

**FONTES DE ENERGIA SUSTENTÁVEIS E MONITORAMENTO: ANÁLISE DE
TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES PARA COLETA DE DADOS**
**SUSTAINABLE ENERGY SOURCES AND MONITORING: ANALYSIS OF
TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS FOR DATA COLLECTION**

Emmanuel Forcinetti Azevedo¹
Pedro Augusto Amgarten Alves²
Pedro Gabriel dos Santos³
Silvia Roberta de Jesus Garcia⁴

RESUMO: O presente trabalho analisou diferentes fontes de energias renováveis e os principais sistemas de monitoramento aplicados à geração elétrica. A pesquisa utilizou abordagem bibliográfica e exploratória para reunir informações sobre o panorama global e nacional, destacando a expansão da energia solar fotovoltaica e da energia eólica, bem como os benefícios socioeconômicos e ambientais dessa transição. Foram descritos e comparados softwares como SCADA, GPM Horizon, Iammeter e *Enphase Enlighten*, avaliando suas funcionalidades, pontos fortes e limitações. Os resultados demonstraram que a escolha da solução de monitoramento deve estar alinhada à escala do empreendimento, aos requisitos operacionais e ao orçamento disponível. Além disso, verificou-se que a integração de tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT), contribui para ampliar a eficiência e a confiabilidade dos sistemas. Conclui-se que o avanço das energias renováveis, aliado ao uso de ferramentas digitais de monitoramento, é indispensável para a construção de uma matriz energética mais limpa, segura e sustentável, ao mesmo tempo em que abre espaço para futuros desenvolvimentos tecnológicos voltados a diferentes contextos de aplicação.

Palavras-chave: Energias Renováveis; Matriz energética; Painel Fotovoltaico; Sustentabilidade.

ABSTRACT: This study analyzed different renewable energy sources and the main monitoring systems applied to power generation. The research adopted a bibliographic and exploratory approach to gather information on the global and national scenario, highlighting the expansion of photovoltaic solar and wind energy, as well as the socioeconomic and environmental benefits of this transition. Software solutions such as SCADA, GPM Horizon, *Iammeter* and *Enphase Enlighten* were described and compared, assessing their functionalities, strengths and limitations. The results showed that the choice of a monitoring solution must be aligned with the scale of the project, operational requirements and available budget. Furthermore, it was found that the integration of emerging technologies, such as the Internet of Things (IoT), helps increase the efficiency and reliability of the systems. It is concluded that the advancement of renewable energies, combined with the use of digital monitoring tools, is essential for building a cleaner, safer and more sustainable energy matrix, while also opening space for future technological developments aimed at different application contexts.

Keywords: Renewable Energy; Energy matrix; Photovoltaic Panel; Sustainability.

Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail:
emmanuel.azevedo@fatec.sp.gov.br¹

Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail: pedro.alves20@fatec.sp.gov.br²

Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail:
pedro.santos282@fatec.sp.gov.br³

Prof.^a Orientadora Mestre - Fatec Itapetininga - Email: silvia.garcia01@fatec.sp.gov.br⁴

1 INTRODUÇÃO

Nos tempos recentes, o Brasil vem crescendo na transição da matriz energética e elétrica para energias renováveis. Segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2025, considerando o ano base 2024, divulgado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil atingiu 88,2% de renovabilidade na matriz elétrica, com forte avanço da energia eólica e da solar, que geraram 24% do total de energia no ano de 2024, além disso, nesse mesmo período, a matriz energética atingiu a marca de 50% de renovabilidade, em virtude da geração de energia hidráulica e biomassa da cana (Brasil, 2025).

Existe uma diferença fundamental entre renovabilidade e sustentabilidade. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), considera-se energia renovável aquela obtida de fontes naturais capazes de se regenerar mais rapidamente do que são utilizadas (Organização das Nações Unidas, s.d.). De acordo com o Dicionário Aurélio (Ferreira, 2010), sustentabilidade é a capacidade de algo se conservar ou cuidar ao longo do tempo. Sob a perspectiva da relação entre o ser humano e meio ambiente, sustentabilidade é o desenvolvimento em harmonia com a natureza, buscando reduzir ou eliminar os impactos negativos ao ecossistema global.

Em conformidade com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019, apud Brasil, 2023), a agricultura familiar representa cerca de 77% dos estabelecimentos agrícolas do território brasileiro e um de seus principais problemas é a geração de energia. Para os agricultores, é de extrema importância o crescimento do uso da água e da energia, juntamente com a produtividade, sendo uma das alternativas a utilização de sistemas de irrigação automáticos, iluminação e aquecimento, entretanto, em muitas regiões, o custo elevado da energia e a indisponibilidade de energia comercial se tornam obstáculos evidentes. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica ganha destaque, em decorrência da sua autossuficiência, possibilidade de geração modular, conectada ou não à rede e, entre os fatores mais relevantes, a redução de custos (Alvarenga; Ferreira; Fortes, 2014, apud Brasil, 2023).

Conforme Aghaei (2025), para melhorar o desempenho na produção de energia, inspecionar essa geração e facilitar a detecção de falhas, foram criados diversos dispositivos de monitoramento, principalmente, para as placas solares fotovoltaicas, que estão expostas a diversos fatores ambientais e climáticos. Destaca-

se o sistema *Iammeter*, que permite monitoramento em tempo real da energia solar gerada ou consumida no sistema fotovoltaico (Beijing Lewei IoT Technologies CO., LTD., s.d.).

Nesse sentido, o presente artigo tem como propósito central examinar as distintas fontes de energia renovável e os sistemas de monitoramento empregados na geração de energia, enfatizando a análise comparativa de softwares voltados à captação, supervisão e gestão de recursos energéticos, considerando suas aplicações no contexto nacional e internacional.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa adotou uma abordagem bibliográfica e exploratória, com o propósito de analisar as diversas fontes de energias sustentáveis e os respectivos sistemas que tem como função monitorar a geração de energia no contexto brasileiro. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em artigos científicos e periódicos no Google Acadêmico, com as palavras-chave: “energia sustentável”, “energias renováveis”, “energia solar” e “sistemas de monitoramento de geração de energia”. Além disso, foram coletados dados em sites do governo, como o GovBR, que disponibilizou informações acerca da matriz energética e elétrica, fornecendo dados do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Essa etapa teve como finalidade levantar informações atualizadas sobre a geração de energia do Brasil, o crescimento de fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica e a eólica, e as demandas de setores como o agronegócio.

Segundo Piovesan e Temporini (1995), a pesquisa exploratória é um procedimento metodológico de abordagem qualitativa destinado a investigar fenômenos ou situações pouco conhecidas ou ainda não suficientemente estudadas, visando obter uma compreensão inicial do problema e tornando o estudo principal seja planejado com maior compreensão e precisão.

A pesquisa bibliográfica é o ponto inicial para o desenvolvimento de uma pesquisa científica, onde o pesquisador busca obras publicadas relevantes referentes ao tema de pesquisa, identificando se existem trabalhos científicos sobre o assunto em questão, com a finalidade de conhecer melhor o fenômeno a ser estudado. Logo, esse tipo de pesquisa se baseia em trabalhos já publicados e as ferramentas mais

utilizadas para realizá-la são: os livros, teses, revistas, dissertações e artigos científicos já publicados (De Souza; De oliveira; Alves, 2021).

Ademais, buscou-se com essa pesquisa analisar diferentes soluções e dispositivos de controle da geração de energia renovável disponíveis no mercado, com ênfase para plataformas de monitoramento fotovoltaico, um dos focos dessa pesquisa.

Portanto, por meio dessa pesquisa bibliográfica, procurou-se evidenciar a importância da utilização de fontes de energia sustentáveis na atualidade, destacando seu grande crescimento em solo brasileiro. Nesse contexto, surge a necessidade de se buscar sistemas que gerenciam e monitoram essa geração de energia, para melhorar sua eficiência.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nos tópicos a seguir será apresentada uma visão a respeito da transição para as energias renováveis: primeiro, o panorama global, que destaca o forte crescimento recente — impulsionado sobretudo por solar e eólica —, suas taxas de expansão e as desigualdades regionais na adoção; em seguida, o cenário atual do brasil, mostrando como se compõe a matriz elétrica, os ganhos na utilização de fontes renováveis, os benefícios socioeconômicos, as políticas e incentivos que têm facilitado essa expansão; depois, um foco na energia solar fotovoltaica, sua rápida difusão em setores residencial, agrícola e industrial e as razões que explicam sua atração (custo declinante, barateamento na hora de fazer reparos e retorno de investimento); ao final, serão abordados os sistemas de monitoramento de energia — desde SCADA até plataformas em nuvem e soluções IoT como Gpm *Horizon*, *Iammeter* e *Enphase Enlighten* — explicando seu papel na coleta de dados em tempo real, análise de desempenho e manutenção preditiva para maximizar eficiência e rentabilidade dos empreendimentos renováveis.

3.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS NO CENÁRIO GLOBAL

Nos últimos tempos, as energias renováveis vêm demonstrando um grande crescimento no cenário global, representando 92,5% de toda expansão energética no ano de 2024, onde, de acordo com a *International Renewable Energy Agency*,

(IRENA), ocorreu um acréscimo de 585 GW (*Gigawatts*) na capacidade de energia renovável desde 2023, com um crescimento anual de 15,1%, superando o número de 14,3% do ano anterior. Esse aumento deve-se pela queda no preço das tecnologias de geração limpa, pelas metas climáticas internacionais e pelos avanços tecnológicos em larga escala. As fontes solar e eólica representaram 96,6% dessa expansão, consolidando-se como as principais fontes responsáveis pela transição energética mundial (*International Renewable Energy Agency*, 2025).

A energia solar fotovoltaica liderou, junto a energia eólica, esse crescimento, representando cerca de 451,9 GW e 113 GW, respectivamente. No entanto, conforme a *International Renewable Energy Agency*, esse aumento ainda é insuficiente para cumprir a meta global de triplicar a capacidade de energia renovável até 2030, onde deve-se atingir o valor de 11,2TW (*Terawatt*). Segundo a agência, essa capacidade deve aumentar em 16,6% ao ano até 2030 para atingir a meta (Pv Magazine, 2025).

Entretanto, ficam evidentes as disparidades regionais no avanço das energias renováveis, sendo a Ásia o país que domina essa geração com acréscimo de 69,3% para 72% das adições globais, o qual representa 421,5 GW. A China sozinha foi responsável por 88% do aumento da Ásia, enquanto a América Central e o Caribe contribuíram apenas com 3,2% da adição global. Ademais, a capacidade da África cresceu apenas 4,2 GW e a do Oriente Médio 3,3 GW (*International Renewable Energy Agency*, 2025).

3.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS NO CONTEXTO BRASILEIRO

Atualmente, a modificação energética global vem se tornando uma realidade difícil para os países, na maioria das vezes por questões financeiras ou geográficas, que impedem os países de diversificarem sua matriz energética, acarretando na dependência de uma única fonte energética, isso acarreta vários riscos de grandes crises energéticas, contudo no Brasil esse cenário é completamente o oposto. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), dos 200 GW de potência instalados, 84,25% são de fontes renováveis, sendo deste número, 55% vindos de energia hidrelétrica e 14,8% energia eólica (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2025).

Este número demonstra uma forte crescente das energias renováveis no país, que ultrapassou o uso das não renováveis pela primeira vez em 2023, segundo dados

do Balanço Energético Nacional, publicados pela Empresa de Pesquisa Energética (Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2025).

Sob esse viés, a diversificação de energias renováveis acarreta uma série de benefícios para o Brasil, como a não dependência de apenas uma fonte de energia para todo o território, pois caso uma dessas acabe falhando, outras fontes podem funcionar normalmente, causando menos danos à população. Ademais, a utilização de fontes renováveis acarreta menos gases de efeito estufa, garantem maiores taxas de empregabilidade, que desenvolvem a economia local, além de serem, em sua maioria, inacabáveis (Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo, 2021).

3.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Dentre as mais conhecidas fontes de energias renováveis disponíveis em nosso território, a energia solar fotovoltaica tem demonstrado forte crescimento nos últimos anos em diversas áreas do setor econômico (Intelbras, 2023).

Segundo a pesquisa realizada pela *Cable News Network*, a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, o Brasil bateu o recorde histórico de instalação de painéis fotovoltaicos em 2024, sendo um aumento de 30% de gastos com instalações em comparação com o ano anterior, isso demonstra tanto a eficácia, quanto a satisfação do público. (Freitas, 2025).

Esse crescimento se deve à versatilidade que possui a energia solar, que tem como possibilidade a utilização em residências, empresas, prédios, na zona rural, principalmente na agricultura familiar, que vem utilizando a luz solar como principal fonte energética e no setor industrial, na qual a energia solar fotovoltaica atraiu boa parte das grandes indústrias, pois acarreta economia na conta de luz, baixa manutenção e um prazo curto de retorno de investimentos (Intelbras, 2023). Em 2024, o Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar firmou diversas parcerias com universidades federais brasileiras, para criação de políticas que ofereçam energia solar fotovoltaica de maneira eficiente para o produtor rural (Brasil, 2024).

3.4 SISTEMAS DE MONITORAMENTO DE ENERGIA

O acompanhamento do consumo e geração de energia é de suma importância para assegurar eficiência, detectar falhas e aumentar a vida útil dos sistemas fotovoltaicos. Segundo com Aghaei (2025) o uso de *softwares* e dispositivos de monitoramento permitem a coleta de dados em tempo real, possibilitando o acompanhamento do desempenho e a manutenção preditiva. Alguns exemplos de soluções disponíveis são os sistemas: *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA), que monitora, controla e coleta de dados, amplamente utilizado em fazendas de energias renováveis; o *Gpm Horizon* uma plataforma em nuvem desenvolvida pela Empresa *GreenPowerMonitor*, utilizada em sítios fotovoltaicos e eólicos; o *Iammeter*, desenvolvido pela *Beijing Lewei IoT Technologies*, que realiza o acompanhamento remoto da energia gerada e consumida, disponibilizando relatórios de eficiência e notificações de anomalias. Além deles, outras soluções como *Enphase Enlighten*, aplicativo que apresenta plataforma robusta para monitoramento e gestão energética. Assim, tais sistemas são considerados estratégicos para maximizar a rentabilidade dos investimentos em energia renovável, além de contribuírem para a sustentabilidade ambiental.

4 ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE APLICAÇÃO DOS SOFTWARES DESCritos

No cenário atual de crescimento das energias renováveis, os sistemas de controle e gerenciamento desempenham papel essencial para garantir maior eficiência, confiabilidade e segurança na geração elétrica. *Softwares* e plataformas especializadas permitem acompanhar de maneira simultânea a produção, o consumo e possíveis falhas nos sistemas de energia, oferecendo ao usuário maior controle e uma tomada de decisão mais fundamentada. Nesse sentido, destacam-se ferramentas amplamente utilizadas no setor, como o *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), o *Gpm Horizon*, o *Iammeter* e o *Enphase Enlighten*, que apresentam diferentes funcionalidades, arquiteturas e níveis de aplicação, mas convergem no objetivo de melhorar o desempenho das usinas e instalações fotovoltaicas e eólicas.

4.1 SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA)

O SCADA é um sofisticado sistema de monitoramento, controle e coleta de dados amplamente utilizado em usinas de energias renováveis, como fotovoltaicas, eólicas, hidrelétricas e termelétricas, sua principal função é garantir a máxima eficiência e confiabilidade da geração, controlar as atividades da energia como um todo e mostrar os resultados finais aos usuários (TOTVS, 2023).

O levantamento de dados é feito através de diversos sensores instalados no equipamento, que mandam as informações para o servidor central do SCADA que demonstra para o usuário através de painéis gráficos, alarmes e telas de relatório todas as informações coletadas. O sistema SCADA ainda permite o envio de comandos aos dispositivos de maneira remota e detecção de possíveis falhas no sistema (Iberdrola, 2025).

Existem diferentes arquiteturas de *softwares* SCADA ofertados no mercado, que vão desde soluções feitas sob medida até modelos de código aberto. Todos têm como função principal monitorar e supervisionar processos de produção de energia, mas apresentam características e aplicações distintas. As plataformas SCADA comerciais proprietárias ainda são as mais predominantes no setor por oferecer maior suporte técnico, robustez e ampla adoção por grandes fabricantes. Em contrapartida, as soluções SCADA de código aberto vêm ganhando espaço, já que permitem maior personalização e flexibilidade conforme o projeto cresce, com a inclusão de novos sensores, equipamentos e funcionalidades. A solução SCADA dedicada é menos frequente, pois possui interfaces e funções fixas, desenvolvidas especificamente para determinadas plantas ou usinas (TOTVS, 2023).

O SCADA também pode ser encontrado em dois tipos de arquiteturas: a simples, geralmente em um único servidor, que se conecta diretamente com os dispositivos do campo, recomendado para projetos de menor porte. Já o SCADA distribuído é frequentemente utilizado em maiores empreendimentos, nos quais o sistema é dividido em diferentes servidores e camadas, cada servidor é encarregado de garantir funções específicas do *software*, as arquiteturas devem ser utilizadas pensando em uma série de fatores, como investimentos, escala dos sítios e necessidades de manutenção (Iberdrola, 2025).

4.2 GPM HORIZON (GREENPOWERMONITOR)

O GPM Horizon é uma plataforma em nuvem desenvolvida pela Empresa *GreenPowerMonitor*, utilizada em sítios fotovoltaicos e eólicos, a qual possui como objetivos principais monitorar e maximizar a geração energética, detectar falhas em tempo real e transmitir os dados coletados para o usuário final (*GreenPowerMonitor*, 2025).

O sistema realiza o levantamento de dados em campo, através de múltiplos sensores (inversores, medidores, sensores climáticos) que enviam esses dados para a nuvem. Em seguida, tais dados são transformados em painéis interativos (*dashboards*), relatórios, planejamentos futuros e alertas de falhas, permitindo que o usuário verifique seu desempenho e compare com diferentes sítios, caso possua mais de um (DNV, 2025).

Dessa maneira, o Gpm Horizon demonstra ser uma ferramenta indispensável para o planejamento e análise da geração energética, pois possui uma vasta gama de equipamentos que não apenas coletam dados, mas também auxiliam o usuário final na gerência de seus sítios (*GreenPowerMonitor*, 2025).

4.3 IAMMETER

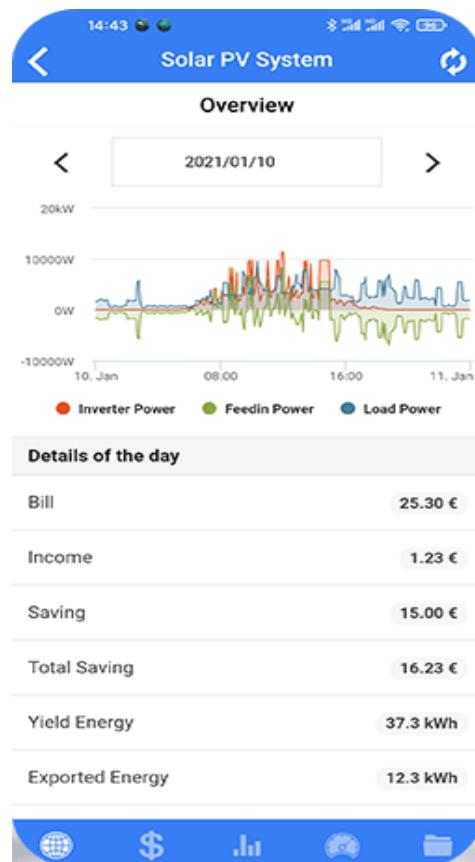
O *lammeter* é um sistema de monitoramento de energia fotovoltaica dedicado, com conexão a aplicativo e medidores (módulos *wi-fi*), focado em energia produzida, consumida e exportada. Sua principal função é monitorar tanto o consumo quanto a produção de energia realizada pelos painéis fotovoltaicos, ele utiliza módulos *wi-fi* que permitem medir a energia importada e exportada da residência ou do comércio, coleta esses dados e manda para o usuário em forma de planilhas e relatórios através do aplicativo, conforme demonstra a Figura 01 (*lammeter*, 2025).

A interface contém as informações essenciais do sistema, as linhas vermelha, verde e azul representam, a energia gerada pelos painéis, a sua quantidade enviada para a rede elétrica e o consumo total da residência, respectivamente. Abaixo, são mostrados dados sobre a fatura total (*Bill*), o valor gerado pelo uso do sistema solar (*Income*), o valor economizado ao utilizar o sistema solar (*Saving*), entre outras informações importantes para o usuário (*Beijing Lewei IoT Technologies CO., LTD.*, 2025).

Portanto, o *lammeter* é uma aplicação eficaz de monitoramento de energia solar fotovoltaica que possui o intuito de aprimorar a perspectiva do usuário quanto ao

consumo e a produção de energia de sua casa ou estabelecimento comercial (*lammeter*, 2025).

Figura 01 - Interface de Overview do *lammeter*



Fonte: *lammeter* (2021).

4.4 ENPHASE ENLIGHTEN

O *Enphase Enlighten* é um aplicativo desenvolvido pela norte-americana *Enphase Energy* focado no monitoramento do sistema fotovoltaico residencial. Diferentemente o *lammeter*, o *Enphase Enlighten* é focado apenas para residências, além disso é projetado para integração total ao sistema fotovoltaico, contando com a instalação de inversores, medidores e baterias para armazenar energia (*Solarinsure*, 2025).

Suas principais funções são a coleta de dados sobre quanta energia cada painel fotovoltaico individualmente produziu, através de infográficos e telas informativas, os status dos painéis, detectando possíveis falhas que o sistema tem ou pode sofrer e a conexão com o sistema *Enphase Encharge*, um sistema de baterias

que armazenam a energia produzida, a qual pode ser consultada pelo aplicativo, auxiliando nos gastos de energia em certos picos durante o dia. O aplicativo também possui outras funções, como revisar a integridade e o desempenho do sistema, consultar a produção de cada painel fotovoltaico no período selecionado, até mesmo gerenciar dispositivos que consomem mais energia que o normal (*Enphase Energy*, 2025).

Neste seguimento, o *Enphase Enlighten* comprova-se ser um aplicativo completo para monitorar a produção de energia dos painéis solares, até mesmo quando conectado com o sistema completo da *Enphase*, quando permite controle total sobre a geração de energia (*Solarinsure*, 2025).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta um comparativo objetivo entre quatro classes de soluções de monitoramento energético: arquiteturas SCADA genéricas, a plataforma GPM Horizon (*GreenPowerMonitor/DNV*), o sistema *Iammeter* e a plataforma *Enphase Enlighten*. O propósito da comparação é identificar, de forma prática, os cenários em que cada solução se mostra mais adequada, ressaltando funcionalidades, pontos fortes, limitações e recomendações de uso para diferentes escalas de projeto.

Tabela 1 - Comparativo: SCADA, GPM Horizon, *Iammeter* e *Enphase Enlighten*

Sistema	Escala / Público-alvo	Principais funcionalidades	Pontos fortes	Limitações / riscos	Casos em que é recomendado
SCADA (genérico)	Usinas <i>utility</i> , subestações, parques eólicos/solar de grande porte	Supervisão em tempo real; controle remoto; alarmes; HMI para operadores; automação de lógica de controle.	Alta robustez operacional; projetado para controle crítico; amplo suporte industrial.	Alto custo de implantação e manutenção; exige equipe especializada; latência/complexidade em redes distribuídas.	Projetos em escala de utilidade ou parques com múltiplos sistemas e necessidade de controle e segurança (ex.: subestações, parques eólicos/solar <i>utility</i>).

GPM Horizon (GreenPowerMonitor / DNV)	Portfólios multi-tecnologia: parques solares, eólicos, armazenamento; gestor de ativos	Monitoramento multi-tecnologia; análise de performance; KPI, detecção de falhas, <i>benchmarking</i> entre sítios; módulos <i>plug-in</i> .	Foco em gestão de portfólio e <i>analytics</i> ; adequado para empresas com vários sítios; integração avançada.	Plataforma comercial (custo/contrato); dependência de fornecedor para módulos avançados; complexidade e para pequenos proprietários.	Operadores de portfólios renováveis, utilities com múltiplos sítios, fundos de investimento em ativos renováveis.
Iammeter	Residencial, pequenas e médias instalações comerciais e rurais	Monitoramento em tempo real de geração, consumo e exportação; relatórios, <i>dashboards</i> ; medidores Wi-Fi (WEM series).	Baixo custo relativo; fácil instalação para sistemas domésticos; API aberta favorece integração com <i>Home Assistant/Node-RED</i> .	Depende de conectividade e Wi-Fi; limite de escala (não ideal para grandes parques); questões de suporte/garantia quando usado em regimes industriais.	Residências com PV, pequenas propriedades rurais, instalações comerciais pequenas, projetos que demandam solução rápida e econômica de monitoramento.
Enphase Enlighten	Residencial e segmentação residencial/comercial leve (ecossistema <i>Enphase</i>)	Monitoramento por micro inversor por painel; análise por painel, detecção de falhas, integração com baterias <i>Encharge</i> ; app <i>mobile</i> e portal <i>Enlighten</i> .	Monitoramento detalhado por painel; integração nativa com soluções de armazenamento <i>Enphase</i> ; excelente UX para clientes residenciais.	Ecossistema fechado (melhor com <i>hardware Enphase</i>); custo do sistema (micro inversores + <i>Envoy</i>); menos indicado para soluções heterogêneas multi-fornecedor.	Residências e pequenos comércios que adotam o ecossistema <i>Enphase</i> ; projetos que desejam monitoramento por painel e integração com baterias <i>Enphase</i> .

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A tabela sintetiza atributos operacionais e comerciais que são determinantes no momento da seleção de uma solução de monitoramento. As linhas enfatizam diferenças de escala, viabilidade e grau de integração, permitindo ao leitor identificar rapidamente soluções alinhadas ao porte do projeto e aos objetivos do gestor (controle crítico, gestão de portfólio, custo-benefício ou experiência do usuário).

A comparação evidencia que a seleção da solução deve se basear primeiramente na escala e nos requisitos operacionais do projeto. Para empreendimentos de grande porte e com necessidade de controle e segurança críticos, as arquiteturas SCADA são a opção mais indicada devido à sua robustez e capacidade de integração com operações de rede. Para gestores que administram múltiplos sítios e necessitam de análise consolidada de performance e *benchmarking*, soluções de *asset management* em nuvem, como o *Gpm Horizon*, oferecem o melhor equilíbrio entre visibilidade e ferramentas analíticas. Em contextos residenciais e pequenas instalações, plataformas de baixo custo e com APIs abertas, como o *Iammeter*, possibilitam monitoramento eficaz e personalização, embora dependam de conectividade local (Wi-Fi) e não substituem sistemas industriais; quando o projeto optar por microinversores e desejar monitoramento por painel aliado a armazenamento integrado, o ecossistema *Enphase* (*Enlighten* + *Encharge*) é a opção que entrega melhor experiência de usuário e monitoramento detalhado por painel. Portanto, não existe solução universal: a escolha adequada resulta da combinação entre escala, requisitos de operação, orçamento e preferência por ecossistemas fechados ou por integrações abertas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, verifica-se que as energias renováveis desempenham papel essencial no processo de transição de energia global e nacional, destacando-se como alternativa viável para a amenização dos impactos ambientais.

As inovações tecnológicas, especialmente na área dos *softwares* de monitoramento, como SCADA, *Gpm Horizon*, *SolarEdge*, *Enphase* e *Iammeter*, revelam-se essenciais para otimizar a eficiência, reduzir falhas e maximizar a rentabilidade dos investimentos em fontes limpas. Ferlito et al. (2024) destacam que plataformas SCADA integradas a dispositivos de Internet das Coisas (IoT) e módulos de segurança podem aprimorar o desempenho operacional de grandes usinas fotovoltaicas. De forma complementar, Aghaei (2025) aponta que sistemas inteligentes de monitoramento contribuem para a manutenção preditiva e aumento da confiabilidade da geração.

Nesse sentido, pensando em contribuir com estudos no setor solar, sabendo que no ano de 2024 houve recorde de instalação de painéis fotovoltaicos, sendo o

investimento 30% maior que no ano anterior, trabalhos futuros podem considerar o desenvolvimento de soluções de rastreamento solar automatizado voltadas a sistemas de menor porte, como os residenciais e comerciais. Embora tais tecnologias já sejam aplicadas em usinas fotovoltaicas de grande escala, ainda há espaço para adaptações que tornem essa prática acessível a diferentes contextos. A integração com recursos de Internet das Coisas (IoT) pode representar um caminho promissor para otimizar a produção de energia, aumentar a eficiência dos sistemas e democratizar a utilização de tecnologias avançadas no setor de energia renovável.

Assim, conclui-se que a junção entre o avanço tecnológico e a ampliação do uso de energias renováveis constitui um caminho indispensável para garantir o desenvolvimento sustentável do Brasil e do mundo. Essa tendência é confirmada por relatórios oficiais do Ministério de Minas e Energia e pela Agência Nacional de Energia Elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz elétrica brasileira alcança 200 GW**. Brasília, Portal Gov.br, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/matriz-eletrica-brasileira-alcanca-200-gw>. Acesso em: 15 set. 2025.

AGHAEI, A. et al. **Autonomous Intelligent Monitoring of Photovoltaic Systems: an in-depth multidisciplinary review. Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pip.3859>. Acesso em: 3 set. 2025.

BEIJING LEWEI IOT TECHNOLOGIES CO., LTD. **IAMMETER**. Pequim: *Beijing Lewei IoT Technologies Co., Ltd.*, s.d. Disponível em: <https://pt.iammeter.com/>. Acesso em: 3 set. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. **Conhecimentos e habilidades para o uso de energia solar na agricultura familiar**. Brasília: MEC, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/ept/profissionais-futuro/Perfis_profissionais_AgriPV2.pdf. Acesso em: 3 set. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Brasil avança na renovabilidade das matrizes em 2024, aponta Balanço Energético Nacional**. Brasília, 29 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-avanca-na-renovabilidade-das-matrizes-em-2024-aponta-balanco-energetico-nacional>. Acesso em: 3 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA). **Agricultura familiar e energia solar: sustentabilidade em dobro**. Brasília, Portal Gov.br, 14 fev. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mda/pt-br/noticias/2024/02/agricultura-familiar-e-energia-solar-sustentabilidade-em-dobro>. Acesso em: 17 set 2025.

DE SOUSA, Angélica Silva; DE OLIVEIRA, Guilherme Saramago; ALVES, Laís Hilário. **A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos**. Cadernos da FUCAMP, v. 20, n. 43, 2021

DNV. **GPM Horizon and mixed portfolio management**. Disponível em: <https://www.dnv.com/cases/gpm-horizon-and-mixed-portfolio-management-188983/>. Acesso em: 24 set. 2025.

ENPHASE ENERGY. **Documentation — Enphase apps and monitoring resources**. [S.I.], [s.d.]. Disponível em: <https://enphase.com/en-gb/installers/resources/documentation/apps>. Acesso em: 22 set. 2025.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 4. ed. Curitiba: Positivo, 2010.

FREITAS, Clayton. **Energia solar bate recorde de instalação no Brasil, diz associação**. São Paulo: CNN, 19 jan. 2025. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/microeconomia/energia-solar-bate-recorde-de-instalacao-no-brasil-diz-associacao/>. Acesso: 17 set. 2025.

GREENPOWERMONITOR. **Gpm Horizon: gestão unificada de múltiplas plantas renováveis**. GreenPowerMonitor, 2025. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2025/03/26/solar-adds-record-452-gw-to-global-renewables-capacity-in-2024/>. Acesso em: 22 set. 2025.

IAMMETER. **Monitor your solar PV system**, 2025. Disponível em: <https://www.iammeter.com/docs/monitor-your-solar-system>. Acesso em: 24 set. 2025

IBERDROLA. **O que é um sistema SCADA? Conheça suas vantagens**, 2025. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/nosso-modelo-inovacao/sistema-scada>. Acesso em: 23 set. 2025.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Matriz energética brasileira teve uma participação maior de fontes renováveis em relação às não renováveis pela primeira vez em 35 anos**. São Paulo: IEMA, mar. 2025. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/maior-participacao-de-renovaveis-em-35-anos-20250321>. Acesso em: 16 set. 2025.

INTELBRAS. **Benefícios da energia solar em indústrias e grandes empresas**. São Paulo: Intelbras, 09 jan. 2023. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/energia-solar-em-industria/>. Acesso em: 17 set. 2025.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewables in 2024: 5 key facts behind a record-breaking year**. Abu Dhabi: IRENA, 2025.

Disponível em: <https://www.irena.org/News/articles/2025/Apr/Renewables-in-2024-5-Key-Facts-Behind-a-Record-Breaking-Year>. Acesso em: 14 set. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). ***What is renewable energy?*** [s.d]. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>. Acesso em: 5 nov. 2025.

PIOVESAN, Armando; TEMPORINI, Edméa Rita. **Pesquisa exploratória: procedimento metodológico para o estudo de fatores humanos no campo da saúde pública.** Revista de saúde pública, v. 29, p. 318-325, 1995.

PV MAGAZINE. ***Solar adds record 452 GW to global renewables capacity in 2024.*** pv-magazine Internacional, 26 mar. 2025. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2025/03/26/solar-adds-record-452-gw-to-global-renewables-capacity-in-2024/>. Acesso em: 14 set. 2025.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA do Estado de São Paulo (SEMIL). **Energia renovável.** São Paulo: SEMIL, 03 dez. 2021. Disponível em: <https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/energia-renovavel%E2%80%AF/>. Acesso em: 16 set. 2025.

SOLARINSURE. ***What Does Enphase® Enlighten Do?*** 17 set. 2025. Disponível em: <https://www.solarinsure.com/what-does-enphase-enlighten-do>. Acesso em: 24 set. 2025.

TOTVS. ***SCADA: o que é, como funciona e exemplos de uso.*** Blog TOTVS — Gestão Industrial, 10 maio de 2023. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/scada/>. Acesso em: 24 set. 2025.