



21 A 23 DE NOVEMBRO DE 2025

XXX ENAPET

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E DIREITOS HUMANOS:
DESAFIOS ÉTICOS PARA O SÉCULO XXI

ESTRATÉGIAS DE AUTOMAÇÃO PARA AUTOCONSUMO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Autores(as): BENTES, I. R. C.¹; BARBOSA, V. C. S.²; CERUTTI, S. M. N.³; PAIXÃO, V. M. L.⁴;

Tutor(a): SENHORINI, K. C. C. O.¹

¹Grupo PET-Engenharia Elétrica, UFT, Campus PALMAS;

E-mail: italo.rodrigues@mail.uft.edu.br, petengenhariaeletricauft@mail.uft.edu.br.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS - UFT

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo analisar estratégias de automação e otimização aplicadas a sistemas fotovoltaicos, buscando o uso mais eficiente da energia gerada e a redução da dependência da rede elétrica. A metodologia baseia-se em uma revisão bibliográfica de estudos recentes que abordam técnicas de controle inteligente, gerenciamento de energia e aproveitamento local da geração solar. A partir dessa análise, pretende-se avaliar a viabilidade técnica e econômica de implementar um sistema automatizado capaz de direcionar a energia de forma eficiente para cargas prioritárias ou sistemas de armazenamento. Os resultados esperados incluem a identificação das soluções mais eficazes para maximizar o autoconsumo, reduzir perdas energéticas e aumentar a estabilidade do sistema. Conclui-se que a integração de métodos de controle e otimização em sistemas fotovoltaicos representa um caminho promissor para o uso sustentável da energia solar, contribuindo para maior eficiência energética e autonomia do consumidor.

Palavras-chave: Energia Solar; Otimização; Automação; Eficiência Energética.

Automation strategies for self-consumption in photovoltaic systems

ABSTRACT : This work aims to analyze automation and optimization strategies applied to photovoltaic systems, seeking more efficient use of the generated energy and reduced dependence on the electrical grid. The methodology is based on a literature review of recent studies addressing intelligent control techniques, energy management, and local utilization of solar generation. From this analysis, the study intends to evaluate the technical and economic feasibility of implementing an automated system capable of efficiently directing energy to priority loads or storage systems. The expected results include identifying the most effective solutions to maximize self-consumption, reduce energy losses, and improve system stability. It is concluded that integrating control and optimization methods into photovoltaic systems represents a promising path for the sustainable use of solar energy, contributing to greater energy efficiency and consumer autonomy.

Keywords: Solar Energy; Optimization; Automation; Energy Efficiency.

Introdução

O Brasil, com sua vasta extensão territorial que o classifica como o quinto maior país do mundo, apresenta uma notória diversidade climática, cultural e, principalmente, geográfica. Esta riqueza de características naturais confere ao país um enorme potencial para o crescimento da sua matriz energética em fontes renováveis, validado assim pelos dados da EPE (2024, p. 6), que afirmam que “a participação de renováveis na matriz elétrica ficou em 89,2% em 2023” e “a geração solar fotovoltaica atingiu 50,6 TWh (geração centralizada e MGGD) crescendo 68,1% e

Área do conhecimento: 3.1.5. Engenharias;



XXX ENCONTRO NACIONAL DOS GRUPOS PET
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB)
Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte
70G10-G00, Brasília - DF



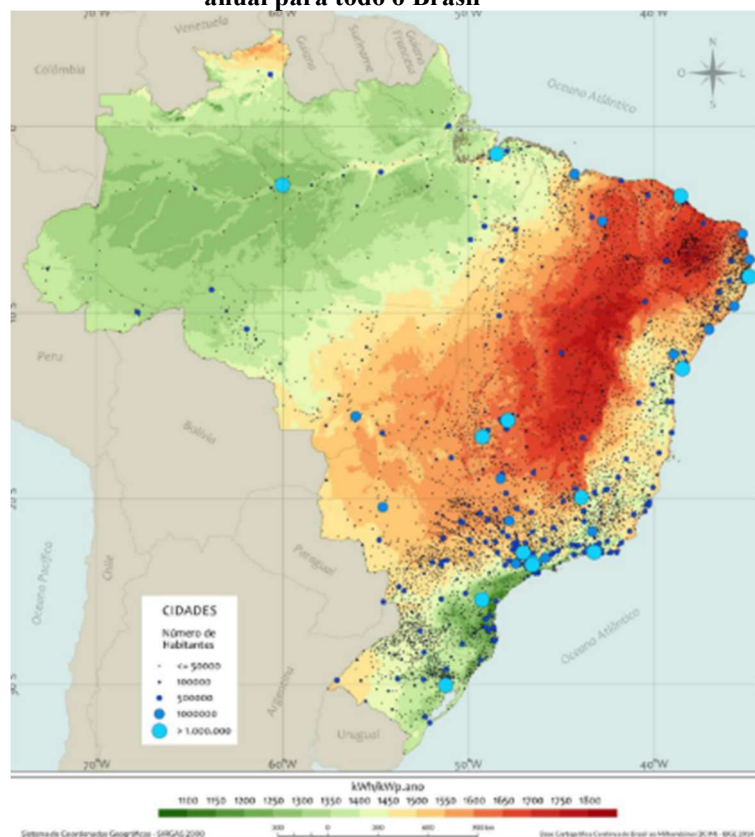
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E DIREITOS HUMANOS: DESAFIOS ÉTICOS PARA O SÉCULO XXI

a sua capacidade instalada alcançou 37.843 MW, expansão de 54,8% em relação ao ano anterior”.

Neste cenário, o estado do Tocantins, situado no coração do país, desponta como um verdadeiro laboratório a céu aberto para o desenvolvimento e a produção de energia solar fotovoltaica. Suas características geográficas, como o relevo predominantemente plano e a alta incidência de radiação solar ao longo de quase todo o ano, são reforçadas pela afirmação de JUNIOR et al. (2020, p. 1) “O Estado do Tocantins se destaca por sua localização privilegiada, sofrendo pouca variação em relação à incidência solar durante o ano, proporcionando um aumento significativo na implementação de energia fotovoltaica”.

Foi esclarecido por INPE (2017, p. 57) que, de acordo com a figura 1, “O mapa mostra o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada) em todo o território nacional”, evidenciando na mesma, que o estado do Tocantins já protagoniza uma geração de energia solar abundante.

Figura 1 - Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil



Fonte: INPE (2017).

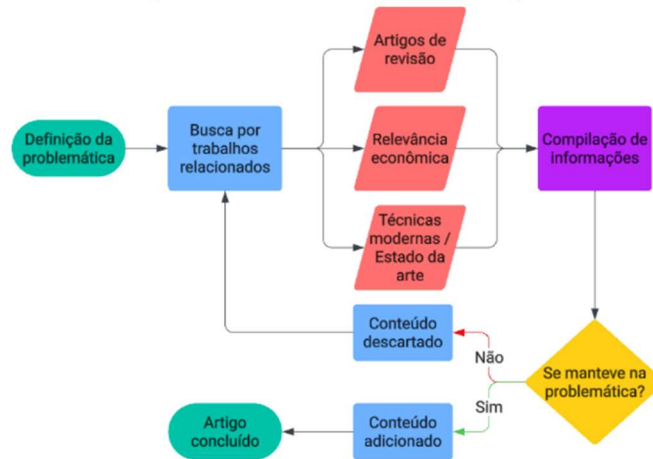
Consequentemente, faz-se necessária a análise do impacto da geração fotovoltaica na rede elétrica tocantinense, bem como o desenvolvimento de estratégias técnicas e automatizadas capazes de reduzir as problemáticas causadas. Estudos nessa área são essenciais para o uso eficiente, seguro e sustentável da energia solar, o que permitiria ao Tocantins a consolidação como referência em geração solar inteligente.

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E DIREITOS HUMANOS:
DESAFIOS ÉTICOS PARA O SÉCULO XXI**

Método

O presente trabalho se desenvolve por meio de extensa investigação de artigos de revisão de aplicações de automação residencial, considerando diferentes técnicas de manipulação de dados. Dentre os métodos disponíveis, a abordagem por inteligência artificial foi escolhida devido à sua contemporaneidade e simples adaptabilidade. A trilha de pesquisa seguida é representada pelo fluxograma 1.

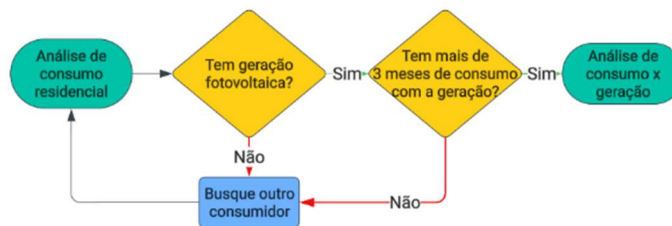
Fluxograma 1 - Metodologia adotada para estudo



Fonte: Autoria própria (2025).

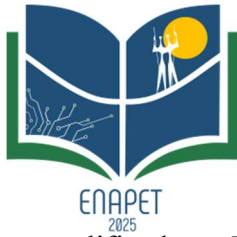
Dentre os dados obtidos, os valores de geração e consumo provêm de residências de baixo a médio consumo de energia, da região Tocantinense, no município de Palmas, de maneira correspondente ao fluxograma 2.

Fluxograma 2 - Metodologia adotada para estudo de caso



Fonte: Autoria própria (2025).

Dessa forma, os artigos selecionados sobre automação foram analisados de maneira qualitativa, com ênfase na identificação de metodologias, técnicas e ferramentas aplicáveis à otimização do uso da energia solar. A análise qualitativa dos artigos selecionados permitiu identificar um conjunto de estratégias de automação e gerenciamento de energia (como os HEMS). Em seguida, foi realizada uma análise da aplicabilidade dessas estratégias, relacionando-as ao contexto energético do Tocantins. Esta análise considerou o perfil de consumo residencial na região de Palmas e as características de geração solar local (conforme



INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E DIREITOS HUMANOS: DESAFIOS ÉTICOS PARA O SÉCULO XXI

exemplificado na Figura 3. O critério para avaliar essa aplicabilidade não foi estatístico, mas sim uma síntese qualitativa focada na viabilidade técnica de usar a automação para aumentar o autoconsumo e reduzir a injeção de energia excedente na rede. Mediante os dados cedidos pela empresa de engenharia Capital Elétrica, localizada na cidade de Palmas, no estado do Tocantins, fornecendo dados importantes para o estudo deste artigo, foi possível a observação de 20 residências, das quais a Capital Elétrica realiza análises de monitoramento. Assim, o estudo buscou contribuir para o desenvolvimento de sistemas automatizados mais eficientes e adaptados à realidade energética tocantinense.

Resultados e Discussão

A revisão mostrou que as abordagens mais recentes de controle e otimização de sistemas fotovoltaicos têm se concentrado na integração entre inteligência artificial, internet das coisas (IoT) e algoritmos de otimização.

Nesse sentido, é viável fazer uso de sistemas de gestão de energia residencial, também conhecidos como **HEMS** (*Home Energy Management Systems*), com o objetivo de otimizar o balanço entre a produção e consumo em residências, controlando e agendando o uso de equipamentos domésticos. Esse tipo de sistema tem sido um elemento fundamental para o aumento da eficiência energética, reduzindo os custos e fazendo com que os consumidores tenham participação ativa na gestão da rede elétrica. Os benefícios desse sistema são visíveis através da economia de energia, redução de custos e otimização da confiabilidade da rede.

O estado do Tocantins vem sendo cenário de uma proliferação de sistemas fotovoltaicos, exigindo sistemas de controle sofisticados como o **HEMS**. Sua capacidade de monitorar o fluxo de energia elétrica em tempo real, em uma residência, atuando como cérebro que otimiza o uso de energia dentro de uma *smart house* permite transferir ou reduzir os custos de energia por meio do agendamento do uso dos eletrodomésticos. Além disso, “ele permite que a energia gerada por recursos energéticos distribuídos (**DERs**) seja armazenada e gerenciada com sistemas de armazenamento de energia residencial (**HESs**), melhorando as condições gerais de produção e consumo de energia de uma casa” Han *et al.* (2023, p. 2). Com os avanços em tecnologias de inteligência artificial, é de suma importância considerar a também a implementação de novos métodos, como já dito por Motta *et al.* (2023, p. 1), atualmente “técnicas de aprendizado de máquina são utilizadas para identificar o consumo de energia de aparelhos individuais quando apenas o consumo total de energia da casa”.

De acordo com Hens *et al.* (2023, p. 3-5), o **HEMS** possui uma arquitetura que integra vários dispositivos. Alguns deles são:

- Controlador Central: Considerado a mente do sistema, é responsável por gerenciar o consumo de energia através de monitoramento, registros de consumo, gerenciamento, controle e alarme. Calculando o melhor agendamento dos aparelhos domésticos para um consumo mais econômico e de acordo com a produção de energia residencial.
- Dispositivos conectados à rede: Nesse quesito, incluem-se dispositivos como: tomadas inteligentes, eletrodomésticos inteligentes e convencionais, sensores e até mesmo veículos elétricos, todos esses aparelhos podem ser integrados a um sistema **HEMS**.
- Comunicação: Todos esses aparelhos são conectados por uma rede de automação doméstica (**HAN**). Algumas tecnologias sem fio usadas para esse tipo de conexão são: Wi-Fi, Zigbee e Wi-SUN que são preferidas pelo baixo custo de instalação e flexibilidade.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E DIREITOS HUMANOS: DESAFIOS ÉTICOS PARA O SÉCULO XXI

Observa-se que o sistema **HEMS** possui um algoritmo para otimização, que recebe os dados e encontra o melhor cronograma para funcionamento dos aparelhos de maneira equilibrada, permitindo assim:

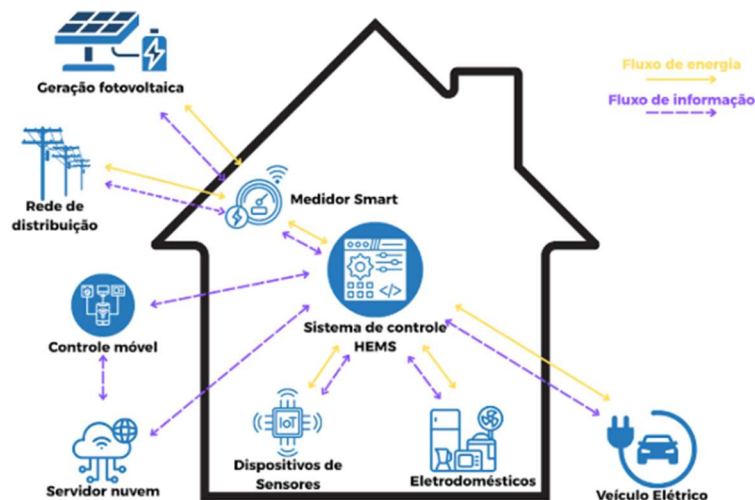
Redução de custo: Constitui a principal motivação para os residentes adotarem um **HEMS**.

Gerenciamento do Perfil de Carga: Modifica os padrões de consumo para reduzir picos de demanda e reduzir a Relação Pico-Média.

Conforto do Usuário: Um dos focos principais, pois o desconforto pode limitar a participação dos usuários em programas de Resposta à Demanda.

Uma representação simplificada de um **HEMS** pode ser demonstrado de acordo com a figura 2.

Figura 2 - Diagrama de funcionamento HEMS.



Fonte: Autoria própria (2025).

A análise dos dados regionais do Tocantins mostra que a alta incidência solar e o perfil de consumo residencial favorecem a implementação de sistemas automatizados de autoconsumo. Em cenários de elevada geração fotovoltaica durante o dia, a automação poderia priorizar o uso de cargas de maior demanda (como climatizadores e aquecedores) e o armazenamento em baterias, reduzindo significativamente a energia injetada na rede. Esses resultados reforçam a importância de estratégias de gerenciamento local da energia solar, que, além de aumentar a eficiência dos sistemas, contribuem para a estabilidade e sustentabilidade da rede elétrica.

Afinal, a capital Palmas está localizada em uma região de alta irradiação solar o que torna a geração fotovoltaica extremamente atrativa, acarretando em um crescimento acelerado da instalação de sistemas conectados à rede (on-grid), especialmente em residências.

Durante o período de maior insolação (entre 10h e 15h), a produção desses sistemas pode superar a demanda local, levando à chamada supergeração fotovoltaica, isto é, mais energia é produzida do que consumida. Essa energia excedente é então injetada na rede de distribuição da concessionária (Energisa Tocantins), o que afeta seu equilíbrio e funcionamento.

A figura 3 representa a geração de um sistema fotovoltaico de 4,88 kWp, ocorrida no dia 05/10/2025, e torna visível que entre o final da manhã e o início da tarde, ocorre um período prolongado de supergeração, em que a produção ultrapassa o consumo residencial médio de



21 A 23 DE NOVEMBRO DE 2025
XXX ENAPET

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E DIREITOS HUMANOS: DESAFIOS ÉTICOS PARA O SÉCULO XXI

unidades residenciais de baixo a médio porte. Esse fenômeno reforça a necessidade da automação e otimização dos sistemas fotovoltaicos, buscando um gerenciamento do fluxo de potência e, conseqüentemente, evitando a injeção excessiva na rede.

Figura 3 - Geração fotovoltaica em Palmas-TO.



Fonte: Autoria própria (2025).

Conclusões

A literatura indica, portanto, que o avanço dos sistemas de automação e otimização energética está diretamente associado ao desenvolvimento de soluções inteligentes, interoperáveis e orientadas por dados. No contexto regional do Tocantins, onde há elevado potencial de geração solar, essas tecnologias podem ser aplicadas para aprimorar o aproveitamento local da energia fotovoltaica, minimizando perdas e reduzindo a necessidade de injeção de excedentes na rede elétrica. Dessa forma, a implementação de estratégias automatizadas de controle e otimização apresenta-se como uma alternativa promissora para o uso eficiente e sustentável da energia solar na região.

Agradecimentos

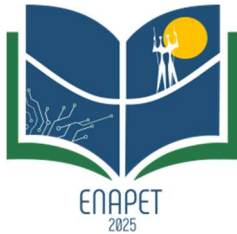
Agradecemos o apoio do Ministério da Educação (MEC), Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) e do grupo PET - Engenharia Elétrica, os quais foram os agentes possibilitadores da escrita e desenvolvimento do presente trabalho.

Referências

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2024: Relatório Síntese (ano-base 2023)**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: https://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html.

HAN, Binghui; ZAHRAOUI, Younes; MUBIN, Marizan; MEKHILEF, Saad; SEYEDMAHMOUDIAN, Mehdi; STOJCEVSKI, Alex. *Home Energy Management Systems: A Review of the Concept, Architecture, and Scheduling Strategies*. IEEE Access, New York, v. 11, p. 1-25, fev. 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3248502. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368756621_Home_Energy_Management_Systems_A_Review_of_the_Concept_Architecture_and_Scheduling_Strategies.



21 A 23 DE NOVEMBRO DE 2025
XXX ENAPET

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E DIREITOS HUMANOS:
DESAFIOS ÉTICOS PARA O SÉCULO XXI

MOTTA, Lucas L.; FERREIRA, Luiz C. B. C.; CABRAL, Thales W.; LEMES, Dimas A. M.; CARDOSO, Gustavo dos S.; BORCHARDT, Andreza; CARDIERI, Paulo; FRAIDENRAICH, Gustavo; LIMA, Eduardo R. de; NETO, Fernando B.; MELONI, Luís G. P. ***General Overview and Proof of Concept of a Smart Home Energy Management System Architecture.*** Electronics, Basel, v. 12, n. 21, p. 1-23, out. 2023. DOI: 10.3390/electronics12214453. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/21/4453>.



XXX ENCONTRO NACIONAL DOS GRUPOS PET
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB)
Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte
70G10-G00, Brasília - DF

