

## **PREDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA: uma revisão bibliográfica na base de dados SciELO**

Tiago Dias de Souza<sup>1</sup>  
Fernando Gonçalves Penna Neto<sup>2</sup>  
Cláudia Eliane da Matta<sup>3</sup>

Energias Renováveis e possibilidades de aplicação.

### *Resumo*

No momento da atual crise climática global, a utilização de energias renováveis é cada vez mais importante. No entanto, com a inserção de energias renováveis no sistema elétrico, um dos maiores desafios é ter boas previsões de consumo. Neste sentido, o objetivo deste artigo foi investigar os métodos de predição do consumo de energia elétrica presentes na literatura. Tais estimativas são fundamentais para a tomada de decisões no setor de energia, do ponto de vista técnico, econômico e ambientalmente sustentável. Esta é uma pesquisa qualitativa, na qual foi feita uma revisão sistemática. Após esta revisão, quatro artigos foram analisados. Os resultados indicam que existem modelos robustos com base em redes neurais, em programação linear e em modelos econométricos.

**Palavras-chave:** Energias Renováveis; Revisão Sistemática da Literatura; Consumo de Energia Elétrica; Previsão.

## **I**NTRODUÇÃO

Esta pesquisa é fruto de uma iniciação científica e insere-se no contexto das energias renováveis. As energias renováveis vêm ganhando cada vez mais tração na atualidade devido a pautas ambientalistas, que visam manter os efeitos das mudanças climáticas em um mínimo (Rogelj *et al.*, 2016).

Com as mudanças climáticas causadas pela emissão de gases do efeito estufa tornando-se um problema cada vez mais importante na atualidade, a descarbonização de setores da economia

---

<sup>1</sup> Aluno de iniciação científica do curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá (Unifei) – Instituto de Sistemas Elétrica e Energia (ISSE), d2022006640@unifei.edu.br

<sup>2</sup> Aluno de iniciação científica do curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá (Unifei) – Instituto de Sistemas Elétrica e Energia (ISSE), d2022006640@unifei.edu.br

<sup>3</sup> Profa. Dra. da Universidade Federal de Itajubá (Unifei) – Instituto de Sistemas Elétrica e Energia (ISSE), claudia.matta@unifei.edu.br

é essencial para mitigar essas mudanças climáticas (Mahfood *et al.*, 2023). Uma área propensa à descarbonização é o setor elétrico, onde a implementação de tecnologias para previsão de consumo de energia elétrica pode aumentar a eficiência de geração; prevenir apagões elétricos e reduzir os preços de energia elétrica (Mahfood *et al.*, 2023). Com a inserção de energias renováveis no sistema elétrico, um dos maiores desafios é ter boas previsões de consumo num determinado horizonte temporal, desde minutos até décadas.

Neste contexto, a previsão de consumo de energia elétrica torna-se essencial para o planejamento a longo prazo da implementação de fontes de geração renovável, ao levar em conta diferentes períodos do ano, ou outros fatores importantes para o consumo (Azadeh *et al.*, 2013).

Desta forma, este estudo tem o objetivo de realizar uma revisão sistemática de literatura para investigar os métodos de previsão do consumo de energia elétrica. Este estudo justifica-se, pois, essa revisão auxilia no levantamento de pesquisas publicadas anteriormente e fornece uma visão geral do que está sendo desenvolvido na área.

## METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa qualitativa, na qual foi feita uma revisão sistemática da literatura. Para este estudo preliminar, foi escolhida a base de dados *Scientific Electronic Library Online* (SciELO)<sup>4</sup>, escolhida por ser uma base de dados com um servidor nacional e reconhecida como confiável mundialmente. A pesquisa foi realizada no mês de julho de 2024. O desenvolvimento metodológico deste estudo teve como base os direcionamentos de Livschitz e Dream (2023) sobre como conduzir uma revisão sistemática de literatura.

A primeira etapa da pesquisa, foi elaborar desenvolver uma pergunta de pesquisa que abordasse a lacuna de pesquisa, esta pergunta foi: “Quais são os métodos de previsão do consumo de energia elétrica?”.

A segunda etapa foi a definição de um protocolo para identificar trabalhos relevantes, conforme o Quadro 1. De acordo com as autoras, essa etapa é muito importante, pois o protocolo fornece o roteiro para a revisão sistemática (Livschitz; Dream, 2023). O protocolo tem quatro componentes principais: (1) seleção de quantos e quais bases de dados serão utilizadas para

---

<sup>4</sup> <https://www.scielo.br>

identificar estudos, (2) definição dos critérios de inclusão e exclusão, (3) desenvolvimento de uma estratégia de busca e (4) determinação de um conjunto padronizado de informações ou dados que serão extraídos de cada estudo para análise.

Quadro 01 – Protocolo adotado para a revisão sistemática da literatura.

<b>Critério</b>	<b>Inclusão (CI)</b>	<b>Exclusão (CE)</b>
Tópico de estudo	Estudos que abordam métodos de previsão de energia elétrica (CI1)	Estudos na forma de revisões da literatura. (CE1)
Tipo de documento	Artigos de resultados de pesquisas publicados em revistas científicas. (CI3)	Estudos na forma de dissertações ou teses resumidas, conferências ou editoriais, livros, resenhas de livros, notas editoriais, notícias e relatórios. (CE2)
		Sem revisão por pares. (CE3)
Língua	Português, espanhol ou inglês (CI 4)	

Fonte: Os autores (2024).

A terceira etapa foi a procura, na base de dados SciELO, por uma lista de publicações de potencial interesse, contendo as palavras-chaves: “predição” ou “previsão” e “energia”. Para isso foi utilizada a *string* de busca “(predição *OR* previsão) *AND* energia *AND* elétrica”, que parecia englobar os assuntos a serem retratados por esta pesquisa.

A quarta etapa foi a verificação da validade metodológica das publicações, além da tabulação dos estudos, de acordo com os dados: título; ano; resumo; palavras-chave e objetivo. Esses passos foram feitos a fim de garantir resultados válidos para esta pesquisa, e também organizar e deixar claro, de forma uniformizada, quais artigos serão incluídos no grupo final de análise.

A quinta etapa foi a aplicação dos critérios de inclusão, anteriormente definidos, para a criação do grupo final de análise, assim, excluindo estudos que não se encaixavam nos critérios de inclusão e justificando as exclusões na seção de resultados deste estudo.

A sexta etapa foi a extração do conteúdo de cada estudo. Os resumos foram lidos para

identificar os métodos de previsão utilizados pelos autores e os artigos selecionados foram lidos e tiveram seus resultados e técnicas de análise brevemente descritas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa na base de dados SciELO produziu 17 estudos de possível interesse ao pesquisar pela *string* de busca. Posteriormente, os títulos, resumos, palavras-chave e objetivos das publicações foram separados, para analisar quais discutiam sobre métodos para a predição de consumo de energia elétrica. Ao realizar uma análise preliminar, foram identificadas 12 publicações que não se enquadraram no tema da pesquisa, e estas foram prontamente excluídas. Com 5 publicações restantes, elas foram lidas e avaliadas quanto à elegibilidade, assim, uma foi excluída deste estudo por ser uma revisão, encaixando-se no critério CE2. Desta forma, 4 artigos (Reis; Silva, 2004; Rodrigues; Borges; Falcão, 2007; Irffi *et al.*, 2009; Urgilés *et al.*, 2021) foram considerados para análise. A Figura 1 mostra o processo de revisão sistemática realizado.

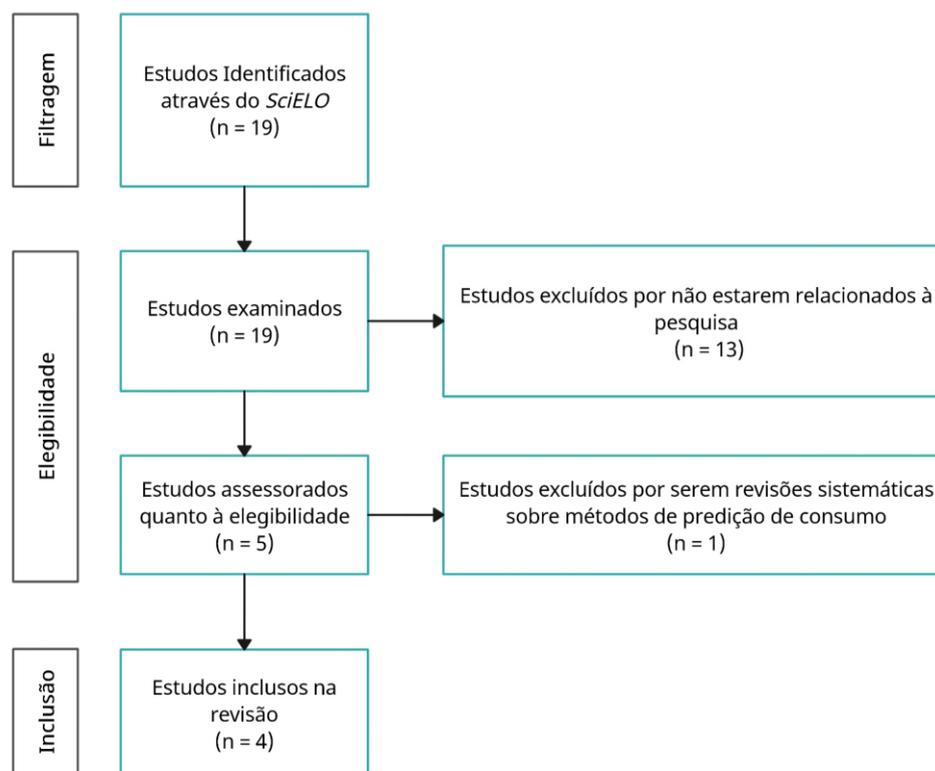


Figura 1. Fluxograma da revisão sistemática. Fonte: Os autores (2024).



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

Os estudos de Reis e Silva (2004) e de Urgilés *et al.* (2021) são sobre a previsão de consumo de energia elétrica e utilizam de redes neurais artificiais em conjunto com a técnica *wavelet* para o tratamento dos dados. Os algoritmos *wavelet* processam dados em diferentes escalas e resoluções, permitindo que seja visto tanto o todo quanto os detalhes de um sinal (Barbosa; Blitzkow, 2008).

O estudo de Reis e Silva (2004), discute técnicas para a previsão de carga a curto prazo baseada na transformada *wavelet* discreta com o objetivo de desenvolver um previsor neural de carga mais robusto. Dois anos completos de dados de carga de uma concessionária de energia elétrica norte-americana foram utilizados para testar a metodologia proposta. O primeiro modelo relatado (M1) apresenta em seus dados de entrada uma série normalizada e padronizada; o segundo modelo (M2) apresenta a série de M1 com técnicas de diferenciação; o terceiro modelo (M3) apresenta normalização, padronização e análise via *wavelet* na rede neural; e o quarto modelo (M4) apresenta somente a decomposição por *wavelet* na composição da rede neural. Os resultados mostraram que M3 apresentou maior eficácia frente a M1 e M2, em um intervalo de 1 a 24 horas, e M4 mostrou resultados satisfatórios no intervalo de 1 a 8 horas. Convém destacar que

[...] a previsão da carga elétrica que vai ser consumida em um determinado horizonte temporal tem-se tornado um dos alvos das pesquisas das empresas concessionárias de energia elétrica. Ao longo das últimas décadas, diversos métodos de cálculo estatístico têm sido usados para realizar estas previsões; no entanto, com a evolução da computação, novas técnicas baseadas na inteligência artificial conseguiram desenvolver-se com bons resultados (Bou; Ferreira, 2014).

O estudo de Urgilés *et al.* (2021) utiliza três modelos de redes neurais para prever o comportamento do consumo de eletricidade com dados obtidos de uma instituição de ensino. O primeiro modelo usa redes neurais convencionais; o segundo usa redes neurais com *wavelet*; e o terceiro usa redes neurais com polinômios potenciais de grau um. Os dados foram obtidos de quatro medidores inteligentes, que estão conectados a uma rede de medição inteligente. Esse sistema coleta informações em intervalos de 15 minutos, gerando 96 medidas por dia. Foi utilizado um universo de 74 semanas com parâmetros como tensão, corrente, energia elétrica acumulada, potência aparente acumulada, potência reativa acumulada e demanda máxima de



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

energia consumida para realizar a predição dos dados. Os autores concluíram que as redes neurais com *wavelet* apresentam um erro quadrático médio menor, e um custo computacional maior, enquanto os polinômios potenciais de grau um apresenta menor precisão, mas um menor custo computacional.

O estudo de Rodrigues, Borges e Falcão (2007) apresenta um modelo computacional de programação linear para planejamento de contratação de energia elétrica de concessionárias de distribuição do Brasil horizonte do curto/curtíssimo prazo de modo a se obter a menor despesa com compra de energia para atendimento da totalidade de seus mercados, incluindo unidades de geração distribuída. A metodologia proposta foi aplicada em uma distribuidora localizada no Sudeste do Brasil e foram realizadas variações paramétricas de custos e tarifas de alternativas de contratação de energia para estabelecer uma reflexão sobre a viabilidade econômica da inserção de geração distribuída na otimização de despesas da distribuidora. Devido às incertezas inerentes ao processo como a previsão de demanda e baixa provisão de energia de fonte eólica, que demanda um tratamento especial no modelo, foi utilizada programação linear fuzzy. A lógica *fuzzy*, proposta por Zadeh (1965), não possui um limite preciso e sim há uma graduação de pertinência.

O estudo de estudo de Irffi *et al.* (2009) propõe a estimar a demanda por energia elétrica para as classes residencial, comercial e industrial na região Nordeste do Brasil num período de longo prazo (2004-2010). Para realizar esta predição utilizou modelos econométricos baseados nos mínimos métodos quadrados ordinários dinâmicos e na mudança de regime que são estimadores de pequenas amostras cointegradas. Para construir o modelo foi utilizada uma base temporal no período de 1970 a 2003. De acordo com os autores, os estimadores provenientes do método dos mínimos quadrados ordinários dinâmicos são mais robustos em pequenas amostras quando comparados com outros estimadores alternativos e é também uma técnica que obtém estimadores eficientes para os vetores de cointegração que incluem componentes determinísticos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou investigar os métodos de predição do consumo de energia elétrica na base de dados SciELO. Conforme observado, dois estudos utilizam redes neurais artificiais, um utilizou programação linear e outro utilizou modelos econométricos.

Para a construção de um sólido referencial teórico e revelar campos nos quais a pesquisa se faz necessária, como trabalhos futuros, pretende-se ampliar a revisão sistemática da literatura para outras bases de dados relevantes sobre o tema de interesse deste estudo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao (Inerge), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e à Universidade Federal de Itajubá (Unifei) pelo apoio dado a esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

AZADEH, A.; BABAZADEH, R.; ASADZADEH, S.M. Optimum estimation and forecasting of renewable energy consumption by artificial neural networks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 605–612, 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2013.07.007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032113004528>. Acesso em: 25 jul. 2024.

BARBOSA, Augusto César Barros; BLITZKOW, Denizar (2008). Ondaletas: Histórico e aplicação. 39p. Apostila. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, SP. Disponível em: [http://sites.poli.usp.br/ptr/lgt/FTP/Apostila\\_Ondaletas\\_%20MSc.Augusto\\_Barbosa&Dr.Denizar\\_Blitzko.w.pdf](http://sites.poli.usp.br/ptr/lgt/FTP/Apostila_Ondaletas_%20MSc.Augusto_Barbosa&Dr.Denizar_Blitzko.w.pdf). Acesso em: 29 jul. 2024.

BOU, Angel Santiago Fernandez; FERREIRA, Vítor Hugo. Previsão de carga elétrica no curto prazo com redes neurais. **Engevista**, v. 16, n. 1, p. 91–101, 2014. DOI: <https://doi.org/10.22409/engevista.v16i1.591>. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/8998>. Acesso em: 25 jul. 2024

IRFFI, Guilherme; CASTELAR, Ivan; SIQUEIRA, Marcelo Lettieri; LINHARES, Fabrício Carneiro. Previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região Nordeste, usando OLS dinâmico e mudança de regime. **Economia Aplicada**, v. 13, n. 1, p. 69-98, mar. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-80502009000100004>. Acesso em: <https://www.scielo.br/j/eco/a/53BCvjmPN3kXnqywdS8TRYC/?lang=pt>. Disponível em: 24 jul. 2024.

LIVSCHITZ, Jennifer; DREAM, Sophie. How to write a systematic review. **The American Journal of**



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

**Surgery**, v. 226, n. 4, p. 553–555, 2023. Disponível em: DOI: [doi.org/10.1016/j.amjsurg.2023.05.015](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2023.05.015). Acesso em: 13 jul. 2024.

MAHFOOD, Bayan; TURKY, Ayad; TALIB, Manar Abu; GHENAI, Chaouki. Deep learning model for energy consumption prediction and carbon emission estimation. *In: INTERNATIONAL WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING (IWCMC)*, 2024, Agia Napa.

**Proceedings** [...]. Agia Napa: Institute of Electrical and Electronics Engineers, mai. 2024. p. 1320–1326. DOI: 10.1109/IWCMC61514.2024.10592414.

Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10592414>. Acesso em: 24 jul. 2024.

REIS, Agnaldo J. Rocha; SILVA, Alexandre P. Alves da. Aplicação da transformada wavelet discreta na previsão de carga a curto prazo via redes neurais. **Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automática**, v. 15, n. 1, p. 101-108, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-17592004000100013>. Acesso em: <https://www.scielo.br/j/ca/a/FkyJPx78bVtJS5BVry8QDdm/?lang=pt>. Disponível em: 24 jul. 2024.

RODRIGUES, Flávia F. C.; BORGES, Carmen L.T.; FALCÃO, Djalma M. Programação da contratação de energia considerando geração distribuída e incertezas na previsão de demanda. **Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automática**, v. 18, n. 3, p. 361–371, 2007. DOI: 10.1590/S0103-17592007000300008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-17592007000300008&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592007000300008&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 6 ago. 2024.

ROGELJ, Joeri; DEN ELZEN, Michel; HÖHNE, Niklas; FRANSEN, Taryn; FEKETE, Hanna; WINKLER, Harald; SCHAEFFER, Roberto; SHA, Fu; RIAHI, Keywan; MEINSHAUSEN, Malte. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. **Nature**, v. 534, n. 7609, p. 631–639, 2016. DOI: 10.1038/nature18307. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature18307>. Acesso em: 17 jul. 2024.

URGILÉS, Pablo; INGA-ORTEGA, Juan; PERALTA, Arturo; ORTEGA, Andrés. Predicción de perfiles de consumo eléctrico usando polinomios potenciales de grado uno y redes neuronales artificiales en la infraestructura de medición inteligente. **Revista Facultad de Ingeniería**, v. 30, n. 56, p. e12772, 2 jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n56.2021.12772>. Disponível em: <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/12772>. Acesso em: 17 jul. 2024.

ZADEH, L.A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001999586590241X>. Acesso em: 29 ago. 2024.