



Eficientes Modelos de Previsão de Séries Temporais Advindos de Inteligência Artificial Aplicados na Previsão da Geração de Energia Eólica

Matheus Henrique Dal Molin Ribeiro, Ramon Gomes da Silva, Sinvaldo Rodrigues Moreno, Viviana Cocco Mariani, Leandro dos Santos Coelho

Crédito: Freepik

Energias renováveis desempenham um papel importante na matriz energética porque não há emissões de gases de efeito estufa evoluídas; além disso, há o crescimento do interesse pelo Certificado Internacional de Energia Renovável (I-REC) pelas empresas, que visa atender 100% do consumo de energia advinda de energias renováveis. Assim, a atenção global tem se voltado para a produção de energia por usinas solares e eólicas.

Os I-RECs são particularmente úteis para empresas com operações globais e, devido à sua capacidade de compra e venda, foi proposta uma meta global de 100% de uso de energias renováveis. Países que tiveram crescimento em fontes renováveis de energia e aumentaram sua capacidade instalada de energia solar e eólica são os maiores fornecedores (IREC, 2021).

As fazendas de geradores de energia eólica instala-

ram mais 93 gigawatts (GW) de capacidade em 2020, um crescimento de 53% ano a ano (GWEC, 2021). No Brasil, a produção de energia eólica já representa 17% do consumo da rede nacional, e a capacidade instalada cresceu 15,5% no ano passado (ABEEÓLICA, 2021). Na mesma direção, porém em menor percentual, a potência instalada da geração de energia solar foi aproximadamente 34,08 GW em 2021. O crescimento da capacidade

instalada de energia renovável não pode ser o único indicador de desempenho relacionado à eliminação das

distribuição de energia elétrica (Moreno et al., 2021). Devido à diversidade climática do Brasil, existe um potencial

podem afetar a estabilidade de um sistema de energia (Zhen et al., 2022). Métodos estatísticos e de aprendiza-

De modo geral, desenvolver modelos eficientes para previsão da geração de energia eólica e solar são necessários, uma vez que energias renováveis tem alta participação na composição da matriz energética global.

emissões de gases de efeito estufa. Nessa direção, o principal processo que pode garantir o melhor aproveitamento dos recursos naturais é a capacidade de prever a velocidade do vento ou irradiância solar no planejamento do despacho diário de energia elétrica, evitando ou minimizando os impactos na estabilidade do sistema e controle de frequência, o que também pode reduzir o excesso de corte de energia renovável (Moreno et al., 2020).

Importância da previsão para a geração de energia eólica

No contexto da produção de energia eólica, a velocidade do vento é afetada por incertezas devido às variações climáticas, o que a caracteriza como uma fonte intermitente de produção de energia em avaliações de longo prazo. Assim, o

desenvolvimento de modelos de previsão eficientes, projetados para prever a geração de energia eólica, são reconhecidos como uma importante contribuição para integração confiável de produção de energia eólica, em grande escala, na rede de geração e

significativo para a geração de energia eólica centralizada principalmente na região Sul e Nordeste do Brasil.

De modo geral, desenvolver modelos eficientes para previsão da geração de energia eólica e solar são necessários, uma vez que energias renováveis tem alta participação na composição da matriz energética global. A obtenção de modelos confiáveis só é possível com um

processo iterativo. Na verdade, a intermitência muda os padrões de consumo em uma previsão

de modo geral, para a geração de energia são necessários, que energias renováveis tem alta participação na composição da matriz energética global. A obtenção de modelos de previsão confiáveis só é possível com um processo de tomada de decisão as-

mi- e as mudanças na qualidade dos dados representam os desafios de uma tarefa de

gem de máquina podem ser desenvolvidos para obter previsões confiáveis de energia eólica. De uma perspectiva mais ampla, os métodos de aprendizagem por comitês de máquina compreendem um conjunto de métodos que podem resolver diferentes tipos de problemas e gerar sistemas preditivos com alta precisão.

Avaliando o desempenho de parques eólicos na Bahia

Com o objetivo de fomentar discussões no que se refere ao uso de técnicas com base em inteligência artificial para o desenvolvimento de previsão de séries temporais para área de energias renováveis, Ribeiro et al. (2022) propuseram e avaliaram o desempenho de modelos para previsão da geração de energia eólica de dois parques eólicos localizados na Bahia, nordeste do Brasil. Por meio da combinação de diferentes métodos, cada um designado para tratar as diferentes características das séries, como, por exemplo, ausência de estacionaridade, não-linearidades e intermitência. De modo geral, os pesquisadores avaliaram o desempenho de um comitê de máquinas que



combina reamostragem para séries temporais e o modelo com base em aprendizado de máquina denominado stacking ensemble.

O modelo proposto foi aplicado à previsão de séries temporais com avaliações de curtíssimo prazo de tempo (10 e 30 minutos) e curto prazo de tempo (60 e 120 minutos)

dos na etapa de treinamento dos modelos. Além disso, os resultados com média ponderada são 87,5% superiores aos de média aritmética para previsão de energia eólica nos horizontes de previsão avaliados.

Dessa maneira, os resultados de Ribeiro et al. (2022) mostraram que a integração



da geração de energia eólica. Valores aritméticos e médios ponderados foram utilizados para integrar as amostras da estratégia de reamostragem e stacking ensemble. Os resultados

obtidos mostraram que o modelo pro-

posto alcançou um desempenho de previsão superior aos dos modelos de previsão simples como stacking ensemble, aprendizado de máquina, redes neurais artificiais e modelos estatísticos, com erros de 7,63%, 7,58%, 20,8% e 25%, respectivamente, para dados da amostra utilizada, mas que não foram adota-

de estratégias de conjunto pode fornecer resultados de previsão precisos no campo de energias renováveis. De fato, os resultados oferecem uma visão no campo da

o modelo proposto alcançou um desempenho de previsão superior aos dos modelos de previsão simples como stacking ensemble, aprendizado de máquina, redes neurais artificiais e modelos estatísticos

previsão de energia eólica, porque o sistema de previsão proposto pode ser usado na manutenção preventiva de turbinas eólicas e operações no mercado de eletricidade, auxiliando assim na ampliação do uso de energias renováveis com mais eficiência e sustentabilidade.



**Matheus
Henrique Dal
Molin Ribeiro**



**Ramon
Gomes da
Silva**



**Sinvaldo
Rodrigues
Moreno**



**Viviana
Cocco
Mariani**



**Leandro
dos Santos
Coelho**

Os Pesquisadores

Matheus Henrique Dal Molin Ribeiro, Graduação em Matemática (2013) pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), mestrado em Bioestatística (2015) pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Atualmente é doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). É professor associado do Departamento de Matemática (DAMAT) da UTFPR, câmpus Pato Branco.

Ramon Gomes da Silva Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR (2019), Bacharel em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Pará - UEPA (2016) com Graduação Sanduíche Internacional em Industrial Engineering pela University of Southern Indiana - USI (2014). Atualmente, doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas na PUCPR.

Sinvaldo Rodrigues Moreno Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraná (UFPR) (2019). Atua no setor de energia renovável a mais de 15 anos, com pesquisas voltadas à previsão de séries temporais, identificação de padrões e modelagem de sistemas fotovoltaicos e eólicos. Atualmente participa de projetos de pesquisa como pesquisador independente.

Viviana Cocco Mariani Graduação em Matemática pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (1993), mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1997), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2002) e pós-doutorado em Sistemas de Informação na Università degli Studi di Padova (Itália, 2018). Professora titular do Departamento de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) e professora adjunta no Departamento de Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Leandro dos Santos Coelho Graduação em Informática (1994) e Engenharia Elétrica (1999) pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), mestrado em Ciência da

Computação pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1997), doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2000) e pós-doutorado em Sistemas de Informação na Università degli Studi di Padova (Itália, 2018). Professor titular do curso de Engenharia de Controle e Automação da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) e professor adjunto no Departamento de Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Contato

mribeiro@utfpr.edu.br

Referência

International REC Standard Foundation. Avoided emission rights and RECs. 2021. (Acessado em 09 de dezembro de 2021). Disponível em: <https://www.irecstandard.org/what-are-recs/>.

Global Wind Energy Council (GWEC). Global wind report. 2021. URL: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/> (Acessado em 09 de dezembro de 2021).

Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica). INFOVENTO, Brasil, No. 19. 2021. URL: http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2021/02/2021_02_18_InfoVento19.pdf Acessado em 09 de dezembro de 2021.

MORENO, Sinvaldo Rodrigues; MARIANI, Viviana Cocco; DOS SANTOS COELHO, Leandro. Hybrid multi-stage decomposition with parametric model applied to wind speed forecasting in Brazilian Northeast. *Renewable Energy*, v. 164, p. 1508-1526, 2021.

ZHEN, Zhao et al. An ultra-short-term wind speed forecasting model based on time scale recognition and dynamic adaptive modeling. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 135, p. 107502, 2022.

RIBEIRO, Matheus Henrique Dal Molin et al. Efficient bootstrap stacking ensemble learning model applied to wind power generation forecasting. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 136, p. 107712, 2022.

