDW) e ponderação pela distância angular (ADW), para geração de uma grade em alta resolução de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ . Tais dados permitiram extrair séries temporais de velocidade do vento para cada um dos 102 municípios alagoanos, como mostra a Figura 1.

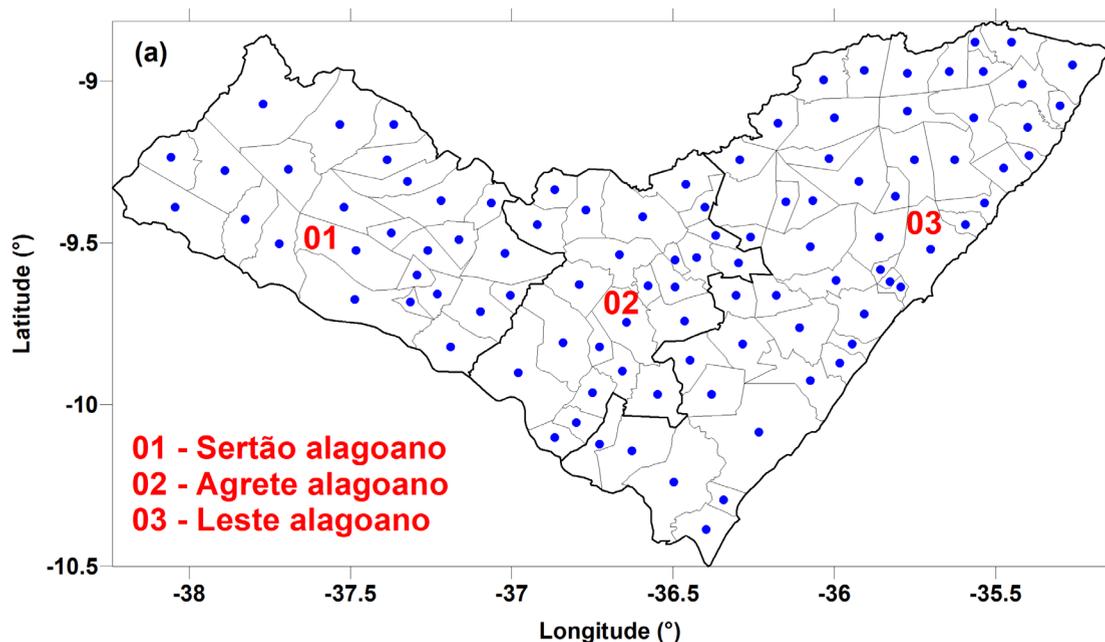


Figura 1: Distribuição dos 102 pontos extraídos para cada município (pontos pretos), separados nas três grandes mesorregiões de Alagoas: sertão, agreste e leste.

Os dados diários de velocidade do vento foram sintetizados em médias mensais no período de janeiro de 1961 a dezembro de 2020. A ACC foi usada para associar índices a cada um dos conjuntos de dados (X: variável explicativa (TSM) e Y: resposta (VVS)), definidos como combinações lineares dos valores em cada um dos conjuntos, de forma a maximizar a correlação entre os dois índices, igualmente, retendo ao máximo a informação contida nas variáveis originais. A ACC foi treinada para todo o período 1961-2019, com o ano de 2020 usado para previsão. Para validar os resultados foram calculadas as correlações ( $r$ ) e a raiz do erro quadrático médio (RMSE) entre simulações e observações.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a climatologia mensal da VVS no período 1961-2020. O período do ano de menores intensidades de VVS coincide com o período mais chuvoso do ano em Alagoas, que se dá entre os meses abril a julho, enquanto os meses de maior intensidade são os compreendidos entre setembro e janeiro, com velocidades médias em torno de 3 m/s.

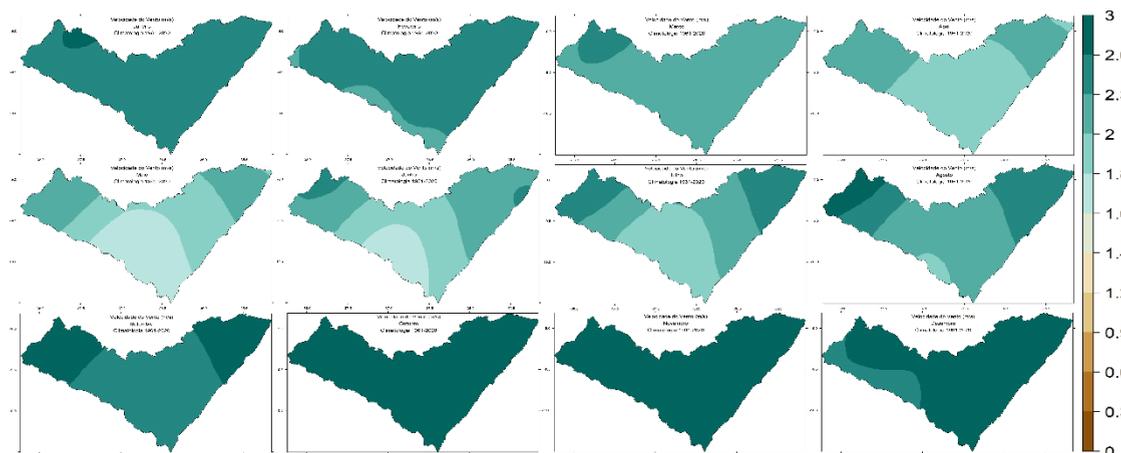


Figura 2: Climatologia 1961-2020 da VVS no estado de Alagoas. No painel superior, de janeiro a abril, no intermediário, de maio a agosto, e no inferior, de setembro a dezembro.

A Figura 3 mostra a correlação entre as simulações e observações da VVS em Alagoas de 1961 a 2019. De abril a setembro o estado apresenta áreas com valores de  $r$  superiores a 0,3, em tons de azul, que são estatisticamente significantes a um nível de confiança de 95 %. Em muitas áreas observa-se  $r$  superiores a 0,8, demonstrando a habilidade da ACC em simular a VVS. A Figura 4 mostra que os maiores valores do RMSE são observados de outubro a fevereiro, porém com valores inferiores a 1 m/s. Em média, o RMSE variou entre os meses de pouco mais de 0,1 m/s a 0,6 m/s. Importante lembrar que tanto  $r$  quanto RMSE foram obtidos a partir de simulações realizadas com uma defasagem de -1 mês, ou seja, as simulações de fevereiro foram realizadas em janeiro, e assim por diante, até dezembro.



## EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Realizou-se uma previsão para todo o ano de 2020. Mostra-se na Figura 5 o resultado em termos de desvios previstos em relação a média de referência 1961-2019 para alguns dos meses desse ano: janeiro, abril, julho e outubro. Nota-se que a previsão foi muito eficiente nesses meses mostrados, com desvios simulados muito próximos dos observados. Nos demais meses do ano, não mostrados, o comportamento foi similar com a ACC simulando bem os valores observados.

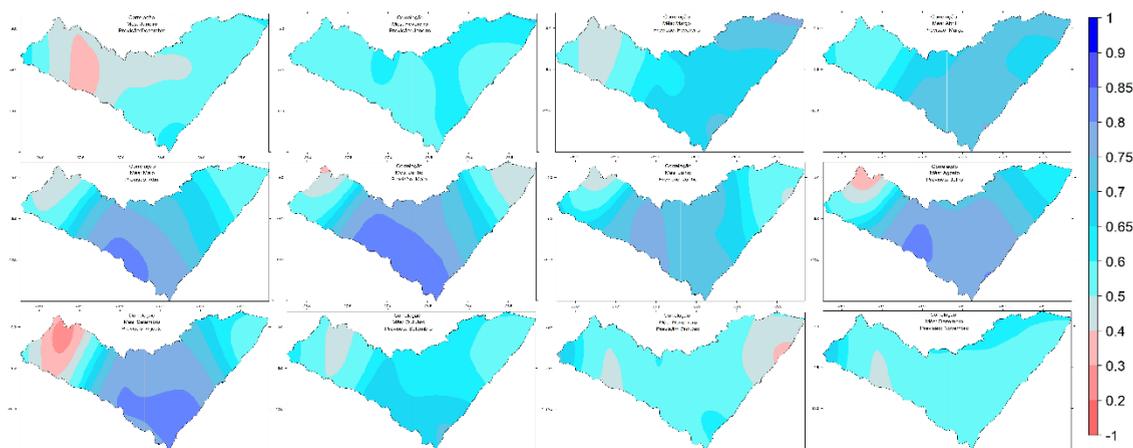


Figura 3: Correlação entre a VVS simulada e observada no período 1961-2019. No painel superior, de janeiro a abril, no intermediário, de maio a agosto, e no inferior, de setembro a dezembro.

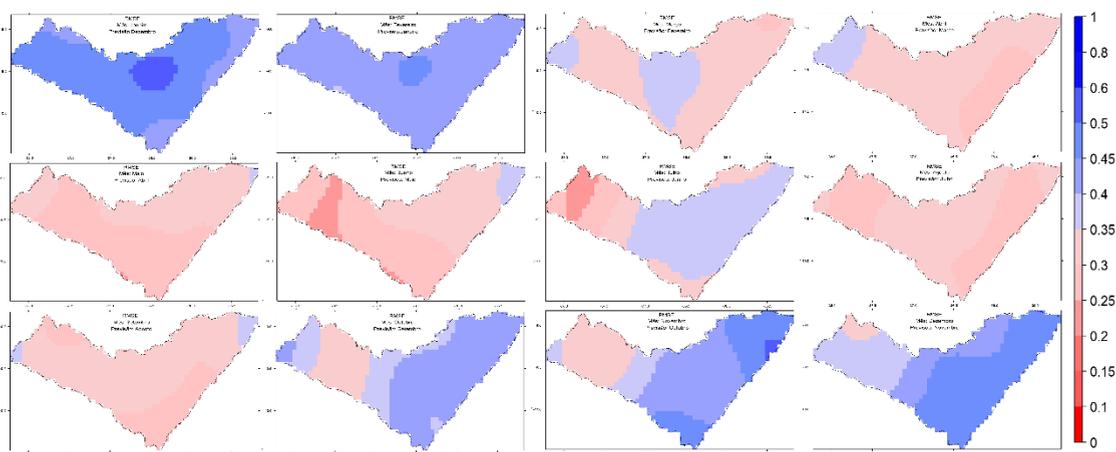


Figura 4: RMSE entre a VVS simulada e observada no período 1961-2019. No painel superior, de janeiro a abril, no intermediário, de maio a agosto, e no inferior, de setembro a dezembro.

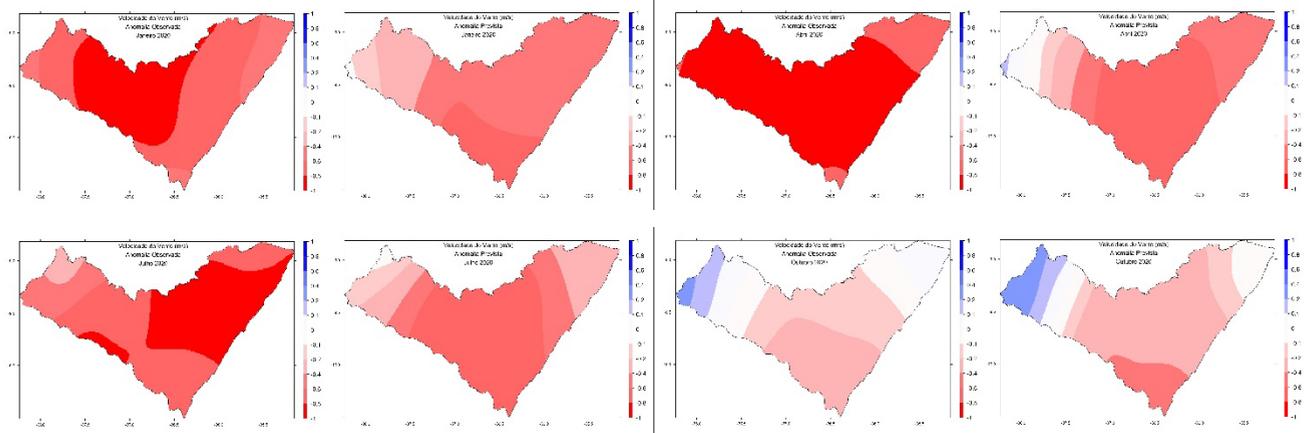


Figura 5: VVS observada e simulada para 2020. No painel superior: janeiro a abril; no inferior: julho e outubro.

## CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dados de análises gradeadas em alta resolução de variáveis meteorológicas de superfície vem facilitando estudos mais detalhados da variabilidade desses parâmetros ao longo das últimas décadas no Brasil. Observou-se que em Alagoas, os ventos têm uma alternância aproximadamente semestral em seus máximos e mínimos, como o segundo semestre do ano sendo o que apresenta as maiores intensidades de VVS em relação ao primeiro semestre, de ventos menos intensos.

A técnica aplicada para simular a VVS no período histórico e prevê-la no ano específico de 2020 mostrou-se bastante eficiente, uma vez que se obteve valores de correlações de moderados a altos, e baixos valores de RMSE. A previsão para o ano de 2020 também mostrou desvios previstos condizentes aos observados naquele ano, corroborando que essa pode ser uma boa técnica para operacionalizar um esquema de previsão da VVS para Alagoas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da FAPEAL, relativo aos projetos:



“Implementação de um sistema de previsão climática mensal e sazonal para o Nordeste do Brasil a partir de modelos dinâmicos internacionais” aprovado no Edital FAPEAL N° 002/2022, e ao projeto “Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDPG/CAPES/FAPEAL)”, aprovado no Edital nº18/2020.

## REFERÊNCIAS

Adami, V.S.; Júnior, J.A.V.A.; Sellitto, M.A. Regional industrial policy in the wind energy sector: The case of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Energy Policy*, v. 111, p. 18–27, 2017.

Operador Nacional do Sistema Elétrico do Brasil (ONS). Histórico de Operação. Available online: <http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/> (acessado em 20 de junho de 2023).

RAÍZEN: O futuro da energia é renovável. Por: Times de Energia e Sustentabilidade da Raízen, 27/05/2022, (acessado em 20 de junho de 2023).

ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. 2017. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/energia-eolica-o-setor/>.

GWEC, G.W.E.C. Global Wind Energy Outlook. [S.l.]: Brussels, 2017.

Lyra, M.J.A.; Gomes, H.B.; Herdies, D.L.; Ramirez, E.; Cavalcante, L.C.V.; Freitas, I.G.F.; Aravéquia, J.A.; Figueroa, S.N.; silva, M.C.L.; Silva, F.D.S.; Gomes, H.B.; Vendrasco, E.P.; Calvetti, L.; Mantovani Jr, J.A.; Pendharkar, J.; Coelho, W.; Quadro, M.F.L.; Roberti, D.R.; Beneti, C.A.A. Extreme precipitation events over the east coast of northeast Brazil: Synoptic study and MPAS simulation. *Weather and Climate Extremes* v. 45, p. 100711, 2024.



21º Congresso Nacional de  
**MEIO AMBIENTE**

de Poços de Caldas  
22 a 25 DE OUTUBRO | 2024

**EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS**

Xavier, A.C.; Scanlon, B.R.; King, C.W.; Alves, A.I. New Improved Brazilian Daily Weather Gridded Data (1961-2020). International Journal of Climatology, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, 2022.