



Inteligência artificial aplicada a manutenção preditiva de geradores síncronos: uma revisão de metodologias

Artificial Intelligence Applied to Predictive Maintenance of Synchronous Generators: A Review of Methodologies

GABRIEL SAFRANSKI TORRES¹, DIOGO MARUJO²

RESUMO

O consumo global de energia tem experimentado um aumento constante ao longo dos anos, impulsionando a necessidade de expandir as fontes de energia elétrica e otimizar as atuais fontes de geração, buscando reduzir os custos. Neste sentido, os custos associados com manutenção geradores síncronos são reconhecidamente altos. Uma alternativa estudada nos últimos anos para reduzir este custo é a realização da manutenção preditiva, que busca prever quando será o melhor momento para realizar intervenções nos equipamentos. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre tema aplicado geradores síncronos, abrangendo os avanços recentes nesse campo crucial, enfatizando a importância da inteligência artificial na eficiência operacional e sustentabilidade do setor elétrico global. O objetivo é sumarizar trabalhos que abordem metodologias baseadas em informações coletadas diretamente dos geradores síncronos de usinas, capazes de identificar condições operativas adequadas.

PALAVRAS-CHAVE: Geradores Síncronos; Inteligência Artificial; Manutenção Preditiva

ABSTRACT

Global energy consumption has experienced a constant increase over the years, driving the need to expand electrical energy sources and optimize current generation sources, seeking to reduce costs. In this sense, the costs associated with maintaining synchronous generators are known to be high. An alternative studied in recent years to reduce this cost is predictive maintenance, which seeks to predict when the best time to carry out interventions on equipment will be. This work presents a bibliographical review on the applied topic of synchronous generators, covering recent advances in this crucial field and emphasizing the importance of artificial intelligence in the operational efficiency and sustainability of the global electricity sector. The objective is to summarize works that address methodologies based on information collected directly from synchronous plant generators capable of identifying suitable operating conditions.

KEYWORDS: Synchronous Generators; Artificial Intelligence; Predictive Maintenance

INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), 2023, estima-se que em 2024 o consumo mundial de energia elétrica aumente 3.3% em relação ao ano de 2023, o que equivale a três vezes o consumo total de energia registrado somente na Alemanha em 2022. Esse aumento de demanda leva a necessidade de aprimorar os sistemas de geração e transmissão. Atualmente, parte da energia é gerada por meio de fontes renováveis como energia solar, energia eólica e hidroelétrica. Dessa forma, quando se cita a otimização dos sistemas de geração, tem-se por objetivo garantir o funcionamento adequado e confiável dessas fontes de energia (Wang, Wang, & Li, 2016).

¹ Bolsista do PIBIC CNPQ — CNPQ / Bolsa de Iniciação científica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil. E-mail: gabrieltorres@alunos.utfpr.edu.br ID Lattes: 6205561637092097.

² Docente no Curso de Eng. Elétrica/Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil. E-mail: diogomarujo@utfpr.edu.br ID Lattes: 0507143597634871.



Entre as fontes de geração baseadas em energias renováveis, a energia fotovoltaica não possui partes móveis no seu processo de geração. Por outro lado, a geração eólica e a hidroelétrica necessitam de maiores cuidados quanto a manutenção de seus grupos geradores (Wang, Wang, & Li, 2016). Os custos associados com manutenção são reconhecidamente altos, podendo chegar a 70% do orçamento, quando não realizados de forma correta (Wang, Wang, & Li, 2016).

A utilização de métodos para inteligência artificial (IA) é bem ampla atualmente, podendo-se afirmar que a sociedade passa por um momento de euforia com o uso de tais ferramentas (Sichman, 2021). No que tange a manutenção preditiva, a utilização de IA também tem se mostrado promissora. Em meio a tantas opções disponíveis, surge a tarefa de se identificar qual técnica de IA pode ser aplicada ao sistema ou a um determinado problema analisado. Dessa forma, fez-se necessário um melhor entendimento sobre tais métodos e algoritmos disponíveis. Algumas das principais ferramentas utilizadas atualmente na análise de dados, baseada em inteligência artificial, são: Árvores de decisão, Modelos baseados em algoritmos Naïve Bayes, Redes Bayesianas, Redes neurais artificiais, Máquina de Vetor Suporte e o Métodos de Grupos (Amaral, 2016). No que tange a aplicação de IA em manutenção preditiva, as Redes Neurais Artificiais (Wang, Wang, & Li, 2016; Velasquez & Flores, 2022) e, de maneira menos notável, métodos baseados em Máquinas de Vetor Suporte têm sido utilizados (Betti, et al., 2021).

Considerando o potencial de aplicação da análise de dados na manutenção preditiva de geradores síncronos, este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema. O objetivo é sumarizar trabalhos que abordem metodologias baseadas em informações coletadas diretamente dos geradores das usinas, capazes de identificar condições operativas adequadas, assim como indicar a necessidade da realização de manutenção preditiva dos geradores, antes de uma falha crítica ocorra ou que o custo para manutenção seja superior àquele da manutenção preditiva.

MANUTENÇÃO EM GERADORES SÍNCRONOS

Em (Simeón, 2008) existem majoritariamente três tipos de manutenção utilizadas em usinas de geração de energia elétrica: A Manutenção Preventiva, a Manutenção Corretiva e a Manutenção Preditiva (Velasquez & Flores, 2022)

A manutenção preventiva consiste basicamente em atuar com o processo de manutenção de forma agendada e sem que as máquinas apresentem algum problema ou defeito real. Atualmente é o método mais utilizado de manutenção, mesmo que apresentando perdas financeiras significativas para as usinas (Wang, Wang, & Li, 2016).

Já a manutenção corretiva é baseada no princípio de correção de um defeito ou problema já existente na unidade geradora. É considerado como não recomendado para operação de usinas, já que o mesmo apenas é aplicado como consequência de um problema que afetou a operação da máquina, podendo gerar grandes custos para o orçamento da planta (Velasquez & Flores, 2022).

O terceiro tipo de manutenção aplicada a geradores é a manutenção preditiva, que busca prever quando será o melhor momento para realizar intervenções no gerador. Este tipo de manutenção ainda é menos comum devido a necessidade de instalação de equipamentos de monitoramento especiais, os quais acabam sendo de custo inicial elevado (Velasquez & Flores, 2022).



PRINCIPAIS INDICADORES DE “SAÚDE” DE GERADORES SÍNCRONOS

Um dos aspectos mais importantes para a determinação do estado de saúde de uma máquina síncrona são seus indicadores de operação, usualmente categorizados como KPI's (Key Performance Indicators), os quais são utilizados em diversos trabalhos (Velasquez & Flores, 2022; Betti, et al., 2021; Rakhshani et al., 2019; Souza, 2008).

A ideia de estruturação de tais indicadores é utilizada para diferentes áreas práticas do mundo real, indo desde o setor administrativo até a engenharia. No caso deste estudo, foi dado maior ênfase no estudo de KPI's utilizados para determinação da “saúde” de máquinas elétricas, em especial, geradores síncronos. Após uma revisão mais detalhada, existem dois pseudocasos do uso de KPI's: (i) os KPI's que necessitam a instalação de equipamentos de medição dedicados, como vibração, pressão de óleo em mancais, temperatura de operação de mancais, temperatura de operação do eixo, etc; (ii) os KPI's utilizados baseados em medidas de operação constante dos geradores, como os valores de tensão (linha e fase), valores de corrente (linha e fase), defasamento angular, potência ativa, potência reativa além de outros indicadores do mesmo estilo.

A utilização de KPI's de operação constante fornecem maior facilidade para levantamento de dados devido ao fato de nem todas as plantas de geração trabalharem com sensores de medições específicas. Dessa forma, a utilização de métodos que se demonstrem eficazes para tais grandezas é mais recomendada, porém, não exclusivamente necessária.

Já para a medição de KPI's de medição específica, seria necessária a aplicação de sensores especiais e que demandam custos adicionais para as plantas supracitadas. Porém, trabalhos que utilizaram medições especiais (KPI's de medição específica) apresentaram resultados mais favoráveis e precisos nos processos de determinação dos momentos ideais para a manutenção preditiva.

REVISÃO DE MÉTODOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA

Nesta fase do trabalho, buscou-se identificar quais métodos e algoritmos DE análise de dados foram mais utilizados e quais apresentaram melhores resultados na manutenção preditiva de geradores. Foi considerado também a questão dos trabalhos utilizarem ou não dados reais de usinas de geração de energia.

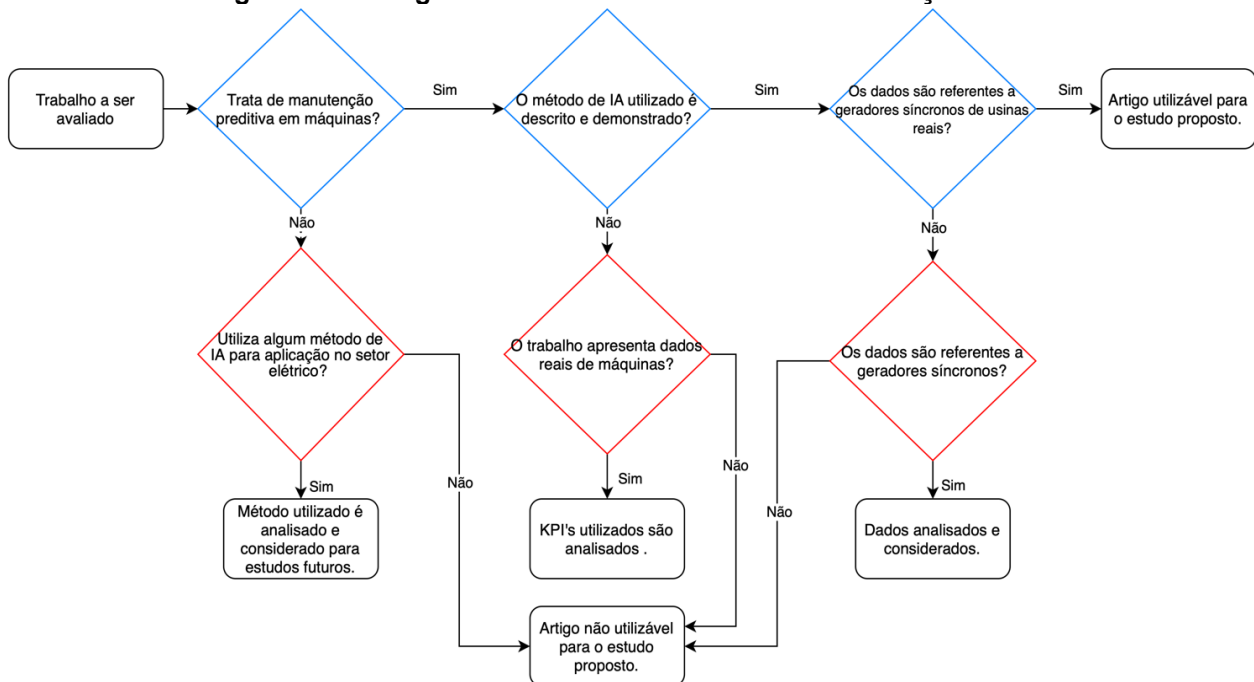
Alguns trabalhos indicam que os algoritmos de redes neurais são mais eficazes do que outros, como o caso em que uma Rede Neural Recorrente obteve um resultado de 99% de precisão ao indicar o ponto ótimo para manutenção frente a 70% de precisão apresentado por uma Rede Neural Simples (Velasquez & Flores, 2022).

Em Souza (2008) a manutenção de geradores síncronos foi estudada a partir de métodos baseados em análise de sistemas em camadas, o qual pode apresentar menor complexidade computacional. É interessante ressaltar que alguns trabalhos analisados apresentaram métodos alternativos aos de aplicação de inteligência artificial. Oliveira (2021) utilizou uma Análise Hierárquica do Processo (AHP) identificar quais unidades geradoras em uma usina deveriam ser priorizadas para a manutenção preventiva (Oliveira, 2021).

METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DE TRABALHOS PRÉVIOS NA ÁREA

A metodologia e os critérios utilizados para a classificação dos artigos estudados, focando a manutenção preditiva em geradores síncronos, são descritos na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma utilizado no método de classificação dos trabalhos



Fonte: Autoria própria

RESULTADOS OBTIDOS

Ao aplicar os critérios estabelecidos e demonstrados no fluxograma anterior, foi possível classificar os artigos conforme a Tabela 1. Foi atribuído um peso de 5 pontos para os itens em azul no fluxograma e 2 pontos para os subitens em vermelho.

Foi possível identificar que os trabalhos Velasquez & Flores (2022), Betti, et al. (2021) e Bâra (2017) apresentaram os melhores resultados, segundo os critérios definidos pelos autores e apresentados na Figura 1, com uma nota final de 15 pontos. Este arquivos alcançaram a maior nota, uma vez que todos os itens principais de classificação (em azul) foram atendidos.

Dessa forma, infere-se que tais trabalhos são adequados para o do estudo escolhido, isto é, aplicado a manutenção preditiva de geradores síncronos. Além disso, os três trabalhos utilizam IA baseada em redes neurais, indicando assim que este método pode apresentar melhores resultados para a aplicação desejada no tema.



Tabela 1 - Classificação dos trabalhos analisados no estudo por itens e subitens

Referência do Trabalho	Nível 1			Nível 2			Nota Final
	Trata de manutenção o preditiva em Geradores?	O método de IA utilizado é descrito e demonstrado ?	Refere-se a geradores síncronos de usinas reais?	Utiliza algum método de IA para aplicação no setor elétrico?	Apresenta dados reais de geradores?	Os dados referem-se a geradores síncronos ?	
(Wang, Wang, & Li , 2016)	5	0	0	**	0	5	7
(Velasquez & Flores, 2022)	5	5	5	**	**	**	15
(Betti, et al., 2021)	5	5	5	**	**	**	15
(Rakhshani, Gusain, Sewdien, Torres, & Van der Meijden, 2019)	5	0	5	**	5	**	12
(Souza, 2008)	5	0	0	**	5	5	9
(Oliveira, 2021)	0	0	5	0	5	**	7
(Simeón, 2008)	0	5	0	0	**	0	5
(Franco, 2020)	0	5	0	5	**	0	7
(Chain, 2019)	0	0	0	0	5	5	4
(Bâra, 2017)	5	5	5	**	0	**	15

Obs: Nível 1 - Sim = 5 pontos, Não = 0 pontos; Nível 2 - Sim = 2 pontos, Não = 0 pontos, ** = Não pontua, condição anterior verdadeira.

Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÕES

A aplicação de inteligência artificial na manutenção preditiva de geradores síncronos possui grande potencial visando assim a redução de gastos e ainda garantir a melhor “saúde” das máquinas. Este artigo buscou levantar dentre os estudos já disponíveis sobre o assunto na literatura, quais as metodologias que podem ser utilizadas de forma a obter resultados satisfatórios futuramente. Com base em alguns critérios, as referências foram classificadas. Este trabalho serviu de base para um estudo futuro na área, utilizando métodos de IA como as redes neurais, ou ainda, redes neurais recursivas, que apresentaram excelentes resultados nos trabalhos analisados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPQ e a UTFPR pela bolsa de iniciação científica e pela oportunidade de produzir um trabalho acadêmico com tanto incentivo e direção.

CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, Fernando. **Aprenda Mineração de Dados**. 1ª edição. ed. [S.I.]: Alta Books, v. 1, 2016.
- BÂRA, Simona V. O. A. A. Key Technical Performance Indicators for Power Plants. **Intech, Open Science Open Minds**, 2017. 9-25.
- BETTI, Alessandro *et al.* Condition monitoring and predictive maintenance methodologies for hydropower plants equipment, Pisa, Italy., 22 February 2021.
- CHAIN, Gabriela Ribeiro Cabral. **Panorama de aspectos da quarta revolução industrial na manutenção de usinas hidrelétricas brasileiras**. 2019. 94 p. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.
- FRANCO, Igor Tedeschi. **Manutenção preditiva utilizando técnicas de machine learning em um sistema embarcado**. 2020. 77 p. Trabalho de Conclusão de Curso — UNISINOS, São Leopoldo, 2020.
- IEA. (2023). *IEA*. Retrieved Agosto 12, 2023, from International Electricity Agency:
- IEA. IEA. **International Electricity Agency**, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/news/declining-electricity-consumption-in-advanced-economies-is-weighing-on-global-demand-growth-this-year#>. Acesso em: 12 Agosto 2023.
- OLIVEIRA, Patrícia D. S. **Otimização da Agenda de Manutenção das Turbinas de uma Usina Hidrelétrica**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 79. 2021.
- RAKSHANI, Elyas *et al.* A Key Performance Indicator to Assess the Frequency Stability of Wind Generation Dominated Power System, Delft, Holanda., 24 Setembro 2019.
- SICHMAN, Jaime S. Inteligência Artificial e sociedade: avanços e riscos. **Inteligência Artificial e sociedade: avanços e riscos**, São Paulo, Brasil., Janeiro - Abril 2021.
- SIMEÓN, Edgar Jhonny Amaya. **Aplicação de técnicas de inteligência artificial no desenvolvimento de um sistema de manutenção baseada em condição**. 2008. 193 p. Dissertação de mestrado — Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- SOUZA, Rodrigo D. Q. **METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA VISANDO A MELHORIA DA CONFIABILIDADE DE ATIVOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 226. 2008.
- VELASQUEZ, Victor ; FLORES, Wilfredo. Machine Learning Approach for Predictive Maintenance in Hydroelectric Power Plants, Tegucigalpa, Honduras, 2022.
- WANG, Shewei; WANG, Kesheng; LI , Zhe. A Review on Data-driven Predictive Maintenance Approach for Hydro Turbines/Generators. **International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation (IWAMA 2016)**, Zhengzhou, China, 2016. 30 - 35.