



ANÁLISE E INTERAÇÃO ENTRE MODELAGEM PREDITIVA, GEORREFERENCIAMENTO E IA, UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE OTIMIZAÇÃO DOS PARQUES EÓLICOS NO BRASIL.

1º Congresso de Transição Energética do Norte Fluminense, 1ª edição, de 11/11/2024 a 12/11/2024

ISBN dos Anais: 978-65-5465-131-8

GOULART; Willian Ricardo ¹, LOBOSCO; Raquel Jahara ², SOUZA; Willy Cesar Veiga ³

RESUMO

ANÁLISE E INTERAÇÃO ENTRE MODELAGEM PREDITIVA, GEORREFERENCIAMENTO E IA, UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE OTIMIZAÇÃO DOS PARQUES EÓLICOS NO BRASIL.

Palavras-chave: modelagem preditiva, georreferenciamento, Inteligência Artificial, Parques Eólicos.

Autor 1: Willian Ricardo GoulartEmail: wilgoulartt@gmail.comUENFAutor 2: Raquel Jahara LoboscoEmail: raquelobosco@poli.ufrj.brUFRJ / UENFAutor3: Willy Cesar Veiga SouzaEmail: willycesar1@gmail.comUENF

RESUMO Este trabalho revisa o uso de modelagem preditiva, inteligência artificial (IA) e georreferenciamento no mapeamento e otimização de parques eólicos no Brasil. O objetivo é demonstrar como a integração dessas tecnologias pode aumentar a eficiência na geração de energia e melhorar a gestão operacional dos parques eólicos. A análise é baseada em uma revisão bibliográfica de estudos relevantes, focando na otimização da produção de energia. Os resultados indicam que a aplicação combinada dessas abordagens leva a processos de geração mais eficientes, resultando em aumento da produção e redução dos custos operacionais. Conclui-se que a integração dessas tecnologias tem grande potencial para melhorar a sustentabilidade e competitividade dos parques eólicos no Brasil, reforçando sua importância para o crescimento das energias renováveis no país.

INTRODUÇÃO

A energia eólica, uma das principais fontes de energia renovável, tem se destacado como uma alternativa sustentável devido ao seu baixo impacto ambiental e à disponibilidade contínua dos recursos eólicos. No entanto, a eficiência dos parques eólicos ainda enfrenta desafios significativos, principalmente devido à variabilidade dos ventos e à necessidade constante de manutenção das turbinas. Embora os avanços tecnológicos tenham melhorado a construção de aerogeradores e expandido a capacidade instalada, a literatura recente evidencia uma demanda crescente por soluções que otimizem a operação e gestão desses parques. A modelagem preditiva surge como uma ferramenta essencial para antecipar padrões de vento e prever falhas nas turbinas a partir de dados históricos. Já a inteligência artificial (IA) é capaz de processar grandes volumes de informações em tempo real, otimizando o desempenho operacional. Além disso, o georreferenciamento oferece uma visão detalhada das condições geográficas e ambientais, facilitando o planejamento estratégico. Autores como Silva (2020) e Oliveira (2023) destacam a importância dessas tecnologias, ressaltando seu potencial para reduzir custos operacionais e aumentar a produtividade energética. Conforme apontado na literatura, a integração dessas ferramentas pode levar a uma gestão mais inteligente e eficiente, superando desafios como a imprevisibilidade das condições climáticas e a necessidade de uma infraestrutura de manutenção ágil. Assim, o objetivo deste trabalho é demonstrar como

¹ UENF, wilgoulartt@gmail.com

² UFRJ / UENF, raquelobosco@poli.ufrj.br

³ UENF, willycesar1@gmail.com

a combinação de modelagem preditiva, inteligência artificial e georreferenciamento pode gerar ganhos significativos para parques eólicos. O estudo busca estabelecer as bases para um modelo integrado, mostrando como essas tecnologias podem ser aplicadas de forma sinérgica para otimizar a operação e gestão dos parques.

METODOLOGIA A metodologia utilizada neste estudo envolve, além de uma revisão de literatura, um mapeamento dos parques eólicos brasileiros existentes, com foco no uso de modelagem preditiva para prever padrões de vento, e aplicações de modelos de IA no planejamento e gestão operacional. Essa metodologia permitirá avaliar os impactos dessas tecnologias na eficiência e na produção de energia com redução de custos.

Mapeamento dos Parques Eólicos O mapeamento dos parques eólicos no Brasil é fundamental para o entendimento da distribuição e do potencial da energia eólica no país. De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), os principais parques eólicos estão predominantemente localizados no Nordeste do Brasil, que possui condições climáticas e geográficas específicas muito favoráveis para a geração de energia eólica. A Figura I é um mapa ilustrativo da localização dos parques eólicos brasileiros.

Figura I: Mapa da localização dos parques eólicos Brasil. Fonte: Webmap EPE (2023). **Extração e Análise de Imagens de Satélite** A previsão da produção de energia eólica é uma tarefa complexa que envolve a consideração de múltiplas variáveis inter-relacionadas. Modelos baseados em Inteligência Artificial (IA) oferecem uma solução eficaz para enfrentar esse desafio, permitindo uma análise detalhada da interdependência entre parâmetros físicos e a previsão da geração de energia. A implementação desses modelos requer um conjunto de dados abrangente, incluindo informações espaciais detalhadas e dados meteorológicos históricos. Nesse contexto, imagens de satélite são extraídas para fornecer parâmetros sobre a topografia e as condições meteorológicas, fatores que influenciam diretamente a eficiência dos parques eólicos. Para cada parque eólico, imagens de satélite obtidas de plataformas georreferenciadas são analisadas. Essas imagens permitem avaliar tanto a topografia quanto as condições ambientais. Zhang (2003) destaca que o uso de dados de satélite é fundamental para avaliar as características geoespaciais e seu impacto no desempenho dos parques eólicos. Além disso, conforme discutido por Albrecht (2018) e Gómez (2016), uma análise detalhada da topografia e das condições ambientais é essencial para entender como essas variáveis afetam a eficiência na geração de energia. Foi utilizado o software QGIS para representação espacial dos dados. O complexo eólico Lagoa do Barro, localizado no estado do Piauí, realizado com base nos dados da plataforma WEBMAP EPE é ilustrado na Figura II. Esse complexo eólico é estratégico para a geração de energia no Brasil, devido às condições geográficas e climáticas favoráveis. A base de dados da WEBMAP EPE fornece informações detalhadas. Para metodologia de mapeamento geoespacial, são considerados 58 postos-chave da base de dados WEBMAP EPE, representando apenas empreendimentos em operação.

Figura II: Mapa QGIS Complexo Eólico Lagoa do Barro-Piauí. Fonte: produção do autor (2024). **Atualização Contínua dos Dados Geoespaciais** A constante atualização dos dados geoespaciais é crucial para garantir a precisão e a relevância dos modelos preditivos, cuja eficácia só pode ser avaliada após a construção e teste do modelo. Isso é especialmente importante no contexto dos rápidos avanços tecnológicos no setor de energias renováveis. Portanto, é necessária uma atualização contínua dos dados. O cenário atual demonstra o uso de aplicações remotas para essa atualização, mas, à medida que novos parques eólicos são implantados, novos mapeamentos devem ser explorados.

Coleta e análise dos Dados do Parque Eólico A aquisição de dados meteorológicos específicos, como velocidade e direção do vento, é fundamental para entender o ambiente onde os parques estão instalados e as características que influenciam a geração de energia. Os dados georreferenciados incluem coordenadas geográficas dos parques, topografia local (incluindo altitude, inclinação do terreno e tipo de solo) e condições de vento (como velocidade média, direção predominante e variações sazonais). Camadas de limites fluidodinâmicos diurnos e noturnos também serão representadas. Esses dados são essenciais para compreender a região dos parques e suas características, conforme discutido por Andrade (2018), Albrecht (2018) e Pereira (2020). A análise detalhada da topografia e das condições de vento permitirá a avaliação da eficiência dos projetos eólicos, conforme abordado por Gómez (2016) e Costa (2019).

Desenvolvimento de Modelo de IAA implementação de um modelo de inteligência artificial para avaliar a

¹ UENF, wilgoulartt@gmail.com

² UFRJ / UENF, raquelobosco@poli.ufrj.br

³ UENF, willycesar1@gmail.com

produção de energia eólica, com base em condições meteorológicas e geográficas, é uma abordagem promissora para otimizar a localização de novos parques eólicos. Utilizando dados como velocidade e direção do vento, topografia, altitude e inclinação do terreno, o modelo preditivo pode estimar a capacidade de geração de energia em diferentes locais, contribuindo para decisões estratégicas na expansão dos parques eólicos. A escolha dos algoritmos, como Regressão Linear, Redes Neurais Artificiais (ANNs) e Métodos de Árvore de Decisão, dependerá da complexidade dos dados e da precisão desejada nas previsões. Enquanto a Regressão Linear pode ser adequada para modelos mais simples, as Redes Neurais e os Métodos de Árvore de Decisão são mais eficazes para capturar padrões complexos e interações não lineares entre as variáveis. Essa abordagem oferece estimativas valiosas sobre como essas variáveis influenciam a eficiência dos parques eólicos existentes, permitindo ajustes e melhorias contínuas no desempenho. A utilização de imagens de satélite em combinação com modelos de IA representa uma metodologia moderna e eficaz para a análise e previsão no setor de energia renovável, proporcionando uma visão detalhada das condições que impactam a produção de energia eólica (Gómez, 2016; Zhang, 2019). Técnicas avançadas de aprendizado de máquina e redes neurais têm mostrado desempenho promissor na otimização e confiabilidade dos sistemas eólicos, revelando um potencial significativo para a produção de energia (Li et al., 2020; Monforti et al., 2017). Este estudo apresenta um mapeamento das técnicas e aplicações de inteligência artificial, incluindo modelos baseados em redes neurais e métodos de aprendizado de máquina voltados para sistemas eólicos. Esses métodos têm demonstrado resultados eficazes na previsão de desempenho e otimização de recursos eólicos, destacando-se na expansão da capacidade de geração eólica (Farid et al., 2019; Ren et al., 2018). A integração dessas ferramentas representa um avanço significativo para a indústria de energia renovável, contribuindo para uma melhor compreensão das variáveis envolvidas na produção de energia (Giebel et al., 2016).

Coleta e Preparação dos Dados: O primeiro passo consiste na coleta de dados: velocidade, direção do vento, e informações geográficas, como altitude e inclinação do terreno, que serão obtidos da base de dados Copernicus, especificamente do ERA5.

Definição do Modelo: A arquitetura do modelo varia de acordo com a complexidade dos dados e a precisão desejada, que só pode ser testada após a implementação. Um modelo baseado em Redes Neurais Artificiais (ANNs) é implementado utilizando Keras e TensorFlow. Na Figura III é apresentado um exemplo de uma rede neural simples (Coelho, 2022; Haykin, 2021).

Figura III: Organograma de estrutura de uma rede neural simples. Fonte: produção do autor (2024).

O modelo preditivo, fundamentado em redes neurais é descrito para prever a potência de geração de energia. Este modelo inclui: (1) Camada de Entrada, que recebe dados normalizados, como força e direção do vento, além de informações topográficas; (2) Primeira Camada Oculta, onde ativações não lineares, como ReLU, processarão os dados para extrair padrões significativos; (3) Segunda Camada Oculta, que refiná as características extraídas, possivelmente incorporando camadas de regularização; (4) Treinamento e Otimização, utilizando um algoritmo de regressão e técnicas de retropropagação, como o algoritmo Adam, para ajustar os pesos e minimizar o erro quadrático médio; (5) Camada de Saída, que fornece previsões contínuas baseadas nas entradas.

RESULTADOS ESPERADOS

Previsibilidade na Implantação de Novos Parques Eólicos Com a aplicação de modelos de inteligência artificial é possível estimar o potencial de geração de energia em diversas regiões do país. A capacidade de prever áreas favoráveis à instalação de turbinas eólicas pode contribuir diretamente para o planejamento eficiente do setor energético. **Ganhos de Eficiência nos Parques Eólicos** A expectativa é que a integração da modelagem preditiva, inteligência artificial e georreferenciamento resulte em ganhos de eficiência significativos para os parques eólicos. **Impacto Econômico e Ambiental** Com os resultados deste estudo espera-se alcançar um impacto positivo no setor energético. A expansão planejada e sustentável da energia eólica pode gerar empregos locais, atrair investimentos e fortalecer a transição energética do país. Além disso, ao reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis, o Brasil estará mais bem posicionado para cumprir seus compromissos ambientais internacionais.

BIBLIOGRAFIA OLIVEIRA, R. M. Estudos sobre a integração da energia eólica na rede elétrica do Nordeste. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energias Renováveis) – Universidade de Energias, Cidade, 2023. SILVA, M. F. Modelagem de Previsão de Vento e Eficiência de Turbinas Eólicas com Redes Neurais. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energias Renováveis) – Universidade de Energias, Cidade,

¹ UENF, wilgoulart@gmail.com

² UFRJ / UENF, raquelobosco@poli.ufrj.br

³ UENF, willycesar1@gmail.com

2020.ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Mapeamento dos parques eólicos no Brasil. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: Mai/2024.EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Dashboard de Energia Eólica Onshore: Base Existente, Evolução Temporal e Perspectivas. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: Mai/2024.ABEEólica - Associação Brasileira de Energia Eólica. Panorama dos parques eólicos no Brasil. Disponível em: <https://abeeolica.org.br>. Acesso em: Mai/2024.ZHANG, G. P. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*, v. 50, p. 159-175, 2003.ALBRECHT, S. J. H. Aplicação de modelos de previsão climática para a estimativa de potencial eólico. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) – Universidade de Ciências, Cidade, 2018.GÓMEZ, M. P. Modelagem de previsão de vento e eficiência de turbinas eólicas: uma análise das técnicas estatísticas e computacionais. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de Engenharia, Cidade, 2016.QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2024. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 26 ago. 2024.ANDRADE, J. C. Estudo sobre a evolução e crescimento dos parques eólicos no Nordeste do Brasil. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energias Renováveis) – Universidade de Energias, Cidade, 2018.PEREIRA, João Carlos. Topografia e Vento: Uma Análise da Influência da Geografia na Geração de Energia Eólica. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 9, n. 2, p. 48-61, 2020.COSTA, A. F. Avaliação do impacto da expansão dos parques eólicos na matriz energética regional. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Energias Renováveis) – Universidade de Energias, Cidade, 2019.LI, Xinhua et al. Advances in Wind Power Forecasting: A Comprehensive Review. *Energy Reports*, v. 6, p. 3015-3029, 2020.LI, Y. et al. A comprehensive review of artificial intelligence techniques for wind speed and power forecasting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 131, p. 110002, 2020.MONFORTI, Ferruccio et al. Wind Power Prediction: A Review of Methods and Applications. *Energy Reports*, v. 3, p. 1-9, 2017.FARID, Amira; OO, Amanullah M.; HOSSAIN, Jahangir. Artificial Intelligence in Wind Energy Systems: State of the Art and Future Directions. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 11, n. 4, p. 045905, 2019.REN, Ying; KUSIAK, Andrew; ZHAO, Peng. Data-Driven Predictive Modeling for Wind Turbines Condition Monitoring. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, v. 9, n. 1, p. 122-130, 2018.GIEBEL, G. et al. IEA Wind Task 36 Forecasting: state-of-the-art 2015. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States), 2016.COELHO, Leonardo dos Santos. Aprendizado de Máquina: Uma Abordagem Prática com TensorFlow e Keras. São Paulo: Novatec, 2022.HAYKIN, Simon. Redes Neurais: Princípios e Prática com Implementações em Keras e TensorFlow. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem preditiva, georreferenciamento, Inteligência Artificial, Parques Eólicos

¹ UENF, wilgoulart@gmail.com

² UFRJ / UENF, raquelobosco@poli.ufrj.br

³ UENF, willycesar1@gmail.com