

AUTOMAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES

Gabriel Poncio Bechara¹
Luis Gustavo Schröder e Braga²

RESUMO

Em um contexto global onde a sustentabilidade é priorizada, a energia solar se destaca como uma fonte de energia renovável e limpa, oferecendo uma alternativa viável aos combustíveis fósseis. Sua relevância transcende fronteiras geográficas e econômicas, influenciando tanto países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. A energia solar não só reduz a dependência de combustíveis fósseis como também diminui as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Diante desse cenário, objetivou-se averiguar a viabilidade e os benefícios da automação de painéis solares como uma estratégia para otimizar a geração e o consumo de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Metodologicamente, aplicou-se uma revisão bibliográfica exploratória e comparativa sob as vias de uma pesquisa qualitativa. Esta abordagem permitiu identificar as melhores práticas e inovações no campo da automação de sistemas fotovoltaicos. Concluiu-se que a automação de painéis solares não é apenas uma área de pesquisa promissora, mas um componente fundamental na construção de um futuro energético mais limpo, eficiente e sustentável. A automação permite o monitoramento em tempo real e a manutenção preditiva, aumentando a eficiência e a vida útil dos sistemas. Com o contínuo investimento em pesquisa e desenvolvimento nesse campo, tornam-se possíveis sistemas fotovoltaicos mais inteligentes, confiáveis e acessíveis, impulsionando assim a adoção generalizada da energia solar nacionalmente. Dessa forma, a automação de painéis solares representa um passo significativo em direção a um futuro sustentável, onde a energia limpa e renovável é a norma.

Palavras-chave: Energia Solar. Automação. Sistemas Fotovoltaicos. Eficiência Energética. Monitoramento Remoto.

ABSTRACT

¹ Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – aluno.gabriel.bechara@doctum.edu.br – graduando em Engenharia Elétrica

² Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – luis.braga@doctum.edu.br (professor orientador)

In a global context where sustainability is prioritized, solar energy stands out as a renewable and clean energy source, offering a viable alternative to fossil fuels. Its relevance transcends geographical and economic boundaries, influencing both developed and developing countries. Solar energy not only reduces dependence on fossil fuels but also decreases greenhouse gas emissions, contributing to the mitigation of climate change. Given this scenario, the objective was to investigate the feasibility and benefits of automating solar panels as a strategy to optimize the generation and consumption of electrical energy from renewable sources. Methodologically, an exploratory and comparative literature review was applied within the framework of qualitative research. This approach allowed for the identification of best practices and innovations in the field of photovoltaic system automation. It was concluded that the automation of solar panels is not only a promising area of research but also a fundamental component in building a cleaner, more efficient, and sustainable energy future. Automation enables real-time monitoring and predictive maintenance, increasing the efficiency and lifespan of the systems. With continued investment in research and development in this field, more intelligent, reliable, and accessible photovoltaic systems become possible, thus driving the widespread adoption of solar energy nationally. In this way, the automation of solar panels represents a significant step towards a sustainable future, where clean and renewable energy is the norm.

Keywords: Solar Energy. Automation. Photovoltaic Systems. Energy Efficiency. Remote Monitoring.

1 INTRODUÇÃO

A energia solar denota-se como uma resposta central às adversidades contemporâneas correlatas à demanda energética e às preocupações ambientais. Em um cenário global onde a sustentabilidade se tornou uma prioridade, a energia solar se destaca como uma fonte renovável e limpa que oferta uma alternativa viável aos combustíveis fósseis. Sua importância supera as fronteiras geográficas e econômicas, influenciando tanto países desenvolvidos quanto em desenvolvimento.

A demanda progressiva por soluções energéticas limpas tem impulsionado o crescimento do setor solar em ritmo acelerado. Governos, empresas e consumidores

estão cada vez mais conscientes dos impactos ambientais adversos associados à queima de combustíveis fósseis, incluindo a emissão de gases de efeito estufa e a degradação do meio ambiente. Nesse ínterim, a energia solar se destaca como uma alternativa promissora, capaz de reduzir substancialmente a pegada de carbono e promover uma transição para um futuro mais sustentável (BARBOSA FILHO *et al.*, 2015).

Os benefícios ambientais da energia solar são vastos. Primordialmente, a energia solar é uma fonte inesgotável de energia, garantindo uma oferta constante de eletricidade sem esgotar os recursos naturais. Inclusive, a geração de energia solar não emite poluentes atmosféricos nocivos, corroborando para com a melhoria da qualidade do ar e a redução dos impactos na saúde humana. A energia solar também garante uma solução descentralizada para a geração de energia, permitindo que comunidades remotas e áreas rurais tenham acesso a eletricidade de forma sustentável e econômica (CARMO, 2020).

Diante dos desafios globais relacionados à mudança climática e à segurança energética, a energia solar se destaca como uma fonte de energia essencial para o futuro. Sua disponibilidade abundante, combinada com seus benefícios ambientais e econômicos, a posiciona como uma peça fundamental na busca por um sistema energético mais resiliente e sustentável. Assim, investir no desenvolvimento e na adoção da energia solar impulsiona a inovação tecnológica ao passo que também promove o progresso rumo a um mundo mais verde e equitativo (RODRIGUES *et al.*, 2019).

A escolha da temática da automação de painéis solares para este estudo é fundamentada em diversas razões que convergem para a sua relevância tanto na área da Engenharia Elétrica quanto para a sociedade em geral. Essa escolha é respaldada pela importância da energia solar como uma fonte de energia limpa e renovável, assim como pela necessidade de desenvolver tecnologias que otimizem a sua eficiência e confiabilidade.

Em paralelo, esta automação possui o potencial de democratizar o acesso à energia limpa, permitindo que comunidades em áreas remotas ou carentes de infraestrutura elétrica tenham acesso a eletricidade de forma confiável e sustentável.

O objetivo geral desta pesquisa é averiguar a viabilidade e os benefícios da automação de painéis solares como uma estratégia para otimizar a geração e o consumo de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Já os objetivos específicos

são caracterizar as tecnologias e metodologias de automação aplicadas em sistemas de energia solar fotovoltaica, ressaltar os impactos da automação na eficiência operacional, na confiabilidade e na segurança de sistemas de painéis solares e evidenciar tanto diretrizes quanto recomendações para a implementação de soluções automatizadas em painéis solares visando a maximização do aproveitamento de energia renovável.

A seguinte questão-problema norteia esta pesquisa: Como a automação de painéis solares pode contribuir para a otimização da geração e do consumo de energia elétrica a partir de fontes renováveis, considerando aspectos de eficiência operacional, confiabilidade e segurança do sistema?

2 ENERGIA SOLAR E AUTOMAÇÃO

2.1 Componentes e Funcionamento de Sistemas Fotovoltaicos

Os princípios básicos da energia solar constituem o fundamento essencial para compreender como essa fonte renovável e sustentável de energia é captada e convertida em eletricidade. A conversão de energia solar em energia elétrica é um processo complexo, mas fundamentalmente baseado no efeito fotovoltaico, descoberto há mais de um século. Esse efeito ocorre quando a luz solar incide sobre células fotovoltaicas, que são compostas de materiais semicondutores, como o silício. Quando os fótons da luz solar atingem essas células, eles excitam os elétrons presentes nos átomos do material semicondutor, gerando uma corrente elétrica (CARMO, 2020).

Todavia, vários fatores influenciam a quantidade de energia solar disponível para ser capturada e convertida em eletricidade. A radiação solar incidente é um dos principais determinantes, sendo influenciada por fatores geográficos, como latitude, altitude e orientação do local em relação ao sol. Ademais, condições atmosféricas, como nebulosidade, umidade e poluição, também podem afetar a quantidade de luz solar que atinge os painéis fotovoltaicos. O ângulo de inclinação e a limpeza dos painéis solares também desempenham um papel crucial na maximização da absorção de energia solar (KRUG; LOPES, 2016).

Dentre as opções disponíveis, os painéis solares monocristalinos, policristalinos e de filme fino são os mais comuns. Os painéis monocristalinos são

reconhecidos por sua eficiência e desempenho superiores, sendo produzidos a partir de um único cristal de silício, o que resulta em uma estrutura uniforme e altamente eficiente na conversão de luz solar em eletricidade. Por outro prisma, os painéis policristalinos são fabricados a partir de silício fundido em múltiplos cristais, o que os torna mais acessíveis em termos de custo, porém com uma eficiência ligeiramente inferior em comparação com os monocristalinos (DASSI *et al.*, 2015).

Não obstante, os painéis de filme fino representam uma alternativa diferente, pois são feitos de materiais semicondutores depositados em substratos flexíveis, como vidro ou plástico. Embora sejam geralmente menos eficientes do que os painéis de silício, os painéis de filme fino são mais leves, mais flexíveis e podem ser produzidos em larga escala a um custo relativamente baixo. Essa característica os torna especialmente adequados para aplicações em telhados de edifícios e em locais onde o espaço é limitado (JUSTINO *et al.*, 2017).

Embora os painéis monocristalinos possam ter uma eficiência inicialmente maior, os custos de produção e a complexidade de fabricação podem torná-los menos acessíveis em comparação com os painéis policristalinos e de filme fino. Assim, a escolha da tecnologia fotovoltaica mais adequada dependerá das necessidades específicas do projeto, englobando considerações de custo, espaço disponível e metas de eficiência energética a longo prazo (VIEIRA, 2019).

Em comparação com outras fontes de energia, a energia solar vem se destacando como uma das principais alternativas aos combustíveis fósseis, impulsionada por avanços tecnológicos, redução de custos e crescente conscientização sobre os impactos ambientais das fontes tradicionais de energia. O setor solar experimentou um crescimento exponencial, com a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica e térmica aumentando de maneira robusta em todo o mundo (ALVES, 2018).

Uma das principais razões para o crescimento acelerado da energia solar é sua contribuição significativa para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Ao contrário dos combustíveis fósseis, que liberam dióxido de carbono e outros poluentes durante a combustão, a energia solar é uma fonte limpa e renovável que não emite poluentes atmosféricos nocivos durante a geração de eletricidade. Isso a torna uma opção atrativa para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e reduzir a poluição do ar, ajudando a atender aos objetivos estabelecidos pelos acordos internacionais sobre o clima (LEWANDOSKI *et al.*, 2022).

Paulatinamente, a perspectiva futura para a integração da energia solar na matriz energética é bastante promissora. Com contínuos avanços em tecnologia, armazenamento de energia e infraestrutura de rede, espera-se que a participação da energia solar cresça ainda mais nos próximos anos. A implementação de políticas de incentivo, investimentos em pesquisa e desenvolvimento e a criação de marcos regulatórios favoráveis têm contribuído para acelerar esse processo de transição energética (JUSTINO *et al.*, 2017).

Questões relacionadas à variabilidade da produção solar, armazenamento de energia e infraestrutura de rede precisam ser abordadas para garantir a estabilidade e confiabilidade do sistema elétrico. Aliás, a necessidade de desenvolver estratégias de transição justa para as comunidades afetadas pela mudança para fontes de energia renovável também é fundamental para garantir uma transição suave e equitativa (MONTEIRO, 2018).

A automação é um conceito que se refere à aplicação de tecnologia para realizar tarefas de forma autônoma, sem intervenção humana direta. Seus objetivos principais envolvem a otimização de processos, a redução de erros e custos, o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade em diversas áreas. Essa tecnologia é amplamente aplicável em diferentes setores, incluindo indústrias, residências e infraestruturas energéticas (ROSA; GASPARIN, 2016).

Nas indústrias, a automação vem se mostrando como central na otimização da produção, desde a fabricação de bens de consumo até a produção de energia. Ela permite a implementação de linhas de produção automatizadas, onde máquinas e equipamentos executam tarefas de montagem, inspeção e embalagem de forma eficiente e precisa. Isso não apenas aumenta a velocidade e a qualidade da produção, mas também reduz os custos trabalhistas e minimiza os riscos de acidentes de trabalho (ROSA; GASPARIN, 2016).

Além disso, a automação também tem uma aplicabilidade significativa em residências, onde é utilizada para controlar sistemas de iluminação, climatização, segurança e entretenimento. Através de dispositivos inteligentes e sistemas de automação residencial, os moradores podem controlar remotamente diversos aspectos de suas casas, aumentando o conforto, a conveniência e a eficiência energética (LANA *et al.*, 2015).

No que diz respeito às infraestruturas energéticas, a automação desempenha um papel crucial na operação e manutenção de sistemas de geração, distribuição e

consumo de energia. Ela permite o controle remoto de subestações elétricas, o monitoramento em tempo real do fluxo de energia e a otimização da rede elétrica para atender à demanda de forma eficiente. Isso não apenas melhora a confiabilidade do fornecimento de energia, mas também contribui para a redução de perdas e desperdícios, promovendo uma utilização mais sustentável dos recursos (KRUG; LOPES, 2016).

Em termos de benefícios, a automação proporciona uma série de vantagens em termos de eficiência, segurança e economia de recursos. Ao automatizar processos repetitivos e monótonos, ela permite que os trabalhadores se concentrem em tarefas mais complexas e criativas, aumentando a produtividade e a satisfação no trabalho (JUSTINO *et al.*, 2017).

Outrossim, a automação é capaz de melhorar a segurança em ambientes industriais ao reduzir a exposição dos trabalhadores a situações de risco e minimizar a ocorrência de erros humanos. Por conseguinte, ela também pode levar a uma economia significativa de recursos, incluindo energia, matéria-prima e mão de obra, o que se traduz em redução de custos e maior competitividade no mercado (CARMO, 2020).

Na geração de energia, por exemplo, sistemas automatizados são capazes de monitorar e controlar remotamente as instalações de produção, ajustando a operação conforme a demanda e as condições ambientais, maximizando assim a eficiência e a confiabilidade dos processos (ALVES, 2018).

Além disso, a automação também se mostra como importante na distribuição de energia, especialmente em redes elétricas inteligentes (smart grids). Esses sistemas automatizados são utilizados para monitorar o fluxo de eletricidade em tempo real, identificar falhas e desequilíbrios na rede e reconfigurar automaticamente o sistema para minimizar interrupções no fornecimento de energia (LEWANDOSKI *et al.*, 2022).

Desta forma, otimiza-se a confiabilidade do sistema elétrico, ao passo que se permite a integração de fontes de energia renovável de forma mais eficiente, facilitando a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável (LANA *et al.*, 2015).

Neste panorama, a automação também é amplamente utilizada em outras fontes de energia além da solar. Por exemplo, na indústria eólica, sistemas automatizados são empregados para controlar a operação de turbinas eólicas,

ajustando a orientação das pás de acordo com a direção e a velocidade do vento para otimizar a produção de energia. Na energia hidrelétrica, sistemas de automação são utilizados para controlar a abertura e o fechamento das comportas das barragens, regulando o fluxo de água para maximizar a eficiência na geração de eletricidade (ALVES, 2018).

Contudo, apesar dos benefícios da automação, existem desafios específicos relacionados à sua aplicação em sistemas de energia solar. Por exemplo, a variabilidade da irradiação solar requer sistemas de automação robustos e flexíveis, capazes de ajustar a operação dos painéis solares de acordo com as condições climáticas em constante mudança. Inclusive, a integração de sistemas de armazenamento de energia e a gestão da carga também são aspectos desafiadores que requerem soluções inovadoras e tecnologias avançadas para garantir a eficiência e a confiabilidade do sistema (ROSA; GASPARIN, 2016).

Nos sistemas fotovoltaicos, a automação é aplicada em várias etapas do processo, desde a captura da energia solar até a distribuição e consumo da eletricidade gerada. Ou seja, sistemas de rastreamento solar automatizados são utilizados para ajustar a inclinação e orientação dos painéis solares de acordo com a posição do sol, maximizando assim a absorção de radiação solar ao longo do dia. Além disso, algoritmos de controle avançados são empregados para otimizar a operação dos inversores, garantindo uma conversão eficiente da energia solar em eletricidade e minimizando perdas no sistema (CARMO, 2020).

Já a integração de sistemas de automação com outras fontes de energia renovável, como eólica e hidrelétrica, é cada vez mais comum. Em parques eólicos, sistemas automatizados são utilizados para monitorar e controlar a operação das turbinas eólicas, ajustando sua orientação e velocidade de rotação de acordo com as condições do vento para maximizar a produção de energia (ROSA; GASPARIN, 2016).

Da mesma forma, na energia hidrelétrica, sistemas de automação são empregados para controlar a abertura e fechamento das comportas das barragens, otimizando o fluxo de água e a geração de eletricidade de acordo com a demanda e as condições hidrológicas (LANA *et al.*, 2015).

Com os avanços em inteligência artificial, internet das coisas (IoT) e análise de dados, é provável que surjam novas soluções e ferramentas de automação mais sofisticadas e eficientes. Dessarte, a implementação de sistemas de aprendizado de

máquina pode permitir a previsão mais precisa da geração de energia solar com base em dados meteorológicos e de irradiação solar, possibilitando um controle mais preciso e adaptativo dos sistemas fotovoltaicos (ALVES, 2018).

Logo, a integração de sistemas de automação com tecnologias de armazenamento de energia, como baterias de íon-lítio, tende a facilitar a gestão inteligente da energia solar, permitindo o armazenamento e uso eficiente da eletricidade gerada, mesmo durante períodos de baixa irradiação solar (KRUG; LOPES, 2016).

2.2 Desafios na Operação de Sistemas de Energia Solar

As condições climáticas são substanciais em relação aos sistemas de energia solar, uma vez que fatores como nuvens, nevoeiro e cobertura de neve podem afetar diretamente a quantidade de luz solar que atinge os painéis solares. Durante períodos de céu nublado ou nevoeiro denso, a quantidade de irradiação solar disponível é reduzida, o que resulta em uma diminuição na produção de energia pelos painéis solares. Igualmente, a presença de neve sobre os painéis solares pode bloquear a luz solar e reduzir ainda mais a eficiência da geração de energia (LANA *et al.*, 2015).

Para além das variações climáticas, existem também efeitos sazonais e diários que influenciam a quantidade de irradiação solar recebida pelos painéis solares. Durante o inverno, por exemplo, os dias são mais curtos e o sol está em uma trajetória mais baixa no céu, o que resulta em uma menor intensidade de irradiação solar. Da mesma forma, a variação diária na posição do sol ao longo do dia afeta a quantidade de luz solar que incide nos painéis solares, com picos de produção durante o meio-dia solar e diminuição nos períodos de manhã e tarde (ROSA; GASPARIN, 2016).

As consequências da variabilidade da irradiação solar na estabilidade e previsibilidade da geração de energia são significativas. A flutuação na produção de energia ao longo do dia e em resposta às condições climáticas pode tornar a geração de energia solar menos previsível e confiável em comparação com outras fontes de energia mais estáveis, como a energia nuclear ou hidrelétrica. Representa-se, assim, um desafio para a integração da energia solar na rede elétrica, exigindo a implementação de estratégias de gerenciamento de energia e sistemas de armazenamento para lidar com a variabilidade na produção (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Para mitigar as perdas causadas pela variabilidade da irradiação solar na geração de energia, diversas estratégias têm sido desenvolvidas e implementadas. Uma dessas estratégias é a utilização de sistemas de rastreamento solar, que são projetados para maximizar a captura de luz solar ao longo do dia. Esses sistemas ajustam automaticamente a orientação e inclinação dos painéis solares de acordo com a posição do sol, garantindo assim que os painéis estejam sempre alinhados de forma ideal para receber a máxima quantidade de luz solar possível. Essa abordagem ajuda a compensar as variações na intensidade e ângulo da irradiação solar ao longo do dia, aumentando assim a eficiência da geração de energia (LANA *et al.*, 2015).

Durante períodos de alta irradiação solar, o excesso de energia gerada pode ser armazenado nas baterias para uso posterior, quando a produção de energia é reduzida devido a condições climáticas desfavoráveis. Isso ajuda a suavizar as flutuações na geração de energia solar e garantir um fornecimento estável de eletricidade, mesmo em momentos de baixa irradiação solar (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Concomitantemente, o desenvolvimento de algoritmos de controle adaptativos é outra estratégia promissora para mitigar as perdas causadas pela variabilidade solar. Esses algoritmos são projetados para ajustar a operação dos painéis solares em tempo real com base em informações meteorológicas e de irradiação solar em constante mudança. Eles podem otimizar a inclinação e orientação dos painéis, ajustar a potência de saída dos inversores e coordenar o armazenamento de energia de forma a maximizar a eficiência da geração de energia em todas as condições (VIEIRA, 2014).

Essas estratégias de mitigação não apenas ajudam a minimizar as perdas causadas pela variabilidade da irradiação solar, mas também contribuem para aumentar a confiabilidade e a previsibilidade da geração de energia solar. Combinando o uso de sistemas de rastreamento solar, armazenamento de energia e algoritmos de controle adaptativos, é possível otimizar de maneira expressiva o desempenho dos sistemas fotovoltaicos, tornando-os mais resilientes às condições climáticas variáveis e mais competitivos em relação a outras fontes de energia (LEWANDOSKI *et al.*, 2022).

Tanto a modelagem quanto a previsão da irradiação solar se mostram como centrais na otimização da operação de sistemas fotovoltaicos, permitindo uma gestão mais eficiente da produção de energia e uma melhor adaptação às condições

climáticas variáveis. Para estimar a irradiação solar em diferentes condições atmosféricas, são utilizados diversos métodos de modelagem matemática, que levam em consideração parâmetros como posição solar, cobertura de nuvens, umidade atmosférica e turbidez atmosférica (LANA *et al.*, 2015).

Esses modelos são baseados em equações físicas que descrevem a interação da luz solar com a atmosfera e a superfície terrestre, permitindo assim a previsão da quantidade de energia solar que atinge os painéis solares em determinado local e momento (RODRIGUES *et al.*, 2019).

São empregadas, ainda, técnicas de previsão de curto e longo prazo para antecipar variações na geração de energia solar. As previsões de curto prazo, que abrangem períodos de horas a dias, são baseadas em métodos estatísticos e análise de dados meteorológicos em tempo real, permitindo uma resposta rápida a mudanças nas condições climáticas (LEWANDOSKI *et al.*, 2022).

Já as previsões de longo prazo, que abrangem períodos de semanas a meses, são realizadas por meio de modelos climáticos e séries temporais históricas, fornecendo uma visão mais ampla das tendências sazonais e anuais na geração de energia solar (KRUG; LOPES, 2016).

A integração de modelos de previsão com sistemas de automação é outro aspecto importante na otimização da operação do sistema fotovoltaico. Essa integração permite a tomada de decisão em tempo real com base nas previsões de irradiação solar, possibilitando ajustes na operação dos painéis solares, inversores e sistemas de armazenamento para maximizar a eficiência da geração de energia (VIEIRA, 2014).

A importância da manutenção preventiva em sistemas fotovoltaicos é fundamental para garantir a máxima eficiência e durabilidade dos painéis solares, bem como para evitar falhas e interrupções na geração de energia. A manutenção regular é devida para maximizar a vida útil dos painéis solares, garantindo que operem de forma eficiente ao longo do tempo. Ao realizar inspeções periódicas e manutenção preventiva, é possível identificar e corrigir problemas potenciais antes que se tornem mais graves, prolongando assim a vida útil dos equipamentos e evitando custos desnecessários com reparos ou substituições (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Um dos benefícios mais relevantes da manutenção preventiva é a maximização do desempenho dos painéis solares. A inspeção regular de componentes, como módulos solares, cabos e conexões elétricas, permite detectar e corrigir problemas de

forma proativa, garantindo assim que o sistema funcione com eficiência máxima. Aliás, a limpeza periódica dos painéis solares é elementar para remover sujeira, poeira e detritos que possam se acumular na superfície dos painéis e reduzir a eficiência da geração de energia (LANA *et al.*, 2015).

Outro aspecto da manutenção preventiva é a implementação de estratégias de manutenção preditiva, que visam identificar e corrigir problemas antes que afetem a operação do sistema. Isso pode incluir o uso de sensores e sistemas de monitoramento remoto para acompanhar o desempenho dos painéis solares e detectar quaisquer anomalias ou falhas potenciais. Com a identificação de problemas precocemente, é pertinente agir de forma rápida e eficaz para corrigi-los, minimizando assim o tempo de inatividade do sistema e garantindo uma operação contínua e confiável (ROSA; GASPARIN, 2016).

Os métodos de diagnóstico de falhas em painéis solares e componentes do sistema dispõem de um papel exitoso na garantia da operação eficiente e confiável dos sistemas fotovoltaicos. Um desses métodos é a termografia infravermelha, uma técnica não invasiva que permite identificar pontos quentes e defeitos nos painéis solares (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Por meio de câmeras termográficas, é possível detectar variações na temperatura da superfície dos painéis, o que pode indicar problemas como células solares defeituosas, conexões soltas ou obstruções na superfície dos painéis. Essa abordagem permite uma inspeção rápida e eficaz dos painéis solares, ajudando a identificar e corrigir problemas potenciais antes que afetem o desempenho do sistema.

Além da termografia infravermelha, a análise de dados de desempenho é outra técnica importante para diagnosticar falhas em sistemas fotovoltaicos. Ao monitorar continuamente a geração de energia e analisar os dados coletados, é possível detectar variações anormais na produção de energia que possam indicar problemas com os painéis solares ou outros componentes do sistema (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Neste sentido, quedas repentinas na produção de energia podem indicar problemas como sombreamento parcial dos painéis, falhas nos inversores ou mau funcionamento de componentes elétricos. Essa análise de dados garante uma identificação precoce de problemas, facilitando a intervenção rápida e adequada para evitar interrupções na geração de energia (VIEIRA, 2014).

A inspeção visual e os testes elétricos também são métodos importantes de diagnóstico de falhas em sistemas fotovoltaicos. Através de inspeções visuais

regulares, os técnicos podem verificar visualmente o estado dos painéis solares, cabos, conexões e outros componentes do sistema, procurando por sinais de desgaste, corrosão ou danos físicos (LEWANDOSKI *et al.*, 2022).

Neste panorama, os testes elétricos, como medições de corrente e tensão, podem ser realizados para verificar o funcionamento correto dos inversores e outros componentes elétricos do sistema. Esses testes ajudam a identificar problemas elétricos, como curtos-circuitos, circuitos abertos ou falhas de isolamento, que possam afetar o desempenho do sistema (LANA *et al.*, 2015).

Uma abordagem essencial, neste sentido, é a implementação de sistemas de monitoramento remoto, que permitem a detecção automática de falhas e anomalias nos componentes do sistema. Esses sistemas utilizam sensores e dispositivos de monitoramento conectados à internet para coletar dados em tempo real sobre o desempenho dos painéis solares, inversores e outros componentes. Ao analisar esses dados, é pertinente identificar padrões e tendências que possam indicar problemas em potencial, permitindo uma intervenção rápida e eficaz para evitar interrupções na geração de energia (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Analogamente, o desenvolvimento de algoritmos de diagnóstico inteligentes é outra abordagem importante para a automação da manutenção e resolução de problemas em sistemas fotovoltaicos. Esses algoritmos utilizam técnicas avançadas de análise de dados, como aprendizado de máquina e inteligência artificial, para identificar e isolar problemas rapidamente com base em padrões de dados históricos e em tempo real (ROSA; GASPARIN, 2016).

Por consequência, algoritmos de diagnóstico podem detectar padrões anormais de produção de energia, variações na tensão ou corrente elétrica, ou falhas de comunicação entre os componentes do sistema, permitindo uma intervenção proativa antes que os problemas afetem o desempenho do sistema (ROSA; GASPARIN, 2016).

A integração de sistemas de gestão de manutenção com sistemas de automação também é essencial para agilizar a resposta a eventos adversos. A partir da integração de dados de monitoramento e diagnóstico com sistemas de gestão de manutenção, é cabível automatizar o processo de geração de ordens de serviço, programação de manutenção preventiva e alocação de recursos para resolver problemas de forma eficiente. Isso ajuda a reduzir o tempo de inatividade do sistema,

minimizando assim o impacto nas operações e garantindo uma geração de energia contínua e confiável (RODRIGUES *et al.*, 2019).

2.3 Tecnologias de Controle e Monitoramento

As estratégias de controle de produção de energia solar impactam a maximização do autoconsumo e na otimização da eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Uma dessas estratégias é a implementação de algoritmos de controle de carga, que visam otimizar o uso da energia gerada localmente pelos painéis solares (ROSA; GASPARIN, 2016).

Esses algoritmos monitoram constantemente a produção de energia e a demanda de energia na instalação, ajustando a operação dos dispositivos elétricos, como aquecedores de água, sistemas de refrigeração e bombas, para maximizar o consumo de energia solar sempre que possível. Isso ajuda a reduzir a dependência da rede elétrica externa e a aumentar a utilização da energia solar gerada no local (VIEIRA, 2014).

Os sistemas de armazenamento, como baterias de íon de lítio, permitem que o excesso de energia gerada durante o dia seja armazenado para uso posterior, quando a produção de energia solar é reduzida, como durante a noite ou em dias nublados. Isso ajuda a balancear a produção e o consumo de energia ao longo do dia, garantindo que a energia solar seja aproveitada de forma apropriada, mesmo quando as condições climáticas não são ideais (ROSA; GASPARIN, 2016).

Essas técnicas utilizam modelos matemáticos e algoritmos de previsão para antecipar variações na demanda de energia e ajustar a orientação e inclinação dos painéis solares em tempo real para maximizar a captura de luz solar. Com isso, alcança-se uma operação mais eficiente dos painéis solares, garantindo que eles estejam sempre produzindo a quantidade máxima de energia possível, mesmo em condições variáveis (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Com a implementação de algoritmos de controle de carga, utilizar sistemas de armazenamento de energia e aplicar técnicas de controle preditivo, é verossímil garantir que a energia solar seja aproveitada de forma eficiente e eficaz, reduzindo assim a dependência de fontes de energia convencionais e contribuindo para uma geração de energia mais sustentável e econômica (ROSA; GASPARIN, 2016).

Um aspecto relevante é o controle dinâmico de cargas e dispositivos, que visa garantir um consumo eficiente de energia, ajustando o funcionamento de aparelhos e dispositivos conforme a disponibilidade de energia solar. Desta maneira, os sistemas de controle podem priorizar o uso de energia solar para alimentar dispositivos de alta prioridade durante o dia, como sistemas de refrigeração, bombas de água ou equipamentos industriais, enquanto reduzem a energia consumida da rede elétrica (FABBIS *et al.*, 2019).

Com isso, os sistemas de controle se mostram como primordiais no balanceamento de carga entre diferentes fontes de energia, incluindo energia solar, rede elétrica e armazenamento de energia. Esses sistemas monitoram continuamente a produção de energia solar, a demanda de energia e o estado de carga dos sistemas de armazenamento, ajustando dinamicamente a operação dos inversores e dos dispositivos de controle de carga para otimizar a utilização de cada fonte de energia.

Isso ajuda a minimizar o consumo de energia da rede elétrica e maximizar o aproveitamento da energia solar disponível, reduzindo assim os custos operacionais e aumentando a independência energética (ROSA; GASPARIN, 2016).

Outra função atrativa dos sistemas de controle diz respeito ao controle de microinversores e otimizadores de potência, que são dispositivos instalados em cada painel solar para maximizar a produção de energia de cada módulo fotovoltaico individualmente (BARBOSA FILHO *et al.*, 2015).

Os sistemas de controle monitoram o desempenho de cada painel solar e ajustam dinamicamente a tensão e a corrente de saída dos microinversores e otimizadores de potência para garantir que cada painel opere na sua máxima capacidade. Isso ajuda a maximizar a produção de energia do sistema como um todo, mesmo em condições de sombreamento parcial ou variações na irradiação solar (VIEIRA, 2019).

Para garantir a interoperabilidade entre os sistemas fotovoltaicos e as redes inteligentes, é fundamental o uso de protocolos de comunicação padrão, como Modbus e DNP3. Esses protocolos fazem com que os sistemas de energia solar se comuniquem de forma eficiente com os dispositivos e sistemas de controle da rede elétrica, facilitando a troca de informações sobre a produção de energia, a demanda do consumidor e as condições de operação da rede. Possibilita-se, assim, uma integração mais suave e eficaz dos sistemas solares nas redes inteligentes,

garantindo uma operação coordenada e otimizada do sistema como um todo (SILVA, 2015).

Os algoritmos inerentes permitem que os sistemas fotovoltaicos ajustem dinamicamente sua operação com base nas condições da rede, priorizando o uso de energia solar sempre que possível e respondendo às flutuações na demanda e na oferta de energia. Auxilia-se, assim, a maximizar a utilização de energia solar, minimizando a necessidade de energia de fontes convencionais e contribuindo para uma operação mais eficiente e sustentável da rede elétrica como um todo (MACHADO; MIRANDA, 2015).

A identificação precoce de problemas e falhas é outro ponto benéfico do monitoramento remoto. Com o monitoramento remoto, os operadores identificam e corrigem problemáticas rapidamente, garantindo que o sistema opere com eficiência máxima em todos os momentos (ROSA; GASPARIN, 2016).

Além disso, o monitoramento remoto também melhora a eficácia da manutenção preventiva, permitindo uma análise de dados mais detalhada e precisa em tempo real. Ao coletar e analisar dados sobre o desempenho dos painéis solares, a produção de energia e outras métricas operacionais, os operadores podem identificar padrões e tendências que possam indicar problemas iminentes (SILVA, 2015).

No mercado contemporâneo, há uma ampla variedade de tecnologias e plataformas de monitoramento disponíveis para sistemas fotovoltaicos, ofertando aos operadores uma gama diversificada de opções para acompanhar e gerenciar o desempenho de seus sistemas de energia solar. Uma das abordagens comuns é o uso de sistemas de monitoramento baseados em nuvem, que permitem que os dados de desempenho sejam coletados e armazenados em servidores remotos, acessíveis a partir de qualquer dispositivo conectado à internet (ROSA; GASPARIN, 2016).

Esses sistemas incorporam a vantagem da acessibilidade remota e da capacidade de visualizar os dados em tempo real, permitindo que os operadores monitorem o desempenho do sistema em qualquer lugar e a qualquer momento (SILVA, 2015).

Além dos sistemas de monitoramento baseados em nuvem, também existem soluções de monitoramento baseadas em software local, que armazenam e processam os dados de desempenho diretamente no local, em um computador ou servidor dedicado. Esses sistemas tendem a oferecer maior controle e privacidade

dos dados, pois os dados não são armazenados em servidores externos. No entanto, eles podem ser menos acessíveis remotamente e podem exigir mais recursos de hardware e software para operar (ROSA; GASPARIN, 2016).

Assim, é de grande valia considerar os custos associados à instalação, manutenção e atualização das plataformas de monitoramento ao longo do tempo, garantindo que o sistema escolhido atenda às necessidades específicas do projeto de forma eficaz e econômica (SILVA; ARAÚJO, 2022).

Já a análise de dados e o diagnóstico de desempenho por meio de sistemas de monitoramento se mostram como positivos na otimização da operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos. Uma das principais vantagens é a capacidade de utilizar ferramentas de análise de dados para identificar padrões e tendências de desempenho ao longo do tempo (MACHADO; MIRANDA, 2015).

Essas ferramentas permitem aos operadores examinar uma variedade de métricas, como produção de energia, eficiência dos painéis solares e condições ambientais, e identificar padrões que possam indicar problemas ou oportunidades de melhoria. Com a averiguação dos dados de produção de energia ao longo de várias semanas ou meses, os operadores conseguem identificar sazonalidades ou variações anormais que possam requerer investigação adicional (ROSA; GASPARIN, 2016).

Paulatinamente, a implementação de algoritmos de diagnóstico é mais estratégia para detectar anomalias e falhas nos sistemas fotovoltaicos. Esses algoritmos são projetados para analisar os dados coletados pelos sistemas de monitoramento em tempo real e identificar padrões ou comportamentos anômalos que possam indicar problemas de desempenho (VIEIRA, 2014).

Nesta conjuntura, um algoritmo de diagnóstico é capaz de detectar uma queda significativa na produção de energia de um painel solar específico, sugerindo a presença de sombreamento ou mau funcionamento do painel. Através desta identificação precoce, passa a ser pertinente o alcance de medidas corretivas para minimizar os impactos no desempenho do sistema e evitar tempos de inatividade desnecessários (FABBIS *et al.*, 2019).

Ainda mais, com a conexão dos sistemas de monitoramento aos sistemas de gestão de energia, os operadores podem implementar regras e lógicas de controle que automatizam certas operações, como ajustar a orientação dos painéis solares com base nas condições climáticas ou redistribuir a carga entre diferentes dispositivos de armazenamento. Isso não apenas reduz a necessidade de intervenção manual,

mas também permite uma resposta mais rápida e efetiva às mudanças nas condições de operação, garantindo assim um desempenho ótimo do sistema em todos os momentos (SILVA, 2015).

3 METODOLOGIA

Metodologicamente, incorporou-se uma revisão bibliográfica exploratória e comparativa embasada a partir de uma pesquisa qualitativa. De modo complementar, utilizou-se de bases documentais com foco em obras da última década.

Como fatores de composição, excluiu-se dados advindos artigos com falta de correlação com o tema ou por serem fechados, excederem a regra temporal estabelecida, serem incoerentes com as definições de idioma (português e inglês) ou por se apresentarem como fragmentos ou obras incompletas.

Neste panorama, o método comparativo, em particular, aborda duas séries ou fatos análogos de diferentes meios sociais ou áreas do conhecimento, visando identificar elementos comuns entre eles. Este método encontra aplicação em diversas áreas científicas, especialmente nas ciências sociais, permitindo a pesquisa em grandes grupamentos humanos em universos populacionais distintos e geograficamente distantes (FACHIN, 2005).

Da mesma maneira, destaca-se a caracterização das escalas qualitativas, uma vez que esta abordagem permite que a imaginação e a criatividade dos pesquisadores guiem a proposição de trabalhos que explorem novos enfoques. A pesquisa documental, por exemplo, é vista como uma forma inovadora, capaz de trazer contribuições no estudo de determinados temas. Além disso, os documentos são frequentemente considerados fontes importantes de dados para outros tipos de estudos qualitativos, merecendo atenção especial (GODOY, 1995).

Para Neves (1996, p. 4), a pesquisa documental é composta pela avaliação de informações que ainda não obtiveram um tratamento analítico ou que podem ser “reexaminados com vistas a uma interpretação nova ou complementar. Pode oferecer base útil para outros tipos de estudos qualitativos e possibilita que a criatividade do pesquisador dirija a investigação por enfoques diferenciados”.

Utilizou-se dados obras e artigos científicos de autores nacionais e estrangeiros com ênfase em datações posteriores a 2014, cujos resultados foram obtidos em bases de dados como Scientific Electronic Library Online (Scielo) e Google Acadêmico.

Similarmente, pontuou-se esta composição através dos termos: “energia solar”, “automação”, “sistemas fotovoltaicos”, “eficiência energética” e “monitoramento remoto”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As metodologias de desenvolvimento são basilares no processo de criação e implementação de sistemas de automação em energia solar. Considerando sua complexidade e peculiaridades, é devido adaptar as metodologias de desenvolvimento para atender às necessidades específicas desse setor, levando em conta aspectos como a natureza distribuída dos sistemas e as exigências de desempenho e confiabilidade.

Além disso, é essencial compreender o ciclo de vida do desenvolvimento de sistemas e as diferentes fases que compõem um projeto de automação em energia solar. Desde a concepção até a implementação e manutenção, cada fase do projeto possui etapas distintas que devem ser cuidadosamente planejadas e executadas (MACHADO; MIRANDA, 2015).

Isso inclui a análise de requisitos, o projeto de arquitetura, a implementação de software e os testes, cada um desempenhando um papel fundamental no sucesso do projeto. A colaboração entre equipes multidisciplinares também é necessária, garantindo uma abordagem holística e integrada ao desenvolvimento do sistema, e a integração do feedback do cliente ao longo do ciclo de vida do projeto ajuda a garantir que o produto final atenda às expectativas e necessidades do cliente (MARTINS *et al.*, 2022).

A seleção de componentes e o design de arquiteturas de sistemas são fundamentais no desenvolvimento de sistemas de automação em energia solar, garantindo não apenas o desempenho eficiente, mas também a segurança e confiabilidade operacional. No que diz respeito à seleção de componentes, é essencial considerar uma variedade de critérios, incluindo compatibilidade com o sistema existente, escalabilidade para futuras expansões, custo e desempenho.

Sensores, atuadores, controladores e outros dispositivos devem ser escolhidos cuidadosamente para garantir que atendam às necessidades específicas do sistema e ofereçam a funcionalidade desejada. Além disso, é importante estar ciente das tendências e inovações em componentes de automação, como tecnologias sem fio,

Internet das Coisas e sistemas embarcados, que podem oferecer benefícios adicionais em termos de conectividade, flexibilidade e eficiência (MACHADO; MIRANDA, 2015).

Quanto às arquiteturas de sistemas e integração de dispositivos, existem várias abordagens que podem ser adotadas para automação de painéis solares. Arquiteturas centralizadas e distribuídas são duas opções comuns, cada uma com suas próprias vantagens e desafios. Enquanto arquiteturas centralizadas concentram o processamento e controle em um único ponto, arquiteturas distribuídas distribuem essas funções entre vários dispositivos, oferecendo maior redundância e escalabilidade.

Estratégias de comunicação e protocolos desempenham um papel crucial na integração de dispositivos em sistemas de automação, garantindo uma comunicação eficaz e confiável entre os componentes do sistema. Padrões de arquitetura, como arquitetura cliente-servidor e arquitetura em camadas, também são importantes considerações, oferecendo estruturas bem definidas para organizar e gerenciar a interação entre os diferentes componentes do sistema.

Por fim, aspectos de segurança e confiabilidade devem ser cuidadosamente considerados ao selecionar componentes e arquiteturas de sistemas para automação de energia solar. A segurança cibernética é uma preocupação crescente, e é crucial implementar medidas adequadas para proteger o sistema contra ameaças externas, como ataques de hackers e malware.

Técnicas e práticas recomendadas, como criptografia de dados, autenticação de usuários e atualizações regulares de segurança, são devidas para ajudar a garantir a integridade e confidencialidade dos dados do sistema. Além disso, a redundância, a tolerância a falhas e a recuperação de desastres são aspectos essenciais na concepção de sistemas de automação resilientes e seguros, garantindo que o sistema possa continuar operando mesmo em caso de falhas ou eventos adversos. A

Considerando tais aspectos ao selecionar componentes e arquiteturas de sistemas, os projetistas podem garantir a criação de sistemas de automação em energia solar robustos, confiáveis e seguros.

5 CONCLUSÃO

A partir dos achados desta pesquisa, é possível afirmar que a automação de painéis solares advém como uma área de extrema importância e promessa no cenário energético contemporâneo. No decorrer deste estudo, explorou-se os fundamentos da energia solar, os princípios da automação e sua integração em sistemas fotovoltaicos, bem como os desafios e oportunidades associados a essa integração.

A averiguação dos componentes e arquiteturas de sistemas permitiu a compreensão da complexidade envolvida na seleção e integração desses elementos para garantir a eficiência, confiabilidade e segurança dos sistemas de automação em energia solar. Ademais, a discussão sobre estratégias de controle, monitoramento e manutenção evidenciou a importância de abordagens bem planejadas para otimizar a produção e o consumo de energia, minimizando perdas e maximizando o aproveitamento da energia solar.

Ao revisar os objetivos propostos no início deste trabalho, validou-se que cada um foi alcançado de forma satisfatória, destacando a robustez da pesquisa realizada e suas contribuições para o avanço do conhecimento em automação de painéis solares. As implicações práticas e teóricas dos resultados obtidos são vastas, indo desde aplicações diretas na indústria até avanços conceituais que podem informar pesquisas futuras.

Para pesquisa futuras, sugere-se a continuidade desta pesquisa com enfoque no acompanhamento prático da otimização de painéis solares, visando entender quais os benefícios e as respectivas adversidades inerentes.

Por fim, concluiu-se que a automação de painéis solares não é apenas uma área de pesquisa promissora, mas também um componente elementar na construção de um futuro energético mais limpo, eficiente e sustentável. Com a continuação do investimento em pesquisa e desenvolvimento nesse campo, permite-se colher os frutos de sistemas fotovoltaicos mais inteligentes, confiáveis e acessíveis, impulsionando assim a adoção generalizada da energia solar e corroborando para um mundo mais verde e resiliente.

REFERÊNCIAS

ALVES, Kevyn Vaz. **Viabilidade da utilização de painéis solares na indústria química em sistema ongrid**. 2018. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/>. Acesso em: 06 mai. 2024.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira *et al.* **Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 4, p. 628-642, 2015. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/>. Acesso em: 10 mai. 2024.

CARMO, João Mateus Dias do. **Otimização da captação de energia solar por meio da automação dos painéis solares.** 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/>. Acesso em: 05 mai. 2024.

DASSI, Jonatan Antonio *et al.* **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil.** In: Anais do congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2015. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/>. Acesso em: 04 mai. 2024.

FABBIS, Bruno Foureaux *et al.* **Sistema de Rastreamento para Painéis Solares na Captação de Energia.** Mythos (Interdisciplinary), v. 11, n. 1, p. 38-49, 2019. Disponível em: <https://www.periodicos.unis.edu.br/>. Acesso em: 03 mai. 2024.

FACHIN, O. **Fundamentos de Metodologia.** 5ª edição. Revista e atualizada pela norma da ABNT 14724, de 30/12/2005 Ed. Hora Saraiva. Disponível em: <http://maratavarespsictics.pbworks.com/>. Acesso em: 01 mai. 2024.

GODOY, A. S. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades.** RAE - Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995. Disponível em: <https://www.scielo.br/>. Acesso em: 01 mai. 2024.

JUSTINO, Márcio Castro *et al.* **Sistema de Controle Aplicado a Painéis Solares Fotovoltaicos.** In: 27ª Mostra Específica de Trabalhos e Aplicações. 2017. Disponível em: <https://conferencias.cefetmg.br/>. Acesso em: 02 mai. 2024.

KRUG, Gregory Lusa; LOPES, Marcel Braga. **Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painel solar fotovoltaico através de sensores e estudo de eficiência.** 2016. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/>. Acesso em: 09 mai. 2024.

LANA, Luana Teixeira Costa *et al.* **Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica.** Engenharias On-line, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015. Disponível em: <http://revista.fumec.br/>. Acesso em: 05 mai. 2024.

LEWANDOSKI, Cristiano Fernando *et al.* **Sistema de rastreador solar de eixo simples baseado em intensidade solar e desempenho.** International Journal of Environmental Resilience Research and Science, v. 4, n. 2, p. 1-11, 2022. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/>. Acesso em: 02 mai. 2024.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. **Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão.** Revista virtual de química, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/>. Acesso em: 08 mai. 2024.

MARTINS, Luís Fabiano Barone *et al.* **Simulação de Painel Solar com LTSPICE XVII.** Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782), v. 7, n. 7, 2022. Disponível em: <https://revistas.ifpr.edu.br/>. Acesso em: 06 mai. 2024.

MONTEIRO, Ana Catarina Cavaco. **Aplicação de painéis solares em edifícios públicos para autoconsumo fotovoltaico**. 2018. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/>. Acesso em: 09 mai. 2024.

NEVES, J. L. **Pesquisa Qualitativa – Características, Usos e Possibilidades**. Caderno de Pesquisas em Administração, São Paulo, v.1, nº 3, 2º Sem./1996. Disponível em: <https://www.hugoribeiro.com.br/>. Acesso em: 01 mai. 2024.

RODRIGUES, Helvio H. *et al.* **Automação de árvores solares**. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 10, p. 17628-17639, 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/>. Acesso em: 07 mai. 2024.

RODRIGUES, Hélio Henrique *et al.* **Aumento de eficiência na captação energética de árvores solares**. Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, v. 2, p. 1-9, 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/>. Acesso em: 08 mai. 2024.

ROSA, Antonio Robson Oliveira da; GASPARIN, Fabiano Perin. **Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil**. Revista brasileira de energia solar, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016. Disponível em: <https://rbens.org.br/>. Acesso em: 08 mai. 2024.

SILVA, Fausto Batista Felix. **Proposta de automatização da captação de raios solares para sistemas fotovoltaicos**. 2015. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/>. Acesso em: 08 mai. 2024.

SILVA, Heitor Marques Francelino da; ARAÚJO, Francisco José Costa. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 8, n. 3, p. 859-869, 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/r>. Acesso em: 10 mai. 2024.

VIEIRA, Romênia Gurgel. **Análise comparativa do desempenho entre um painel solar estático e com rastreamento no município de Mossoró-RN**. 2014. Disponível em: <https://revistas.ifpr.edu.br/>. Acesso em: 07 mai. 2024.

VIEIRA, Talles Henrique. **Automação e sustentabilidade: aplicação da energia solar aliada à domótica**. 2019. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/>. Acesso em: 03 mai. 2024.