

AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

Caíke Damião Nascimento Silva¹

Rita Karolinny Chaves de Lima²

Lutero Carmo de Lima³

RESUMO

Este estudo analisa a viabilidade da implementação de sistemas de energia renovável, como painéis solares fotovoltaicos e turbinas eólicas, em edifícios residenciais, sob as perspectivas técnica, econômica e ambiental. A pesquisa, caracterizada como uma revisão bibliográfica qualitativa e descritiva, utilizou fontes como Web of Science, SciELO e Google Scholar, focando em trabalhos publicados entre 2000 e 2024. Os resultados indicam que, quando instalados em condições favoráveis, esses sistemas são tecnicamente viáveis e podem ser economicamente atrativos, especialmente quando apoiados por incentivos fiscais. Além disso, constatou-se que os sistemas de energia renovável contribuem significativamente para a redução da pegada de carbono e para a sustentabilidade global. A pesquisa confirma a hipótese de que essas tecnologias são uma solução eficaz para a transição energética, apesar de desafios como a adaptação a diferentes contextos geográficos e a necessidade de políticas públicas consistentes. As limitações encontradas sugerem que futuras pesquisas devem explorar a aplicação dessas tecnologias em contextos específicos e analisar a aceitação social e a gestão do ciclo de vida dos equipamentos.

Palavras-chave: Energia Renovável. Edifícios Residenciais. Viabilidade. Pegada de Carbono.

¹ Discente da Especialização em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos (GRHAE) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), caikedamiao@unilab.edu.br

² Docente do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), karolinny@unilab.edu.br

³ Docente do Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas (CMACFA) da Universidade Estadual do Ceará (UECE), lutero.lima@uece.br

ABSTRACT

This study analyzes the feasibility of implementing renewable energy systems, such as photovoltaic solar panels and wind turbines, in residential buildings from technical, economic, and environmental perspectives. The research, characterized as a qualitative and descriptive literature review, utilized reliable sources like Google Scholar, CAPES Periodicals, and SciELO, focusing on articles published between 2000 and 2024. The results indicate that these systems are technically viable when installed under favorable conditions and can be economically attractive, especially when supported by fiscal incentives. Additionally, it was found that renewable energy systems significantly contribute to reducing the carbon footprint and promoting global sustainability. The research confirms the hypothesis that these technologies are an effective solution for energy transition, despite challenges such as adaptation to different geographical contexts and the need for consistent public policies. The limitations encountered suggest that future research should explore the application of these technologies in specific contexts and analyze social acceptance and the life cycle management of equipment.

Keywords: Renewable Energy. Residential Buildings. Viability. Carbon Footprint.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia, aliada às preocupações ambientais, têm impulsionado uma busca global por fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Neste contexto, as energias renováveis, como a solar e a eólica, têm se destacado como alternativas viáveis e promissoras para suprir as necessidades energéticas contemporâneas, ao mesmo tempo em que contribuem para a redução dos impactos ambientais. A eficiência e a adaptabilidade dessas tecnologias às diversas condições geográficas e climáticas tornaram-nas uma opção atrativa para o setor residencial, particularmente em países que, como o Brasil, possuem uma abundante incidência solar e áreas com potencial para o uso de energia eólica (Oliveira, 2019; Santos *et al.*, 2008).

A implementação de sistemas de energia renovável em residências tem sido incentivada por políticas públicas em diversos países, destacando-se iniciativas como o *Energiewende* na Alemanha, que promove a transição energética por meio de subsídios para a instalação de painéis solares em residências. Essa política tem sido fundamental para o

aumento da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no país. Em 2019, a Alemanha possuía cerca de 1,5 milhão de sistemas fotovoltaicos instalados, posicionando-se como um dos líderes na adoção de energias renováveis no setor residencial (São Paulo, 2019).

No Brasil, o avanço das energias renováveis tem sido estimulado por políticas públicas e incentivos fiscais, que visam não apenas reduzir a dependência de fontes de energia convencionais, como o petróleo e o carvão, mas também promover a sustentabilidade ambiental. A implementação de sistemas de energia renovável em edifícios residenciais se configura como uma estratégia eficaz para a descentralização da geração de energia, permitindo que os próprios consumidores se tornem produtores de eletricidade, reduzindo, assim, a pegada de carbono e contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Camoto; Gomes, 2018; Magnus, 2019).

Este trabalho propõe-se a analisar a viabilidade da implementação de sistemas de energia renovável, como os painéis solares fotovoltaicos e as turbinas eólicas, em edifícios residenciais. A pesquisa se concentra na avaliação dos aspectos técnicos, econômicos e ambientais envolvidos, com o objetivo de responder à seguinte questão: Qual é a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implementação de sistemas de energia renovável em edifícios residenciais, considerando as especificidades de engenharia?

Para responder a essa pergunta, foram levantadas algumas hipóteses. A primeira é que os sistemas de energia renovável podem ser tecnicamente viáveis, desde que as condições climáticas e geográficas sejam favoráveis. A segunda hipótese sugere que, economicamente, esses sistemas se tornam viáveis principalmente quando apoiados por incentivos fiscais e políticas públicas que reduzem o custo inicial de instalação. Por fim, a terceira hipótese considera que o impacto ambiental dos sistemas de energia renovável é significativamente menor em comparação com as fontes de energia convencionais, contribuindo para a sustentabilidade global.

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade da implementação de sistemas de energia renovável em edifícios residenciais, com ênfase nas considerações técnicas, econômicas e ambientais. Os objetivos específicos incluem a avaliação das características técnicas dos sistemas de energia renovável, a análise dos custos envolvidos e do retorno sobre o investimento (ROI), bem como a comparação do impacto ambiental desses sistemas em relação às fontes de energia convencionais.

A relevância deste estudo está na sua contribuição para a promoção de práticas sustentáveis no setor energético residencial. Ao fornecer uma análise sobre a viabilidade de sistemas de energia renovável, este trabalho pretende apoiar a tomada de decisões informadas

por parte de investidores, engenheiros, arquitetos e gestores públicos, promovendo a adoção de tecnologias que não só atendam às necessidades energéticas, mas também contribuam para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a sustentabilidade ambiental.

A metodologia utilizada neste trabalho é baseada em uma revisão bibliográfica, de caráter qualitativo e descritivo. A pesquisa foi realizada através de uma revisão bibliográfica narrativa, utilizando-se de bases de dados acadêmicas como Web of Science, SciELO e Google Scholar. As palavras-chave empregadas para a filtragem dos artigos incluíram “energia renovável”, “viabilidade”, “ambiental” e “residencial”. A busca foi limitada ao período de 2000 a 2024, com a inclusão de obras mais antigas de grande relevância. Como critério de inclusão, foram considerados trabalhos acadêmicos publicados nos idiomas português e inglês. Trabalhos incompletos ou sem relação com edifícios residenciais foram excluídos.

Este trabalho está estruturado de forma a proporcionar uma análise integrada do tema. Após a introdução, são discutidas as características técnicas e a adaptação dos sistemas de energia renovável em edifícios residenciais, seguidas pela análise da viabilidade econômica e dos incentivos fiscais. Em seguida, é abordado o impacto ambiental comparativo das energias renováveis e convencionais, culminando na análise da contribuição desses sistemas para a redução da pegada de carbono e a promoção da sustentabilidade global. A metodologia e os resultados obtidos são apresentados, seguidos da discussão que sintetiza as principais conclusões do estudo e propõe direções para futuras pesquisas.

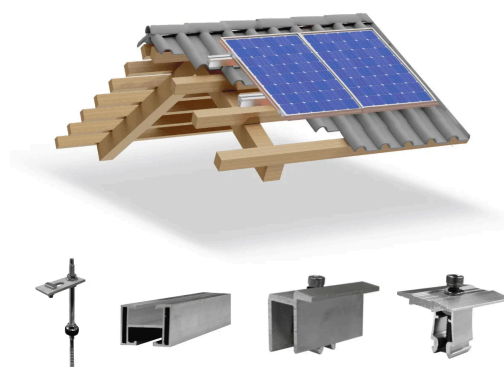
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Análise das características técnicas e de adaptação dos sistemas de energia renovável

A análise das características técnicas dos sistemas de energia renovável em edifícios residenciais é fundamental para entender a viabilidade de sua implementação. As tecnologias, como painéis solares fotovoltaicos e turbinas eólicas, têm se destacado como alternativas promissoras devido à sua capacidade de converter fontes naturais em eletricidade de maneira eficiente. Contudo, a eficiência desses sistemas depende de fatores como a localização geográfica, orientação dos edifícios, condições climáticas e adaptações na infraestrutura física (exemplo, Figura 1) e elétrica (Figura 2), elementos que devem ser detalhadamente avaliados para garantir um desempenho satisfatório (Oliveira, 2019; Santos *et al.*, 2008).

Ao considerar a instalação de painéis solares, por exemplo, a orientação do telhado e a inclinação são aspectos cruciais que influenciam diretamente a captura de radiação solar. Em regiões com alta incidência solar, a instalação é mais eficiente, resultando em maior geração de energia. Em contrapartida, áreas com menor incidência podem exigir ajustes na tecnologia ou combinações com outras fontes renováveis para alcançar a eficiência desejada. Essa adaptação é essencial para maximizar o potencial energético e a sustentabilidade dos sistemas (Barbosa, 2013; Sousa, 2022).

Figura 1 - Kit para adaptação de telhado para instalação de painéis fotovoltaicos



Fonte: <https://www.janelaecia.com.br/energia-solar>

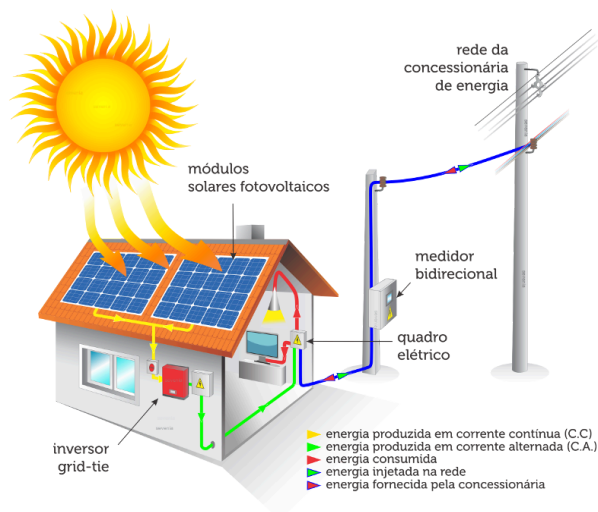
Outro ponto relevante na análise técnica é a integração dos sistemas de energia renovável com a infraestrutura elétrica existente nos edifícios. A compatibilidade entre as novas tecnologias e o sistema elétrico já instalado pode representar um desafio significativo, especialmente em construções mais antigas. A necessidade de adaptações (Figura 2), como a instalação de inversores e baterias para armazenamento de energia, deve ser considerada, garantindo que o sistema funcione de maneira eficiente e segura (Magnus, 2019; Molitor *et al.*, 2012).

Além disso, os sistemas de energia renovável precisam ser projetados para suportar as cargas elétricas típicas de uma residência, o que inclui considerar picos de consumo e a capacidade de armazenamento de energia para uso noturno ou em dias nublados. Sistemas com baterias de alta capacidade podem oferecer uma solução eficaz, permitindo a autonomia energética e contribuindo para a redução da dependência de fontes de energia convencionais (Ali *et al.*, 2022; Souza, 2021).

A durabilidade e a manutenção dos sistemas também são fatores técnicos importantes. A vida útil dos painéis solares e turbinas eólicas, por exemplo, pode variar dependendo das condições de uso e do ambiente. A escolha de materiais de alta qualidade e a

implementação de um plano de manutenção regular são essenciais para garantir o funcionamento contínuo e eficiente dos sistemas, minimizando interrupções e prolongando sua vida útil (Jenkins, 2013; Camioto; Gomes, 2018).

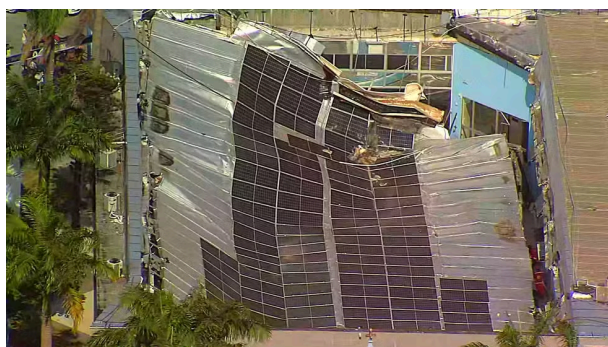
Figura 2 - Esquemático da infraestrutura elétrica para a instalação residencial de um sistema de geração de energia fotovoltaica interligada à rede da concessionária de energia elétrica



Fonte: <https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico>

A capacidade de adaptação dos edifícios às novas tecnologias renováveis requer uma análise detalhada das condições estruturais, especialmente quando se trata de edifícios residenciais. É necessário verificar se a estrutura do telhado pode suportar o peso adicional dos painéis solares ou se há espaço suficiente para a instalação de turbinas eólicas. Essas considerações estruturais são fundamentais para evitar problemas futuros (exemplo, Figura 3) e garantir a segurança dos moradores (Sousa, 2022; Oliveira, 2019).

Figura 3 - Placas solares sobre teto que desabou no Santuário do Morro da Conceição, na Zona Norte do Recife



Fonte: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco>

Por fim, é importante destacar que a integração de sistemas de energia renovável em residências não é apenas uma questão técnica, mas também envolve aspectos sociais e econômicos. A aceitação dos moradores e a disponibilidade de incentivos fiscais podem influenciar significativamente o sucesso da implementação. Um projeto bem-sucedido deve considerar esses fatores em conjunto com as características técnicas para promover a adoção em larga escala e contribuir para a sustentabilidade ambiental (Magnus, 2019; Barbosa, 2013).

2.2 Viabilidade econômica: custos, retorno sobre o investimento e incentivos fiscais

A viabilidade econômica da implementação de sistemas de energia renovável em edifícios residenciais é um dos aspectos mais críticos na tomada de decisão, tanto para investidores quanto para moradores. A análise dos custos envolvidos na instalação dessas tecnologias é essencial para determinar sua acessibilidade e atratividade econômica. Embora o custo inicial de sistemas como os painéis solares fotovoltaicos possa ser elevado, é importante considerar o potencial de economia a longo prazo. O investimento inicial inclui não apenas a aquisição dos equipamentos, mas também os custos de instalação, adaptação da infraestrutura e eventuais melhorias necessárias para garantir a eficiência do sistema (Camoto; Gomes, 2018; Oliveira, 2019).

Um dos principais indicadores utilizados para avaliar a viabilidade econômica de um projeto é o retorno sobre o investimento (ROI). O ROI em sistemas de energia renovável é calculado com base na economia gerada pela redução da dependência de energia elétrica fornecida por concessionárias, somada aos possíveis ganhos decorrentes de excedentes energéticos que podem ser vendidos de volta à rede elétrica. Em muitos casos, o ROI é positivo, especialmente em regiões com alta incidência solar ou ventos constantes, onde a produção de energia renovável é maximizada. Contudo, o tempo necessário para recuperar o investimento pode variar, dependendo das condições locais e da eficiência do sistema instalado (Souza, 2021; Santos *et al.*, 2008).

Além do ROI, o período de retorno do investimento, conhecido como payback period, é uma métrica igualmente relevante. O payback period refere-se ao tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado por meio das economias geradas pelo sistema. Em geral, sistemas fotovoltaicos instalados em residências têm um payback period que varia entre cinco a dez anos, dependendo de fatores como a eficiência dos painéis, o custo da energia na região e a disponibilidade de incentivos fiscais. A redução no custo dos equipamentos, aliada ao aumento na eficiência tecnológica, tem contribuído para a diminuição

do tempo de retorno do investimento, tornando a energia renovável uma opção cada vez mais viável economicamente (Barbosa, 2013; Sousa, 2022).

Incentivos fiscais desempenham um papel fundamental na viabilização econômica de projetos de energia renovável em residências. Governos de diferentes países, incluindo o Brasil, têm implementado políticas de subsídios, descontos em impostos e linhas de financiamento a juros reduzidos para estimular a adoção dessas tecnologias. Esses incentivos podem reduzir significativamente o custo inicial de instalação, tornando o investimento mais acessível a um maior número de pessoas. Além disso, em alguns casos, há a possibilidade de isenção de impostos sobre o equipamento ou sobre a energia gerada, o que contribui ainda mais para a viabilidade econômica (Camimoto; Gomes, 2018; Magnus, 2019).

Outro fator a ser considerado é a valorização do imóvel após a instalação de sistemas de energia renovável. Residências equipadas com painéis solares, por exemplo, tendem a ter um valor de mercado mais alto devido à atratividade de custos operacionais reduzidos e à imagem positiva associada ao uso de energia sustentável. Essa valorização pode ser particularmente relevante em áreas urbanas, onde a demanda por soluções ecológicas e econômicas está em crescimento. Dessa forma, além da economia direta proporcionada pelo sistema, o proprietário pode obter benefícios indiretos na forma de aumento do valor patrimonial (Barbosa, 2013; Oliveira, 2019).

Contudo, é importante também avaliar os custos operacionais e de manutenção dos sistemas de energia renovável. Embora os sistemas fotovoltaicos, por exemplo, tenham uma manutenção relativamente simples e de baixo custo, outros sistemas, como as turbinas eólicas, podem demandar manutenções mais frequentes, o que pode impactar a viabilidade econômica. Esses custos adicionais precisam ser considerados no cálculo do ROI e do payback period, garantindo que a análise econômica seja completa e realista (Ali *et al.*, 2022; Jenkins, 2013).

A análise econômica deve, ainda, levar em conta as possíveis flutuações nos preços da energia elétrica convencional, que podem afetar tanto a atratividade dos sistemas renováveis quanto o ROI. Em cenários de aumento contínuo dos preços de energia fornecida por concessionárias, o uso de sistemas próprios de geração torna-se cada vez mais vantajoso. A capacidade de gerar e utilizar a própria energia protege os consumidores de variações abruptas nos preços, oferecendo uma forma de estabilidade econômica a longo prazo (Magnus, 2019; Molitor *et al.*, 2012).

Finalmente, ao avaliar a viabilidade econômica de sistemas de energia renovável, é crucial considerar o contexto econômico e as políticas públicas vigentes. A continuidade dos

incentivos fiscais, a estabilidade das políticas energéticas e a evolução tecnológica são fatores que podem influenciar diretamente a viabilidade de longo prazo desses sistemas. Portanto, uma análise econômica abrangente deve incluir projeções sobre o futuro do mercado de energia renovável e sua integração com a matriz energética nacional, considerando cenários otimistas e pessimistas para fornecer uma visão completa e fundamentada sobre o tema (Souza, 2021; Oliveira, 2019).

2.3 Impacto ambiental e comparação com fontes de energia convencionais

O impacto ambiental dos sistemas de energia renovável em comparação com as fontes de energia convencionais é uma questão central na discussão sobre a transição para um modelo energético mais sustentável. As fontes de energia renovável, como a solar e a eólica, são frequentemente destacadas por sua capacidade de gerar eletricidade com um impacto ambiental significativamente menor em comparação com as fontes convencionais, como o carvão e o petróleo. As tecnologias renováveis emitem poucos ou nenhum gás de efeito estufa durante sua operação, o que contribui diretamente para a mitigação das mudanças climáticas e a redução da pegada de carbono global (Santos *et al.*, 2008; Ali *et al.*, 2022, Lima, 2023).

A energia solar fotovoltaica, por exemplo, é amplamente reconhecida por sua eficiência ambiental. Durante o processo de geração de energia, os painéis solares não produzem emissões de CO₂, o que contrasta fortemente com as centrais termelétricas movidas a combustíveis fósseis, que são grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes. Além disso, a energia solar não gera resíduos perigosos ou de difícil manejo, o que representa uma vantagem significativa em termos de gestão de resíduos e proteção do meio ambiente (Oliveira, 2019; Jenkins, 2013).

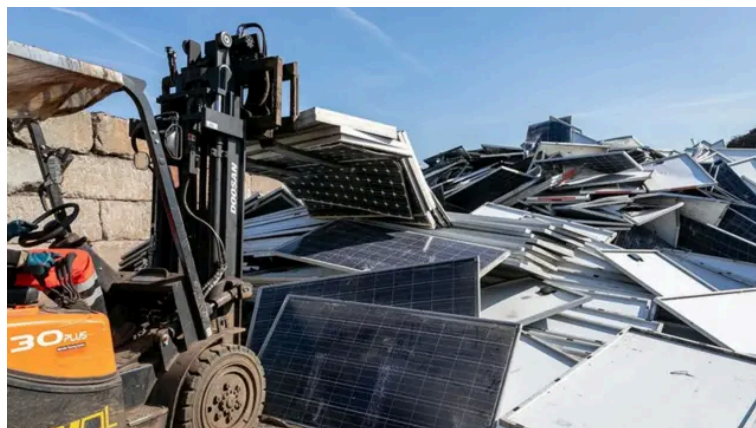
Da mesma forma, a energia eólica oferece benefícios ambientais notáveis. As turbinas eólicas, ao converterem a energia cinética do vento em eletricidade, operam sem a emissão de poluentes e com baixo impacto ambiental durante a fase operacional. Contudo, é importante considerar o impacto visual e o potencial efeito sobre a fauna local, como a mortalidade de aves, que podem ocorrer em áreas onde as turbinas são instaladas. Esses aspectos devem ser cuidadosamente avaliados na fase de planejamento para minimizar impactos negativos (Magnus, 2019; Molitor *et al.*, 2012).

Em contrapartida, as fontes de energia convencionais, como as usinas a carvão, continuam a ser grandes contribuidoras para a poluição atmosférica. O processo de combustão do carvão libera grandes quantidades de dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e enxofre,

além de particulados que contribuem para o aquecimento global e a acidificação da chuva. Além disso, as usinas termelétricas a carvão e petróleo geram resíduos tóxicos, como cinzas e lodos, que apresentam desafios significativos para a gestão ambiental e a saúde pública (Souza, 2021; Barbosa, 2013).

Outro aspecto relevante na comparação entre energias renováveis e convencionais é o consumo de recursos naturais. As usinas hidrelétricas, embora sejam uma forma de energia renovável, podem ter impactos ambientais significativos devido ao alagamento de grandes áreas para a formação de reservatórios, o que pode causar a perda de biodiversidade e a alteração de ecossistemas. Em comparação, os sistemas solares e eólicos requerem menos recursos hídricos e possuem uma pegada ambiental menor ao longo de seu ciclo de vida, desde a fabricação até o descarte, apesar de ainda enfrentarem alguns desafios para reciclagem dos materiais (Figura 4) (Camimoto; Gomes, 2018; Sousa, 2022).

Figura 4 - Sucata de painéis fotovoltaicos



Fonte: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cw4vpveq7pyo>

A eficiência energética das fontes renováveis também contribui para sua superioridade ambiental. A capacidade de converter recursos naturais diretamente em eletricidade, sem os processos intermediários de combustão ou conversão térmica, resulta em menos perdas de energia e maior eficiência no uso dos recursos. Isso não apenas reduz a necessidade de extração de recursos, mas também diminui a pressão sobre os ecossistemas, contribuindo para a preservação ambiental (Oliveira, 2019, Lima, 2023).

No entanto, é importante reconhecer que a produção e instalação de sistemas de energia renovável também têm impactos ambientais. A fabricação de painéis solares e turbinas eólicas envolve a extração de minerais e o uso de processos industriais que consomem energia e geram emissões. Todavia, esses impactos são geralmente concentrados

na fase inicial do ciclo de vida e são compensados pelo benefício ambiental ao longo da operação do sistema, que pode durar várias décadas. A reciclagem e o manejo adequado dos materiais ao final da vida útil dos equipamentos são estratégias fundamentais para mitigar esses impactos (Jenkins, 2013; Ali *et al.*, 2022).

2.4 Contribuição para a redução da pegada de carbono e sustentabilidade global

A contribuição dos sistemas de energia renovável para a redução da pegada de carbono e a promoção da sustentabilidade global é um dos principais argumentos a favor da transição energética em curso. As tecnologias renováveis, como a solar e a eólica, têm o potencial de substituir as fontes de energia convencionais, que são as principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo significativamente para a mitigação das mudanças climáticas. A substituição de combustíveis fósseis por energias renováveis é, portanto, um passo crucial na redução das emissões globais de carbono, o que é essencial para limitar o aquecimento global a níveis seguros, conforme os acordos internacionais, como o Acordo de Paris (Santos *et al.*, 2008; Ali *et al.*, 2022).

A pegada de carbono, que se refere à quantidade total de GEE emitidos direta e indiretamente por uma atividade ou processo, é drasticamente reduzida quando se utilizam fontes de energia renovável. No contexto das residências, a instalação de painéis solares ou turbinas eólicas pode resultar em uma diminuição significativa da dependência de eletricidade gerada a partir de carvão, petróleo ou gás natural, todos eles com alta intensidade de carbono. A energia solar, por exemplo, pode fornecer eletricidade com uma pegada de carbono quase nula durante sua operação, contrastando com as usinas termelétricas, que são uma das maiores fontes de emissões de CO₂ (Oliveira, 2019; Jenkins, 2013).

Além da redução direta nas emissões de carbono, os sistemas de energia renovável contribuem para a sustentabilidade global ao promover a descentralização da geração de energia. Esse modelo descentralizado permite que a energia seja gerada no ponto de consumo, reduzindo as perdas associadas ao transporte e distribuição de eletricidade, que são comuns em sistemas centralizados. Ao reduzir essas perdas, há uma menor necessidade de geração de energia adicional, o que contribui para uma menor demanda por fontes convencionais de alta emissão (Magnus, 2019; Molitor *et al.*, 2012).

A sustentabilidade global também é promovida pela capacidade das energias renováveis de incentivar o uso eficiente e responsável dos recursos naturais. Diferente das fontes fósseis, que são finitas e causam degradação ambiental significativa durante sua

extração e uso, as energias renováveis, como a solar e a eólica, aproveitam recursos abundantes e virtualmente inesgotáveis. Essa característica não só preserva os recursos para as futuras gerações, mas também reduz a pressão sobre os ecossistemas globais, promovendo a biodiversidade e a saúde dos ecossistemas (Camoto; Gomes, 2018; Souza, 2021).

Outro aspecto crucial é o papel das energias renováveis na criação de uma economia circular, onde os resíduos são minimizados e os recursos são reutilizados ao máximo. A fabricação de painéis solares e turbinas eólicas, por exemplo, pode ser integrada a processos de reciclagem, onde os materiais utilizados são recuperados e reutilizados ao final de sua vida útil. Essa abordagem não só reduz a necessidade de extração de novos materiais, mas também minimiza os resíduos que acabam em aterros, contribuindo para uma economia mais sustentável e menos dependente da extração contínua de recursos (Jenkins, 2013; Ali *et al.*, 2022).

A transição para fontes de energia renovável também tem implicações positivas para a segurança energética global. Ao diversificar as fontes de energia e reduzir a dependência de combustíveis fósseis importados, as nações podem aumentar sua resiliência a choques externos, como flutuações nos preços do petróleo ou interrupções no fornecimento. Essa segurança energética contribui para a estabilidade econômica e social, que são componentes fundamentais de uma sustentabilidade global abrangente (Barbosa, 2013; Souza, 2021; Lima, 2023).

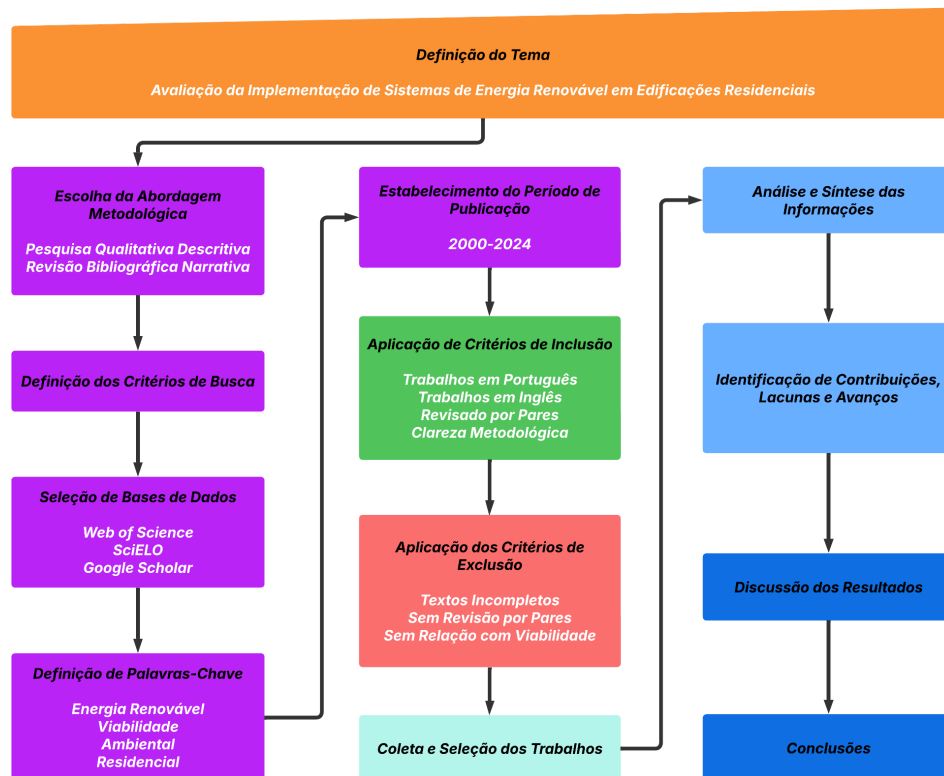
Além disso, a adoção de energias renováveis em larga escala pode catalisar inovações tecnológicas e sociais que são necessárias para alcançar uma sociedade sustentável. À medida que a demanda por tecnologias limpas aumenta, há um incentivo para o desenvolvimento de novos materiais, métodos de fabricação e sistemas de gerenciamento de energia que são mais eficientes e menos impactantes ao meio ambiente. Essas inovações, por sua vez, podem ser aplicadas em outros setores, ampliando os benefícios da sustentabilidade para além do setor energético (Magnus, 2019; Molitor *et al.*, 2012).

Em última análise, a contribuição dos sistemas de energia renovável para a redução da pegada de carbono e a promoção da sustentabilidade global não pode ser subestimada. À medida que as nações buscam cumprir suas metas climáticas e de desenvolvimento sustentável, a energia renovável oferece uma solução viável e eficaz. A transição para um sistema energético baseado em fontes renováveis não só reduz as emissões de carbono, mas também promove uma economia mais sustentável, resiliente e justa, alinhada com os princípios de sustentabilidade global e justiça climática (Ali *et al.*, 2022; Fernandes Junior, 2024).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo baseou-se na revisão bibliográfica, caracterizada como uma pesquisa qualitativa e descritiva. Esse método foi escolhido devido à sua capacidade de proporcionar uma compreensão abrangente sobre a temática da implementação de sistemas de energia renovável em edifícios residenciais. A revisão bibliográfica permite uma análise dos estudos já existentes, sem a necessidade de intervenções experimentais ou quantitativas, concentrando-se na interpretação e síntese das informações.

Figura 5 - Fluxograma metodológico



Fonte: Elaborado pelo autor

A pesquisa foi realizada através de uma revisão bibliográfica narrativa, que é adequada para compilar, analisar e sintetizar o conhecimento existente sobre o tema. A revisão bibliográfica narrativa é qualitativa por natureza e visa oferecer uma visão ampla e crítica do estado atual do conhecimento, identificando as principais contribuições, lacunas e avanços na área estudada. Para isso, a pesquisa se concentrou na busca de obras em bases de dados acadêmicas reconhecidas e confiáveis, incluindo Web of Science, SciELO e Google Scholar.

Os critérios de busca foram definidos para garantir a relevância e atualidade das informações coletadas. As palavras-chave utilizadas para a filtragem dos artigos incluíram os termos “energia renovável”, “viabilidade”, “ambiental” e “residencial”. A busca foi limitada aos últimos vinte e cinco anos, abrangendo publicações desde 2000 até 2024, permitindo assim a inclusão das pesquisas mais recentes e relevantes. No entanto, considerando a importância histórica de certos estudos que marcaram a evolução do conhecimento sobre o tema, também foram incluídas obras mais antigas, desde que tivessem relevância significativa e fossem consideradas marcos na área.

Os critérios de inclusão foram rigorosamente estabelecidos para assegurar a qualidade das fontes utilizadas. Apenas foram considerados artigos publicados nos idiomas português e inglês, o que garantiu a diversidade de perspectivas e a relevância internacional da pesquisa. Esse recorte permitiu a construção de um corpo teórico robusto e diversificado, essencial para a análise proposta neste estudo.

Como critério de exclusão, foram eliminados os artigos que apresentavam textos incompletos ou que não atendiam aos padrões de qualidade estabelecidos, como a ausência de revisão por pares ou a falta de clareza metodológica. Essa medida foi necessária para garantir a confiabilidade das informações analisadas e a integridade da pesquisa. Além disso, para atender aos objetivos da pesquisa, trabalhos sem relação com viabilidade técnica, econômica ou ambiental em edifícios residenciais foram excluídos.

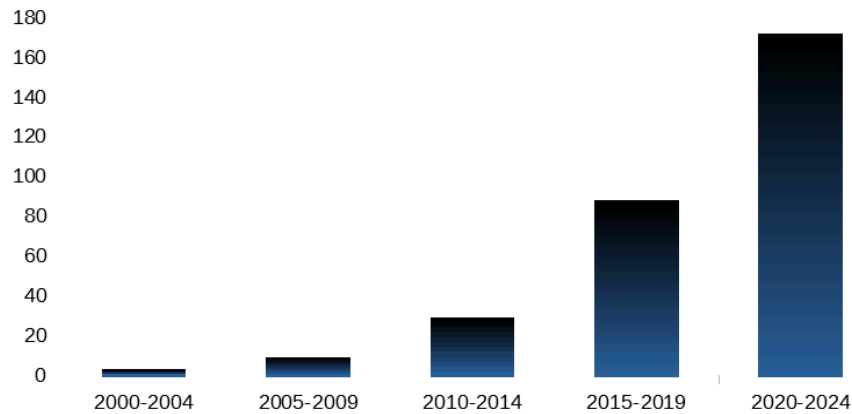
Dessa forma, a metodologia adotada, fundamentada na revisão bibliográfica qualitativa e descritiva, proporcionou uma base para a discussão dos sistemas de energia renovável em edifícios residenciais, possibilitando uma análise das contribuições existentes e uma visão abrangente dos desafios e oportunidades presentes na área. Essa abordagem metodológica permitiu sintetizar o conhecimento atual de forma coesa e integrada, promovendo um entendimento fundamentado do tema, focando em estudos que apresentam resultados acerca da viabilidade de implementação dos sistemas de energia renovável em edificações residenciais.

4 RESULTADOS

A pesquisa bibliográfica inicial pelos termos “energia renovável”, “viabilidade”, “ambiental” e “residencial” resultou em 291 publicações, entre artigos em periódicos, incluindo artigos de revisão, trabalhos publicados em anais de evento e trabalhos de conclusão de curso, como dissertações e teses. O número de publicações por quinquênio está ilustrado

no Gráfico 1, onde podemos observar um aumento expressivo nas publicações nos últimos 15 anos (2010-2024).

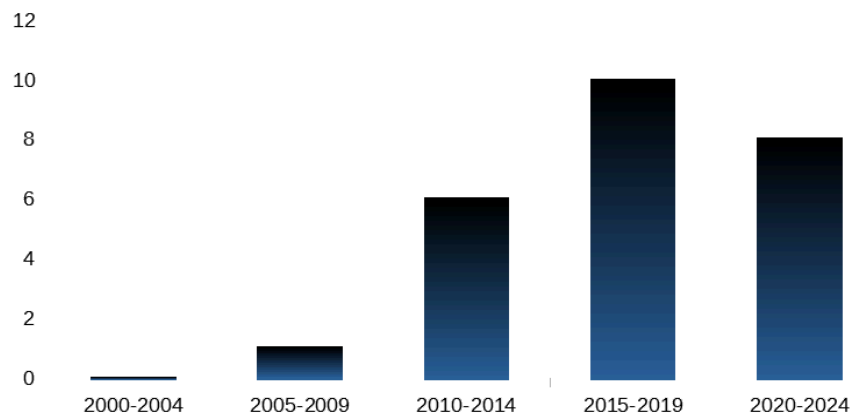
Gráfico 1 - Número de publicações por quinquênio



Fonte: Elaborado pelo autor

Levando em consideração o número total de publicações obtidas através da busca inicial pelos termos definidos, foram identificados 25 artigos de revisão, os quais também apresentam mais expressividade nos últimos 15 anos, como podemos perceber a partir do Gráfico 2, onde temos o número de publicações de revisão por quinquênio.

Gráfico 2 - Número de publicações de revisão por quinquênio



Fonte: Elaborado pelo autor

Entre os artigos de revisão listados na busca inicial, alguns merecem destaque, como Rocha *et al.* (2018), Abdilahi *et al.* (2014), Hoppmann *et al.* (2014), Friege e Chappin (2014), Okoye, Taylan, Baker (2016), Shaahid e Elhadidy (2007), esses trabalhos analisam a viabilidade técnico-econômica por meio de modelos ou *softwares* de simulação. Porém,

nenhum deles avalia a viabilidade técnica em termos de infraestrutura física ou adaptações nas instalações, além de não analisarem a viabilidade ambiental.

Ainda entre os artigos de revisão, cerca de um terço, aborda a viabilidade técnico-econômica em termos do armazenamento de energia através de baterias, apontando que a tecnologia das baterias existentes ainda carece de desenvolvimento e possui custos relativamente elevados. Enquanto, apenas Ameli *et al.* (2024) e Kaleem, Zaman, Rajakaruna (2024) abordam a viabilidade técnico-econômica do hidrogênio em residências.

4.1 Fatores determinantes para a eficiência

A eficiência em sistemas de energia renovável compostos por painéis solares fotovoltaicos ou turbinas eólicas, ou ainda, sistemas híbridos, avaliados em termos técnicos e econômicos por Khosravani *et al.* (2024), é o principal ponto de consenso entre os autores. De acordo com Oliveira (2019), esses sistemas se destacam por sua capacidade de gerar eletricidade de forma limpa e eficiente, especialmente em regiões com condições climáticas favoráveis. Santos *et al.* (2008) e Pena-Bello *et al.* (2019) enfatizam a importância de considerar as características geográficas e climáticas na instalação dessas tecnologias para maximizar seu desempenho.

4.2 Viabilidade econômica

Em termos econômicos, são discutidos os custos iniciais de implementação e o retorno sobre o investimento (ROI). Lin, Chang, Chung (2015) e Camioto e Gomes (2018) destacam que, embora o custo inicial seja relativamente elevado, o retorno financeiro a longo prazo, associado à economia de energia e aos incentivos fiscais, torna o investimento atrativo. Isso é reforçado por Souza (2021), que analisa o período de *payback* e conclui que, em muitos casos, o investimento em sistemas de energia renovável é recuperado em menos de uma década, tornando-se economicamente viável para os proprietários.

4.3 Viabilidade técnica

No entanto, há divergências quanto aos desafios técnicos e estruturais enfrentados na adaptação de edifícios residenciais às tecnologias renováveis. Magnus (2013) argumenta que a integração dessas tecnologias pode ser complicada em construções mais antigas,

exigindo adaptações significativas na infraestrutura elétrica. Por outro lado, Jenkins (2013) e Lang, Gloerfeld, Girod (2015) e Sandoval *et al.* (2021) sugerem que, com o avanço tecnológico, esses desafios têm sido cada vez mais mitigados, especialmente com o desenvolvimento de sistemas modulares que se adaptam a diferentes tipos de edificações.

4.4 Viabilidade ambiental

A discussão sobre o impacto ambiental também é amplamente abordada. Os autores são unânimes em afirmar que a transição para energias renováveis reduz significativamente a pegada de carbono dos edifícios, contribuindo para a sustentabilidade global. Molitor *et al.* (2012) destacam que, além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, os sistemas de energia renovável promovem uma utilização mais eficiente dos recursos naturais, preservando-os para as futuras gerações. Essa perspectiva é compartilhada por Ali *et al.* (2022) e Tirelli e Besana (2023), que enfatizam a importância de integrar esses sistemas em uma economia circular, minimizando o desperdício e maximizando a reutilização de materiais.

4.5 Políticas públicas e incentivos fiscais

Em relação às políticas públicas e incentivos fiscais, os autores destacam sua importância para a viabilização econômica desses sistemas. Barbosa (2013) e Hoppmann *et al.* (2014) observam que as políticas de incentivo, como subsídios e isenções fiscais, são cruciais para tornar a energia renovável acessível a um público mais amplo. Camioto e Gomes (2018) acrescentam que, além dos incentivos financeiros, é fundamental que haja uma conscientização da população sobre os benefícios das energias renováveis, o que pode ser promovido por meio de campanhas educativas e programas governamentais.

5 DISCUSSÕES

5.1 Viabilidade econômica

A discussão sobre a viabilidade econômica revela nuances importantes. Enquanto Camioto e Gomes (2018) e Souza (2021) defendem que o retorno sobre o investimento (ROI) justifica o custo inicial, especialmente com o apoio de incentivos fiscais, outros estudos, como

o de Jenkins (2013), sugerem que o ROI pode variar substancialmente dependendo de fatores como a flutuação dos preços da energia convencional e as políticas governamentais vigentes. Essa variação indica que, embora a viabilidade econômica seja robusta em muitos cenários, ela não é universal, exigindo uma avaliação cuidadosa caso a caso para garantir que as expectativas financeiras sejam realistas.

5.2 Viabilidade técnica

A integração dos sistemas renováveis em edifícios residenciais, especialmente em construções mais antigas, apresenta desafios técnicos que foram discutidos por Magnus (2013) e confirmados por Jenkins (2013). A necessidade de adaptações na infraestrutura elétrica e a possível incompatibilidade com sistemas já instalados podem aumentar os custos e complicar a implementação. No entanto, a contínua evolução tecnológica, mencionada por Jenkins (2013), pode reduzir esses desafios, especialmente com o desenvolvimento de soluções modulares e mais adaptáveis. Assim, a discussão sugere que a inovação tecnológica desempenha um papel crucial na superação dessas barreiras, algo que deve ser considerado por futuros estudos e políticas públicas.

5.3 Viabilidade ambiental

A questão do impacto ambiental é um dos pontos mais consensuais entre os estudos analisados. Todos os autores concordam que a transição para energias renováveis contribui significativamente para a redução da pegada de carbono e para a mitigação das mudanças climáticas. Entretanto, um ponto que merece maior destaque na discussão é a gestão do ciclo de vida dos equipamentos renováveis. Embora Ali *et al.* (2022) e Molitor *et al.* (2012) abordem a importância da reciclagem e do reuso de materiais, há uma necessidade de maior aprofundamento em como essas práticas estão sendo implementadas na prática e quais são os desafios enfrentados para garantir que os benefícios ambientais sejam plenamente realizados.

5.4 Políticas públicas e incentivos fiscais

Quando se discute as políticas públicas e incentivos fiscais, Barbosa (2013) e Camioto e Gomes (2018) enfatizam sua importância para a viabilização econômica das

energias renováveis. No entanto, a discussão sugere que a eficácia dessas políticas pode variar conforme o contexto socioeconômico e político de cada região. Além disso, a permanência e consistência dessas políticas são essenciais para garantir a confiança dos investidores e consumidores na viabilidade a longo prazo dos sistemas de energia renovável. Esse ponto é crucial, pois políticas inconsistentes ou temporárias podem minar os benefícios potenciais, retardando a adoção em larga escala.

Outro aspecto relevante discutido é a aceitação social das energias renováveis. Embora não tenha sido o foco central da revisão, estudos como o de Souza (2021) indicam que a percepção pública pode influenciar a adoção dessas tecnologias. A discussão aponta para a necessidade de mais pesquisas sobre como a percepção e o comportamento dos consumidores podem ser moldados por campanhas educacionais e pela exposição aos benefícios das energias renováveis. A aceitação social é um fator que pode acelerar ou retardar a transição para energias limpas, e sua importância não deve ser subestimada.

5.5 Conclusões

Sugere-se que, embora a implementação de sistemas de energia renovável em edifícios residenciais seja viável e benéfica, há uma necessidade contínua de pesquisa e inovação para superar os desafios técnicos, econômicos e sociais que ainda persistem. A colaboração entre governos, indústria e academia é essencial para garantir que as barreiras sejam abordadas de forma integrada, promovendo uma transição suave e eficaz para um modelo energético mais sustentável.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho realizado permitiu uma investigação da viabilidade da implementação de sistemas de energia renovável em edifícios residenciais, com foco nos aspectos técnicos, econômicos e ambientais. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que os sistemas de energia renovável, como os painéis fotovoltaicos e as turbinas eólicas, são tecnicamente viáveis quando as condições climáticas e estruturais são favoráveis. A compatibilidade com a infraestrutura elétrica existente e a adequação às características dos edifícios são aspectos relevantes que devem ser considerados para garantir o sucesso na implementação.

A análise técnica confirmou a viabilidade dos sistemas de energia renovável, enquanto a avaliação econômica demonstrou que, com o apoio de incentivos fiscais e políticas

públicas adequadas, esses sistemas podem ser financeiramente atraentes. Além disso, o impacto ambiental positivo dessas tecnologias foi evidenciado, mostrando que a substituição das fontes de energia convencionais por energias renováveis contribui significativamente para a redução da pegada de carbono e para a sustentabilidade global.

O problema de pesquisa, que questionava a viabilidade técnica, econômica e ambiental da implementação de sistemas de energia renovável em edifícios residenciais, foi esclarecido de forma satisfatória. As hipóteses levantadas foram confirmadas: os sistemas são tecnicamente viáveis, economicamente vantajosos com os incentivos corretos, e ambientalmente superiores às fontes de energia convencionais. No entanto, foram identificadas algumas limitações, especialmente na dificuldade de localizar estudos e dados mais específicos sobre a adaptação de tecnologias em diferentes contextos geográficos. Essas limitações sugerem que há espaço para futuras pesquisas, particularmente em estudos de caso que explorem a aplicação dessas tecnologias em contextos específicos e que avaliem a eficácia das políticas públicas em diferentes regiões.

Futuras pesquisas podem também se beneficiar de uma análise detalhada sobre a gestão do ciclo de vida dos equipamentos e sobre como essas tecnologias podem ser integradas de maneira mais eficaz em áreas urbanas e rurais. Além disso, estudos sobre a aceitação social dessas tecnologias e sobre os desafios técnicos específicos em edifícios mais antigos seriam de grande valor para avançar no conhecimento e na prática da implementação de energias renováveis em ambientes residenciais.

REFERÊNCIAS

ABDILAH, Abdirahman Mohamed *et al.* Feasibility study of renewable energy-based microgrid system in Somaliland' s urban centers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 1048-1059, 2014.

ALI, Abdelrahman O. *et al.* Closed-loop home energy management system with renewable energy sources in a smart grid: A comprehensive review. **Journal of Energy Storage**, v. 50, p. 104609, 2022.

AMELI, Hossein *et al.* A Review of the Role of Hydrogen in the Heat Decarbonization of Future Energy Systems: Insights and Perspectives. **Energies**, v. 17, n. 7, p. 1688, 2024.

BARBOSA, Luís Fernando Ferreira Motta. **Geração de energia renovável em residências: aplicação de tecnologias existentes**. 2013. 70 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013

CAMIOTO, Flávia de Castro; GOMES, Vanessa Peres Rezende Garcia. Análise de viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia fotovoltaico nas residências uberabenses. **Revista Produção Online**, v. 18, n. 4, p. 1159-1180, 2018.

FERNANDES JUNIOR, Robson Luiz. **Dimensionamento de usina fotovoltaica para unidades consumidoras de baixa tensão na Região de Sorocaba-SP**. 2024. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2024.

FRIEGE, Jonas; CHAPPIN, Emile. Modelling decisions on energy-efficient renovations: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 196-208, 2014.

HOPPMANN, Joern *et al.* The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaic systems—A review and a simulation model. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 1101-1118, 2014.

JENKINS, Dilwyn. **Renewable energy systems: the earthscan expert guide to renewable energy technologies for home and business**. Routledge, 2013.

KALEEM, Ayesha; ZAMAN, Atiq; RAJAKARUNA, Sumedha. Hydrogen at home: The current and future landscape of green hydrogen in residential settings. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 72, p. 104058, 2024.

KHOSRAVANI, Ali *et al.* Electrification of residential and commercial buildings integrated with hybrid renewable energy systems: A techno-economic analysis. **Energy**, 2024.

LANG, Tillmann; GLOERFELD, Erik; GIROD, Bastien. Don' t just follow the sun—A global assessment of economic performance for residential building photovoltaics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 932-951, 2015.

LIMA, Katiane Andrade Cruz de. **Avaliação dos impactos sociais e ambientais decorrentes da instalação de usinas de geração de energia renovável: uma revisão sistemática**. 2023.

76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) -

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

LIN, W. M.; CHANG, K. C.; CHUNG, K. M. Payback period for residential solar water heaters in Taiwan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 901-906, 2015.

MAGNUS, Guilherme Hendler. **Energia renovável: sistema fotovoltaico como alternativa para residências em Criciúma-SC**. 2019. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Ciências Contábeis) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2019.

MOLITOR, Christoph *et al.* Multiphysics test bed for renewable energy systems in smart homes. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 60, n. 3, p. 1235-1248, 2012.

OKOYE, Chiemeka Onyeka; TAYLAN, Onur; BAKER, Derek K. Solar energy potentials in strategically located cities in Nigeria: Review, resource assessment and PV system design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 550-566, 2016.

OLIVEIRA, Larissa Pena. **Estudo de viabilidade da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma residência**. 2019. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

PENA-BELLO, Alejandro *et al.* Optimized PV-coupled battery systems for combining applications: Impact of battery technology and geography. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 112, p. 978-990, 2019.

ROCHA, Luiz Célio Souza *et al.* A stochastic economic viability analysis of residential wind power generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 412-419, 2018.

SANDOVAL, Danny Javier Trujillo; VELÁSQUEZ, Fabricio Ismael Mosquera; TORRES, Edwin Marcelo García. Viability of micro electrical networks with high penetration of renewable resources in urban areas: Case study of residential condominiums. **Enfoque UTE**, v. 12, n. 2, p. 19-36, 2021.

SANTOS, Isis Portolan dos; JUNIOR, Jair Urbanetz; RÜTHER, Ricardo. Energia solar fotovoltaica como fonte complementar de energia elétrica para residências na busca da sustentabilidade. *In*: Encontro Nacional de Tecnologia Ambiente Construído, 12., 2008, Fortaleza. **Anais [...]** Fortaleza, 2008.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Apoio ao Governo do Estado de São Paulo no desenvolvimento de conhecimento, informações e ferramentas para disseminar o uso de sistemas de energia solar fotovoltaica em edifícios públicos no Estado: relatório inicial**. São Paulo: SIMA, 2019.

SHAAHID, S. M.; ELHADIDY, M. A. Technical and economic assessment of grid-independent hybrid photovoltaic–diesel–battery power systems for commercial loads in desert environments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 8, p. 1794-1810, 2007.

SOUSA, Júlio César Gentil de. **A viabilidade da energia fotovoltaica em residências de padrões médios**. 2022. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2022.

SOUZA, Luciano Gonçalves de. **Análise de viabilidade econômica e ambiental para a implantação de sistema de geração de energia renovável em uma residência unifamiliar**. 2021. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

TIRELLI, Davide; BESANA, Daniela. Moving toward net zero carbon buildings to face Global Warming: A narrative review. **Buildings**, v. 13, n. 3, p. 684, 2023.