

## PROPOSTA DE UM SIMULADOR DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

JOAB TAVARES FAGUNDES<sup>1</sup>; PAULO JEFFERSON DIAS DE OLIVEIRA  
EVALD<sup>2</sup>;

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas – joabtavaresf02@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas – paulo.evald@ufpel.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

A energia eólica tornou-se uma fonte primária de energia cada vez mais importante para a geração de eletricidade limpa em nível mundial, pois desempenha um papel importante na transição para geração de energia com responsabilidade ambiental. Nas últimas décadas, testemunhamos avanços significativos na indústria de energia eólica, tanto em termos de aumento da capacidade instalada quanto melhorias em nível de hardware e software para tais tecnologias, que culminaram em maior eficiência das turbinas eólicas. A geração de energia usando o vento como fonte primária bateu um recorde de produção (3.051,29 MW) no Brasil em 2021, o que corresponde a 11,11% da geração de eletricidade do país até o momento [1].

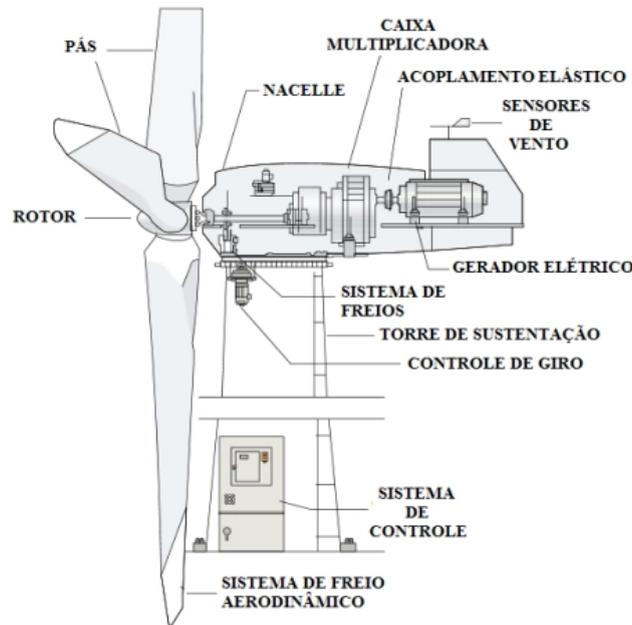
Uma das principais razões para a expansão dos sistemas de geração de energia eólica é a redução do custo e maior eficiência das turbinas eólicas e geradores utilizados nesses sistemas. As turbinas eólicas são projetadas para captar a máxima energia do vento. Entretanto, a velocidade de giro das pás deve ser ajustada para otimizar a produção de energia. Neste viés, novos controladores têm sido propostos para ajustar a inclinação das pás, regular a velocidade de giro das pás e movimentar a nacelle, com objetivo de melhorar a eficiência desses sistemas, enquanto contribui para a estabilidade da rede. O uso de controladores sofisticados permite extrair a máxima potência do vento em condições de velocidade variável, tornando esses sistemas competitivos em relação aos sistemas tradicionais de geração de energia.

Diante das diversas estratégias de controle desenvolvidas para os geradores e turbinas eólicas, destaca-se a importância de avaliar a robustez e capacidade dessas técnicas em manter a estabilidade do sistema sob condições não nominais. Dessa forma, este trabalho investiga a possibilidade de desenvolver um simulador compreensivo para sistemas de geração de energia eólica, o qual considera os geradores mais populares nessa área e permite testar diversas técnicas de controle sob condições de vento variadas, objetivando avaliar qual conjunto gerador-controlador é mais eficiente para determinadas condições climáticas. Inicialmente, avalia-se a viabilidade de criação de um simulador utilizando o MatLab ou Excel, analisando qual software mais adequado para simulação do comportamento das principais dinâmicas que descrevem o gerador e a turbina eólica.

## 2. METODOLOGIA

A criação do simulador começou com um estudo metucioso dos componentes fundamentais de uma turbina eólica: pás, rotor, nacelle, caixa de engrenagens, gerador elétrico, sistema de freio, controladores de giro e de inclinação das pás, sensores de vento (velocidade e direção) e o sistema de sustentação da torre. A Figura 1 apresenta os componentes principais de uma torre eólica horizontal.

Figura 1. Torre horizontal eólica.



Fonte: (CBEE/UFPE, 2000).

Após a identificação dos componentes do sistema, passa-se a etapa de modelagem matemática dos subsistemas, considerando as dinâmicas que relacionam os subsistemas, utilizando as leis da física e conhecimento de engenharia necessários para tal. A entrada do sistema é a velocidade do vento. Neste viés, pode-se utilizar modelos matemáticos conhecidos para descrever o comportamento desse parâmetro fundamental, ou utilizar dados meteorológicos obtidos de estações meteorológicas. Porém, esta segunda opção requer um estágio de tratamento dos dados adequado para sua utilização.

A primeira malha de controle é em relação às pás e nacelle, conhecida como malha de controle de pitch, yaw e stall. Pretende-se avaliar os controladores já consagrados na literatura, tais como controlador de corrente rotórica, controlador proporcional-integral-derivativo, GIDA, entre outros [2]. No simulador final, pretende-se disponibilizar uma forma simples de selecionar a técnica de controle desejada de forma simples e intuitiva, bem como uma opção para inserção do seu próprio controlador.

Em um segundo estágio têm-se os componentes mais complexos do sistema, envolvendo a conversão de energia, retificação e adequação das correntes às normas vigentes para disponibilização de potência aos usuários [3]. Nesta parte, pretende-se considerar diferentes geradores, conversores e filtros para simular diferentes sistemas eólicos. Também será possível escolher e modificar os controladores dos geradores e conversores assim como no estágio

anterior. Com isso, têm-se a possibilidade de montar virtualmente diversos sistemas de geração de energia eólica modularmente e avaliar múltiplas estratégias de controle para as várias dinâmicas que regem tal sistema.

Este simulador poderá ser utilizado em cursos técnicos, graduação e pós-graduação para ensino de controladores, como um sistema real de teste de tais estratégias, bem como por pesquisadores e profissionais da área de energia para avaliar as melhores estratégias para instalação de um sistema eólico em determinadas localidades tendo conhecimento das características do vento desta região.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto está em seus passos iniciais, tendo início em 01 de Setembro de 2023. Portanto, apenas a metodologia foi definida até o momento. Atualmente, está sendo realizada a modelagem matemática dos subsistemas que compõem um sistema de geração de energia eólica. Neste estágio, inicia-se pela modelagem da turbina eólica e a relação da velocidade do vento com a potência gerada pela turbina de três pás em função de suas características construtivas. A seguir, pretende-se modelar três geradores comumente utilizados nesses sistemas: PMSG, SCIG e DFIG. Por fim, será modelado os conversores back-to-back, barramento CC, e conversores do lado da rede com filtro passivo (LCL, LC, ou LLCL).

Inicialmente, será utilizado o Excel para verificação rápida dos modelos iniciais da turbina, visando projetar o modelo adequado de uma turbina eólica, considerando os aspectos construtivos da torre e características do vento. Em seguida, os modelos mais complexos, do gerador e conversores serão devidamente programados no software Matlab, que é adequado para realizar simulações numéricas de sistemas complexos. Tais modelos serão integrados aos modelos previamente validados da turbina. Com isso, será possível simular um sistema completo de geração de energia eólica. Pretende-se, ao final do estudo, comparar os resultados obtidos com algum modelo consolidado no software OpenFAST, popular na comunidade acadêmica de pesquisadores de controladores para sistemas eólica. Esta etapa não tem o objetivo de competir com o estado da arte, mas sim validar nosso simulador, para então disponibilizá-lo de forma aberta à comunidade acadêmica gratuitamente.

### 4. CONCLUSÕES

A pesquisa em andamento terá como resultado um simulador compreensivo e gratuito para suporte da comunidade acadêmica e profissionais da área de energia renovável, visando contribuir para expansão dessas tecnologias. Esta ferramenta também poderá ser utilizada para fins didáticos para ensino de sistemas de controle e até mesmo eletrônica de potência, dada a versatilidade que almeja-se na versão final do simulador. Nossa visão é integrar este simulador com plataformas consolidadas pela comunidade acadêmica, tais como Simulink e Excel, tornando-o acessível a um público mais amplo e democratizando o acesso aos códigos e dados de simulação.

Além disso, estamos comprometidos em manter um repositório abrangente de todos os modelos e variações testados. Essa biblioteca de dados será de grande utilidade para pesquisas futuras, treinamentos de inteligência artificial para

análise de comportamento dos ventos e geração de energia e até mesmo o desenvolvimento de algoritmos inteligentes de compensação automatizados.

Após validado o modelo, pretende-se projetar novas técnicas de controle para os geradores, com intuito de aumentar sua eficiência. Tais técnicas serão comparadas com as estratégias clássicas adotadas pelos trabalhos da literatura. Dessa forma, almeja-se divulgar os resultados em periódicos internacionais reconhecidos globalmente, com intuito de que nossas descobertas possam ter impactos positivos em larga escala pelo mundo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2022: Ano base 2021. Rio de Janeiro: EPE, 2022. p. 123.
- [2] Singh, B., Singh, S.N., Kyriakides, E. (2010). Intelligent Control of Power Electronic Systems for Wind Turbines. In: Wang, L., Singh, C., Kusiak, A. (eds) Wind Power Systems. Green Energy and Technology, vol 0. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-13250-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-13250-6_10)
- [3] F. Blaabjerg, F. Iov, Z. Chen and K. Ma, "Power electronics and controls for wind turbine systems," 2010 IEEE International Energy Conference, Manama, Bahrain, 2010, pp. 333-344, <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON.2010.5771701>.
- Stavrakakis, G. & Pouliezos, Anastasios. (2021). Electrical Parts, Control Systems and Power Electronics of Wind Turbines. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00170-9>.