

A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: IMPORTÂNCIA, INFLUÊNCIA E POSSÍVEL AUTOMAÇÃO.

Bruno Alexandre Costa Sousa

Resumo: Este artigo explora a energia solar fotovoltaica, uma fonte de energia renovável que utiliza a luz solar para gerar eletricidade. Inicialmente, é apresentada uma explicação detalhada do funcionamento desse sistema, com destaque para o processo de conversão da luz solar em eletricidade por meio das células fotovoltaicas. Além disso, é abordado o cenário da energia solar fotovoltaica no Brasil, enfatizando seu imenso potencial devido à abundância de radiação solar no país. Este potencial torna-se ainda mais evidente com o crescente interesse pela sustentabilidade energética e a necessidade de reduzir a dependência de fontes não renováveis. A revisão bibliográfica também destaca os inúmeros benefícios que a energia solar fotovoltaica traz para o Brasil. Entre eles, destacam-se a redução dos custos de energia elétrica para os consumidores, a criação de empregos na indústria solar e a significativa diminuição das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo diretamente para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, o texto destaca o rastreamento solar como uma tecnologia crucial para a maximização da eficiência dos sistemas fotovoltaicos, garantindo que os painéis solares estejam sempre alinhados com a posição ideal em relação ao sol, o que resulta em maior geração de eletricidade. Com uma crescente ênfase na busca por fontes de energia limpa e renovável, este estudo oferece uma visão abrangente do papel crucial que a energia solar fotovoltaica desempenha no desenvolvimento sustentável do Brasil, fornecendo informações valiosas para tomadores de decisão, pesquisadores e todos os interessados em energia sustentável.

Palavras-chave: Energia Solar; Viabilidade Econômica; Sustentabilidade Energética, Meio Ambiente.

1. INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo, foi possível observar uma crescente preocupação da sociedade com relação à conscientização ambiental e à redução do uso e dependência de fontes de energia não renováveis. Já foi apontado por muitos autores que a emissão crescente de gases do efeito estufa (muitos dos quais são liberados pela queima de combustíveis fósseis), são os principais agentes por trás do aquecimento global. [1 e 2]. Isso tem incentivado o desenvolvimento e a implantação de matrizes energéticas mais sustentáveis, ecológicas e renováveis. Dentre estas, a energia solar emergiu como uma alternativa altamente promissora para atender a essa demanda.

Por ser um recurso abundante, limpo e inesgotável, a energia solar oferece uma ótima alternativa para reduzir a dependência de combustíveis fósseis como, por exemplo, o carvão mineral e o petróleo e, consequentemente, reduzir o impacto ambiental atrelado à produção de energia.

O Brasil desfruta de grande potencial energético solar, sendo um dos maiores do mundo. Como é mostrado em [3], um infográfico divulgado pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2023), o país possui uma capacidade instalada de mais de 219 megawatts (MW) em matriz elétrica, dos quais 33,757 MW são provenientes da energia Solar Fotovoltaica e representam mais de 15,4% do total, fazendo desta a segunda maior do Brasil, ficando atrás apenas da geração hidrelétrica que representa 50,01% do total. Isso não apenas representa uma significativa contribuição para o suprimento de energia do país, mas também traz consigo uma série de outros benefícios como a redução de mais da 42,3 milhões de toneladas nas emissões de dióxido de carbono (CO₂), os mais de R\$ 164,2 bilhões em novos investimentos, uma arrecadação de tributos que ultrapassa os R\$ 46,7 bilhões e, claro, a geração de mais de 1 milhão de novos empregos. Dessa forma, torna-se perceptível que os impactos positivos da energia solar não se limitam apenas à matriz energética, mas também aos setores econômico, social e ambiental.

No artigo, veremos em detalhes a energia solar fotovoltaica, desde sua operação até os benefícios que oferece, promovendo uma melhor e mais bem fundamentada compreensão acerca do assunto. Com foco nas implicações ambientais e econômicas da implementação desta tecnologia, buscaremos destacar seu potencial transformador, sustentável e não degradante ao meio ambiente, sendo relevante principalmente para o público do âmbito acadêmico e profissionais da área que estejam interessados na energia renovável.

A transição para a energia solar fotovoltaica no Brasil não se trata apenas de uma evolução tecnológica, mas também de uma mudança de paradigma na maneira como produzimos e consumimos energia. Nesse contexto, o rastreamento solar desempenha um papel fundamental. Este refere-se à capacidade dos sistemas fotovoltaicos de seguir a trajetória do sol ao longo do dia, otimizando a captura de luz solar e a geração de energia. Essa tecnologia é particularmente relevante em um país de dimensões continentais, como o Brasil, onde as condições de luz solar variam significativamente de norte a sul, e ao longo das estações do ano.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia solar fotovoltaica

A tecnologia de energia solar fotovoltaica é uma solução altamente promissora e amplamente adotada nos dias de hoje, impulsionando a busca por fontes de energia sustentáveis e limpas. Essa inovação tecnológica se fundamenta na conversão direta da luz solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, que são dispositivos semicondutores concebidos para absorver a energia solar e transformá-la em uma corrente elétrica prontamente utilizável. O grande potencial da energia solar fotovoltaica reside na sua capacidade de explorar uma fonte de energia inesgotável e amplamente disponível: o sol [5]. As células fotovoltaicas geralmente são fabricadas a partir de materiais semicondutores, como o silício. Elas operam com base no princípio do efeito fotovoltaico, originalmente descoberto por Alexandre-Edmond Becquerel em 1839. Quando a luz solar incide sobre esses semicondutores, ela estimula a excitação dos elétrons, gerando uma corrente elétrica que pode ser aproveitada para alimentar sistemas elétricos, fornecer energia a residências, empresas e até mesmo abastecer redes elétricas completas [6].

2.2 Funcionamento da Energia Solar

A Figura 1 apresenta como a luz solar é capturada por meio de painéis fotovoltaicos e convertida em eletricidade, ilustrando o funcionamento e a relevância dessa tecnologia na transição para uma matriz energética mais sustentável.

A energia solar é obtida a partir da luz do sol capturada por painéis solares. Esses painéis possuem células fotovoltaicas, geralmente feitas de silício, um material semicondutor. Quando a luz solar incide sobre essas células, ela é convertida diretamente em eletricidade.

Essa eletricidade gerada pelos painéis solares é inicialmente uma corrente contínua (DC). No entanto, para que seja utilizada em nossas casas e empresas, ela precisa ser transformada em corrente alternada (AC). Esse processo é realizado pelo inversor grid tie, que desempenha um papel fundamental na conversão da eletricidade solar [7].

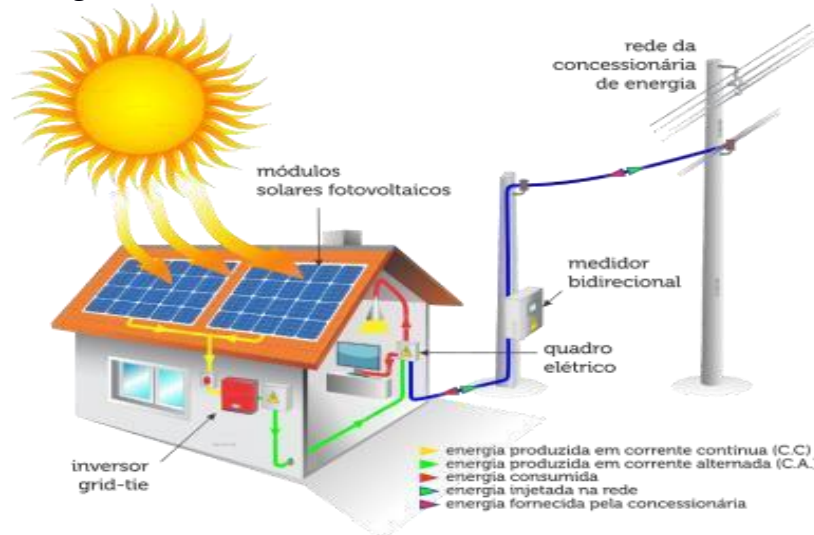
Uma vez convertida em corrente alternada, a eletricidade é direcionada para o quadro elétrico da residência ou do local onde o sistema solar está instalado. O quadro elétrico é responsável por distribuir essa eletricidade para os dispositivos e equipamentos em uso naquele momento [8].

Para acompanhar o fluxo de eletricidade e determinar quanto está sendo consumido e quanto está sendo devolvido à rede elétrica, é instalado um medidor bidirecional. Esse medidor registra a quantidade de eletricidade que flui em ambas as direções, permitindo um controle preciso da energia produzida e consumida [9].

É importante destacar que, quando o sistema solar gera mais eletricidade do que o local precisa, o excedente é direcionado de volta à rede elétrica da concessionária. Esse processo, conhecido como "compensação de energia", pode resultar em créditos pela eletricidade excedente ou até mesmo na venda dela à concessionária, dependendo das políticas locais [8].

A utilização da energia solar não apenas traz enormes vantagens econômicas, mas também desempenha um papel fundamental na mitigação das alterações climáticas. Os sistemas fotovoltaicos desempenham um papel crucial na redução das alterações climáticas, convertendo a luz solar em eletricidade e evitando a emissão de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa. Essa contribuição está perfeitamente alinhada com as metas globais de combate às alterações climáticas e fortalece os esforços mundiais para reduzir o impacto das atividades humanas no clima da Terra.

Figura 1 - Funcionamento do Sistema Fotovoltaico

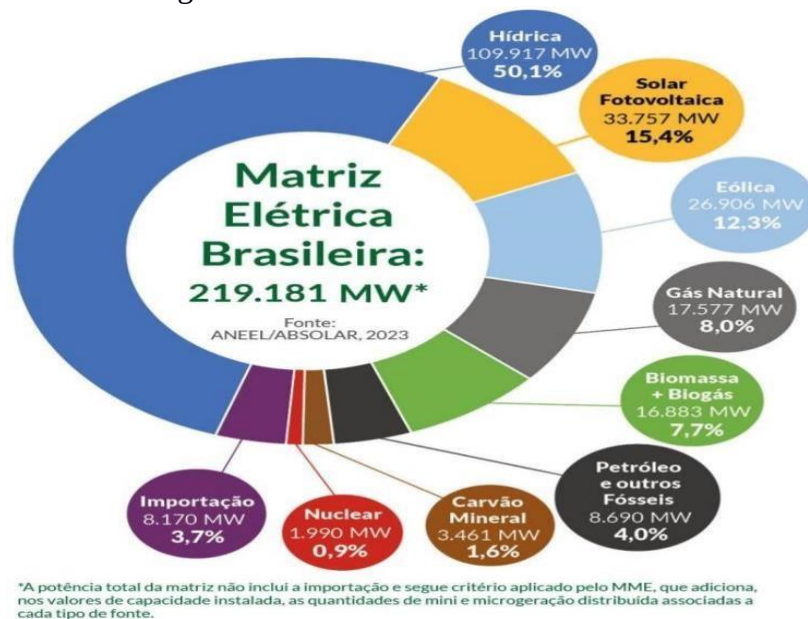


Fonte: LuzSolar(2021)

2.2 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

Conforme evidenciado por meio de um infográfico divulgado em colaboração entre a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com dados oficiais [3], publicado em 13 de setembro de 2023, fica evidente o notável crescimento da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no Brasil. Atualmente, o país ostenta uma capacidade instalada na matriz elétrica que ultrapassa os 219 megawatts (MW), dos quais 33,7 MW correspondem a sistemas fotovoltaicos, representando impressionantes 15,4% do total da matriz. Esse desempenho consolida a energia solar fotovoltaica como a segunda fonte mais utilizada no Brasil, ficando atrás apenas do setor hídrico, que possui uma potência instalada de 109,917 MW, abarcando 50,01% de toda matriz energética do país. Esses dados refletem um cenário promissor para a energia solar no Brasil, indicando não apenas seu crescimento constante, mas também seu impacto significativo na diversificação e sustentabilidade da matriz energética nacional.

Figura 2 - Matriz Elétrica Brasileira

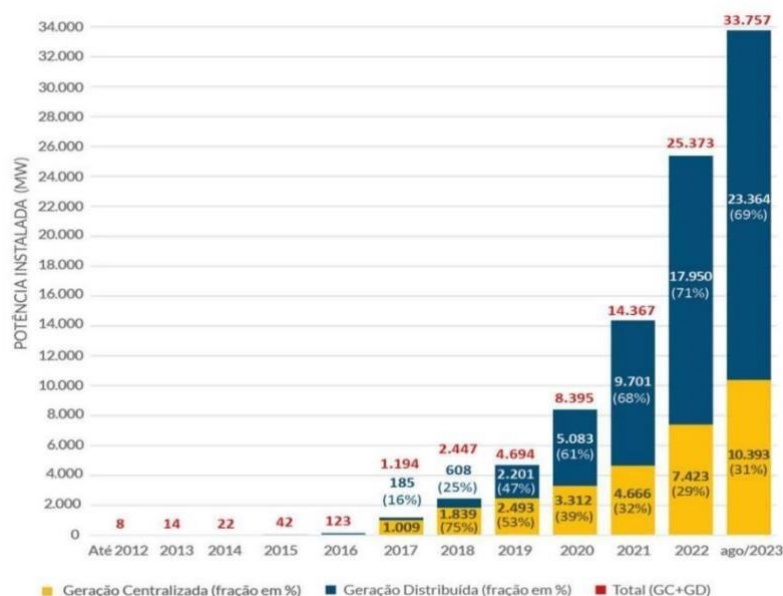


Fonte: ANEEL/ABSOLAR(2023)

A expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil não é apenas um fator significativo no suprimento de energia do país, mas também desencadeia uma série de impactos benéficos adicionais, solidificando seu papel fundamental

na matriz energética brasileira. Conforme ilustrado na Figura 2 abaixo, fica clara a notável trajetória de crescimento da Fonte Solar Fotovoltaica em solo brasileiro.

Figura 3 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: ANEEL/ABSOLAR(2023)

Essa evolução é notável e merece destaque. Em um período relativamente curto, testemunhamos um salto impressionante, passando de uma capacidade instalada de apenas 8 megawatts (MW) até 2012 para uma marca impressionante de 33,757 MW em agosto de 2023. Esse notável avanço não só reflete o comprometimento do Brasil com a expansão de fontes de energia limpa, mas também demonstra a confiança no potencial da energia solar fotovoltaica como uma solução vital para nossas necessidades energéticas presentes e futuras.

É importante destacar que essa expansão não é apenas uma conquista técnica, mas também um testemunho do papel crescente que a energia solar desempenha na busca por soluções energéticas sustentáveis. Como resultado, podemos inferir que a Fonte Solar Fotovoltaica não é mais uma mera alternativa, mas sim uma força motriz real na matriz energética brasileira.

O Brasil possui um imenso potencial de geração de energia solar devido à abundante irradiação solar que incide em seu território. Com vastas áreas de seu território recebendo altos níveis de radiação solar ao longo do ano, o país se destaca como um local privilegiado para a exploração da energia solar. A grande extensão territorial e as condições climáticas favoráveis contribuem para tornar a geração de energia solar centralizada e distribuída, sendo uma opção altamente viável e eficaz. Essa riqueza de radiação solar representa uma oportunidade significativa para reduzir os custos de energia e avançar em direção a uma matriz energética mais sustentável e amiga do meio ambiente [10].

Além disso, é importante considerar que a ascensão da energia solar não se limita apenas à geração de energia limpa. Ela também gera empregos, atrai investimentos e contribui significativamente para a mitigação das mudanças climáticas, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e promovendo a sustentabilidade ambiental. Além disso, vale destacar que o avanço da energia solar vai além da simples geração de energia limpa, como podemos ver na Figura 4.

Figura 4 - Benefícios da Fonte Solar fotovoltaica ao Brasil

Benefícios da Fonte Solar Fotovoltaica ao Brasil

Fonte: ABSOLAR, 2023.



Fonte: ABSOLAR(2023)

Os números revelam uma transformação significativa no panorama energético do Brasil. Os dados mostram que em valores acumulados desde 2012 até setembro de 2023, foram mais de R\$ 164,2 bilhões investidos na energia solar, gerando mais de 1 milhão empregos diretos e indiretos. Além disso, os ganhos fiscais provenientes dessa expansão ultrapassam a marca de R\$ 46,7 bilhões. A mitigação das mudanças climáticas também é um destaque, com a redução de mais de 42,3 milhões de toneladas de emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera.

Esses números ressaltam claramente o impacto positivo da energia solar não apenas na matriz energética do Brasil, mas também em sua economia e no mercado de trabalho. Além disso, a redução das emissões de CO₂ contribui significativamente para os esforços globais de combate às mudanças climáticas.

Entre janeiro e agosto de 2023, o Brasil registrou um notável aumento de 7 Gigawatts (GW) na capacidade de sua matriz elétrica, com 6,2 GW provenientes de fontes solar e eólica. Este ano marcou o maior aumento na geração solar e o segundo maior na energia eólica em sua história. As fontes renováveis agora compõem impressionantes 83,79% de toda a matriz elétrica brasileira, consolidando sua posição como líder global em energia limpa [11]. A geração solar cresceu em 3 GW, enquanto a energia eólica contribuiu com 3,2 GW para o Sistema Interligado Nacional. O Ministro de Minas e Energia, Alexandre Silveira, enfatiza que o Brasil está no caminho certo para liderar a transição energética mundial, com mais de 80% de sua matriz energética proveniente de fontes limpas e renováveis [11].

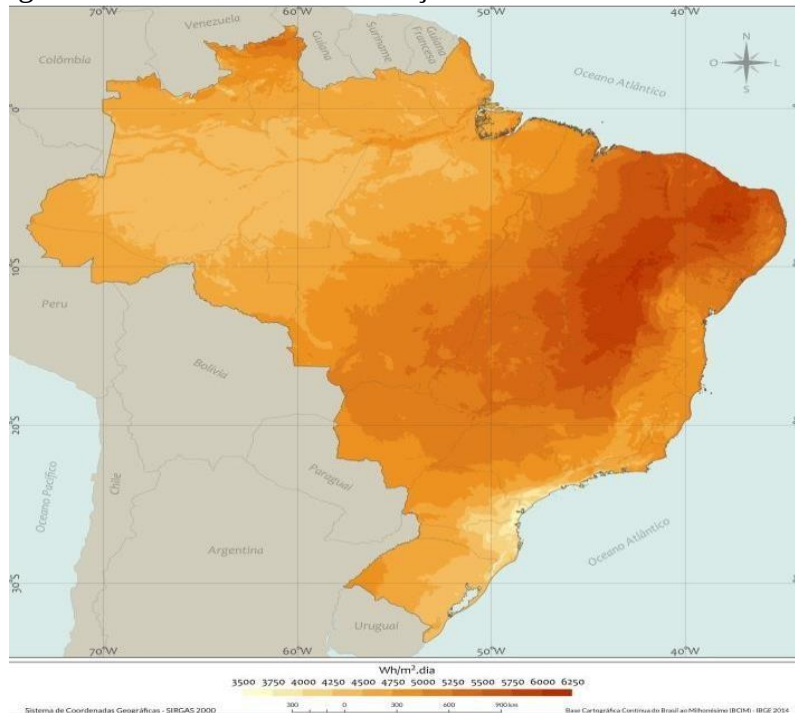
Em 2023, testemunhamos o maior aumento na capacidade de geração solar centralizada na história do Brasil. Comparado a 2022, quando adicionou 2,5 GW durante todo o ano, os primeiros nove meses de 2023 já registraram 3 GW. Esses números não incluem a micro e minigeração distribuída, como placas solares instaladas em residências e empresas [11].

A expansão, principalmente impulsionada por energia eólica e solar, também atraiu investimentos significativos. O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) prevê R\$ 73,1 bilhões em investimentos para projetos de geração de energia, com R\$ 64,8 bilhões direcionados para fontes renováveis. As usinas fotovoltaicas lideram com 8,5 GW planejados, seguidas pela energia eólica com R\$ 22 bilhões destinados a 120 projetos. O Brasil continua a se destacar como um exemplo de comprometimento com uma matriz energética mais limpa e sustentável [11].

2.2.1 Energia Solar no Nordeste

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), um recurso valioso para a avaliação da disponibilidade de irradiação solar no Brasil (Figura 5), é evidente que o Nordeste do país se destaca como uma das regiões com as maiores médias de irradiação solar. Essa particularidade se deve à sua proximidade com a linha do Equador, o que resulta em vantagens econômicas e técnicas notáveis para a implementação de sistemas de energia solar fotovoltaica nessa área.

Figura 5 - Total Diário da Irradiação Horizontal - Média Anual



Fonte: ATLAS(2017)

A região Nordeste ostenta um potencial solar considerável, com uma média diária de irradiação global horizontal total de 5,49 kWh/m², juntamente com uma componente direta normal de 5,05 kWh/m² (conforme indicado na Figura 6). Em contraste, as regiões do norte do Brasil exibem valores relativamente mais baixos de irradiância solar, devido às características climáticas peculiares dessa região, que incluem neblina frequente, reduzindo a quantidade de radiação solar que atinge a superfície. Como resultado, a média de irradiação global tanto em planos horizontais quanto inclinados é semelhante àquela encontrada na região sul, enquanto os níveis normais de irradiação direta são inferiores em comparação com as demais regiões [12]. Ferraz et al. (2018) relata que:

O Brasil apresenta um mercado com enorme potencial de crescimento devido às condições climáticas positivas a um maior desenvolvimento dessa tecnologia. Em especial o Nordeste, com favoráveis 5,9 kWh/m² de radiação solar, coloca-se como um grande agente para o crescimento dessa tecnologia e o aumento da utilização da mesma na região [13].

Isso é particularmente relevante no Nordeste, onde a abundante radiação solar desempenha um papel fundamental no impulso dessa tecnologia e em sua adoção crescente na região. Segue a Figura 6, na qual apresenta o valor médio anual total diário de irradiações solares para as cinco regiões do Brasil.

Figura 6 - Síntese dos níveis de irradiação solar por região



Fonte: ATLAS(2017)

2.2.2 Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022

A Lei Federal nº 14.300, promulgada em 6 de janeiro de 2022, representa um marco legal significativo para a microgeração e minigeração distribuída (MMGD) no Brasil. Esta lei introduziu diversas inovações no cenário regulatório da energia solar fotovoltaica. Primeiramente, reduziu o limite para minigeração distribuída de 5MW para 3MW, especificamente para fontes não-despacháveis, como sistemas de energia solar fotovoltaica sem armazenamento.

Outra alteração substancial foi a mudança na compensação da energia injetada na rede. Anteriormente, sob o sistema da REN 482, operava-se no regime de compensação 1:1, onde cada watt de energia injetado se traduzia em 1 watt de crédito para o prosumidor (produtor-consumidor) – deduzidos PIS/Cofins. Com a nova lei, foi estabelecido um regime de compensação parcial, que implicou que novas micro e miniusinas deverão pagar a tarifa de distribuição Fio B a partir de janeiro de 2023, em uma escala progressiva ao longo dos anos. Segue o art. 27. Da lei na qual cita as porcentagens da tarifa de distribuição do Fio B a serem cobradas de modo escalonado [14]:

Art. 27. (...)

- I – 15% (quinze por cento) a partir de 2023;
- II – 30% (trinta por cento) a partir de 2024;
- III – 45% (quarenta e cinco por cento) a partir de 2025;
- IV – 60% (sessenta por cento) a partir de 2026;
- V – 75% (setenta e cinco por cento) a partir de 2027;
- VI – 90% (noventa por cento) a partir de 2028;
- VII – a regra disposta no art. 17 desta Lei a partir de 2029.

Isso significa que, desde o início de 2023, os consumidores com sistemas de micro e minigeração distribuída começaram a pagar uma porcentagem crescente da tarifa de distribuição, o que altera a dinâmica financeira dos investimentos em MMGD. No entanto, é importante ressaltar que projetos já existentes até janeiro de 2023 mantêm o regime de compensação sem essa tarifa escalonada.

Além disso, a nova lei trouxe mudanças no cálculo do custo de disponibilidade. A partir da Lei nº 14.300/22, para sistemas existentes até janeiro de 2023, o custo de disponibilidade pago é considerado crédito. No caso de projetos aprovados após janeiro de 2023, se o consumo for maior que o valor de referência, não há cobrança do custo de disponibilidade. No entanto, se for menor, o consumidor paga a diferença entre o valor de referência e o

consumo efetivo. Essa alteração também impactou o cálculo do retorno do investimento em novos projetos de energia solar.

Essas mudanças na legislação são de extrema relevância e devem ser consideradas ao avaliar a viabilidade econômica da transição para a energia solar fotovoltaica no contexto atual.

2.3 Automação mecânica evolução e história

A automação como um conceito, vem caminhando junto à raça humana desde seus primórdios, ou seja, desde o dia em que o ser humano trocou suas mãos nuas por ferramentas. Embora muitos associem a automação às máquinas, o simples ato de otimizar um processo com ferramentas ou novas técnicas visando o melhor desenvolvimento do mesmo já se enquadra como uma forma de automação.

Acredita-se que o início da automação aconteceu em meados do século XVIII, durante a primeira revolução industrial. Com a invenção das máquinas a vapor, foi dado o pontapé inicial para a criação das máquinas automatizadas. E com o passar dos séculos cada vez mais avanços importantes para a automação foram se mostrando, mais e mais avanços técnicos e tecnológicos surgiram e com eles mais e mais marcos importantes dentre eles: A produção em massa e linha de montagem de Ford no início do século XX, a invenção dos controladores programáveis e o desenvolvimento da tecnologia eletrônica em meados do século XX, o uso generalizado de robôs na manufatura e em outras indústrias no final do século XX e o aparecimento de novas tecnologias, como inteligência artificial, aprendizado de máquina e IoT que permitiu que as máquinas executassem tarefas mais complexas e tomassem decisões de forma autônoma no século XXI [18].

A automação tem promovido um significativo aumento na eficiência e uma notável redução dos custos trabalhistas nos setores onde foi implementada. E com os avanços contínuos das tecnologias e com a constante busca para melhorar a eficiência dos processos, será possível ver cada vez mais a automação crescendo e se expandindo para mais e mais setores [18].

2.4 Automação em Sistemas Fotovoltaicos para melhorar a eficiência: Rastreamento Solar

A automação de rastreamento solar é uma das áreas de pesquisa em energia solar fotovoltaica que tem ganhado crescente atenção nas últimas décadas. Enquanto os sistemas fixos de montagem de painéis solares são amplamente utilizados, eles não otimizam totalmente a captura de energia solar ao longo do dia, uma vez que os painéis permanecem em uma posição estática em relação ao sol. Nesse contexto, a automação de rastreamento solar surgiu como uma solução promissora para melhorar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos.

Nesta sessão da revisão, exploraremos as diversas técnicas de automatização do rastreamento solar que vêm sendo desenvolvidas e aprimoradas para maximizar a captação de energia solar. Discutiremos as pesquisas mais recentes, que investigam diferentes estratégias de automatização, incluindo rastreamento de eixo único, rastreamento de eixo duplo e rastreamento baseado em sensores [15]. Além disso, analisaremos as implicações práticas e econômicas da implementação dessas técnicas em sistemas fotovoltaicos em grande escala.

No estudo conduzido por Alves em 2008 [16], foi desenvolvido um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos na cidade de Bauru, São Paulo. Este sistema teve como objetivo comparar o desempenho entre um sistema fixo e um sistema móvel de dois eixos, explorando a capacidade de automação para otimizar a geração de energia solar.

O sistema de posicionamento automático era composto por um Controlador Lógico Programável (CLP), uma placa de acionamento dos motores de passo, motores e redutores. O CLP desempenhava um papel crucial no controle do sistema, executando um programa que calculava a posição aparente do Sol no céu e gerava os sinais de controle necessários para os motores. Estes sinais de controle eram transformados em pulsos que acionavam os motores, determinando a velocidade, a direção do movimento e os ângulos de posicionamento dos painéis fotovoltaicos.

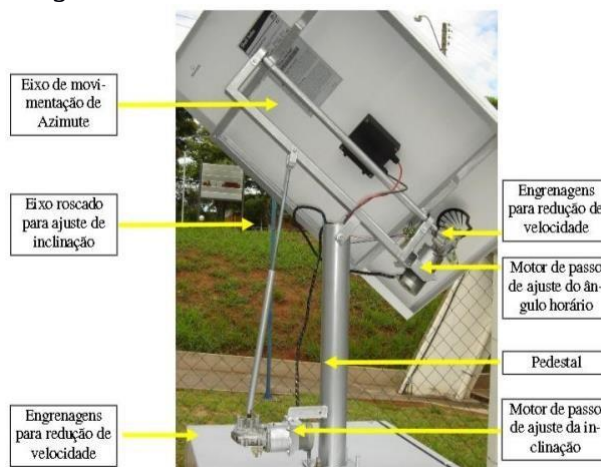
O centro do experimento era o CLP, que não apenas controlava o sistema móvel, mas também coletava e armazenava os dados dos sensores. Isso permitiu uma avaliação detalhada do desempenho dos painéis. O experimento se estendeu ao longo de 152 dias, abrangendo diferentes condições climáticas e estações do ano, incluindo dias secos e chuvosos, frios e quentes, bem como o período de verão, outono e inverno. Durante esse período, os dados coletados demonstraram um ganho notável na geração de energia pelo sistema móvel em comparação com o sistema fixo. Os resultados do estudo foram notáveis, com um ganho de aproximadamente 46% no desempenho do sistema móvel em relação ao sistema fixo. Isso significava que, graças à automação e ao rastreamento solar proporcionado pelo sistema móvel, os painéis fotovoltaicos conseguiam capturar cerca de 46% a mais de energia solar, tornando essa tecnologia uma opção promissora para aumentar a eficiência na geração de energia a partir da luz solar. Segue a Figura 7 e 8 do experimento feito por Alves.

Figura 7 – Laboratório experimental



Fonte: Alves (2008)

Figura 8 - Funcionamento do Painel Móvel



Fonte: Alves (2008)

Nesse segundo estudo feito por Tessaro [17], essa pesquisa foi realizada na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, no dia 07 de agosto de 2005, foram analisados dois sistemas: um sistema fixo, em que os painéis solares foram montados de forma estática com uma inclinação específica, e um sistema móvel com rastreamento solar, que permitia que os painéis seguissem o movimento aparente do Sol durante o dia. O objetivo era avaliar a eficiência energética desses sistemas em diferentes condições de iluminação solar.

Os resultados da pesquisa foram reveladores. Embora o sistema de rastreamento solar tenha demonstrado uma curva de potência instável devido ao seu controle em malha aberta, ele apresentou um ganho de aproximadamente 20,74% na captação de energia em comparação com o sistema fixo. Além disso, a eficiência do sistema de rastreamento solar foi aproximadamente 2,052% superior, indicando um notável aumento na eficiência de captação de energia.

É importante notar que os valores de radiação solar utilizados para o cálculo do rendimento foram hipotéticos, mas serviram como um indicativo da diferença potencial de rendimento entre os dois sistemas.

Esses resultados destacam a importância do rastreamento solar como uma estratégia viável para melhorar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos. Embora desafios como a estabilidade da curva de potência tenham sido identificados, a pesquisa de Alves aponta para uma direção promissora na busca pela otimização de sistemas de captação de energia solar. A aplicação de mecanismos de rastreamento solar pode contribuir significativamente para a maximização da eficiência na conversão da energia solar em eletricidade, tornando-os uma opção atraente no contexto das energias renováveis. Podemos ver como foi feito o experimento na figura 9.

Figura 9 - Sequência parcial de movimento do sistema rastreado



Fonte: Tessaro (2005)

3. METODOLOGIA

Para realização deste artigo sobre a energia solar fotovoltaica no Brasil, foi adotado uma metodologia rigorosa para selecionar as fontes de informação. Primeiramente, foi conduzido pesquisas em bases de dados acadêmicas confiáveis, como Google Acadêmico, SciElo e Portal da CAPES, utilizando uma combinação de palavras-chave relacionadas ao tema, incluindo "energia solar fotovoltaica", "transição energética", "Brasil" e outros relevantes. Além disso, foi examinado relatórios técnicos de órgãos governamentais e organizações ambientais e energéticas para obter dados e informações atualizadas e por último foi feito consultas em empresas especializadas em instalação de energia solar.

Foi estabelecido critérios rigorosos de seleção a fim de assegurar a relevância e a qualidade das fontes escolhidas. Incluímos em nossa análise artigos científicos, documentos de conferências, relatórios técnicos e documentos governamentais que se concentram na adoção da energia solar fotovoltaica no Brasil. Foi excluído fontes que não atenderam a esses critérios ou que não se mostraram atuais.

Com base nas informações reunidas, foi promovido uma discussão aprofundada sobre políticas energéticas, aspectos econômicos, impactos ambientais e avanços tecnológicos vinculados à energia solar no Brasil. Esta discussão englobou uma reflexão sobre o desenvolvimento sustentável e as perspectivas futuras no cenário energético brasileiro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao examinar a literatura, ficou evidente que o Brasil experimentou um crescimento notável na capacidade instalada de energia solar fotovoltaica nas últimas décadas. Dados e estatísticas de fontes confiáveis, como o Ministério de Minas e Energia [10], mostram que o país alcançou uma capacidade instalada significativa, tornando-se referência internacional. Este aumento substancial é resultado direto de políticas governamentais, incentivos fiscais e investimentos no setor de energia renovável.

A revisão também destacou os benefícios econômicos e ambientais associados à energia solar fotovoltaica. Evidências apontam que a adoção dessa tecnologia não apenas reduz os custos de eletricidade a longo prazo, mas também cria oportunidades de emprego e estimula o crescimento econômico local. Além disso, a energia solar é uma fonte limpa de energia, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação das mudanças climáticas.

Ao examinarmos a literatura, é evidente que o Brasil tem trilhado um notável crescimento na capacidade instalada de energia solar fotovoltaica ao longo das últimas décadas. No entanto, esse percurso não se dá sem desafios significativos. Entre os aspectos negativos, destacam-se os custos iniciais consideráveis associados à instalação de sistemas fotovoltaicos, representando um obstáculo substancial para inúmeras famílias e empresas. Além disso, a dependência da energia solar em relação às condições climáticas pode resultar em flutuações na geração e disponibilidade de eletricidade, o que requer considerações cuidadosas no planejamento e gerenciamento da transição para essa fonte de energia sustentável.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em resumo, este estudo explorou de forma abrangente a energia solar fotovoltaica, elucidando tanto seu funcionamento quanto seu potencial no cenário brasileiro. Ficou evidente como as células fotovoltaicas têm a capacidade de converter a luz solar em eletricidade, destacando o imenso recurso de radiação solar disponível no Brasil. Além disso, foram enfatizados os impactos econômicos e ambientais positivos, como a redução de custos energéticos, a geração de empregos e a contribuição na redução das emissões de gases de efeito estufa. Também foi abordado a importância das políticas governamentais de estímulo à energia solar e as oportunidades de investimento. Com essa análise, este estudo oferece uma visão compreensiva do papel crucial que a energia solar fotovoltaica desempenha no contexto brasileiro, contribuindo para um entendimento mais profundo da sua relevância em um futuro sustentável e eco consciente.

Esse trabalho foi de suma importância no aprendizado da disciplina de Automação, ela nos proporcionou uma compreensão mais profunda da energia solar fotovoltaica e seu impacto transformador em nosso país. Estamos confiantes de que essa transição energética é uma parte essencial do nosso futuro sustentável, e este trabalho nos permitiu explorar e compreender melhor esse conceito inspirador.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo. Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho. Tradução: Maria Cristina Vidal Borba e Neide Ferreira Gaspar. São Paulo: FAPESP, 2010. Disponível em: <http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>. Acesso em: 12 julho. 2023
- [2] WALTER, A. Emissões de gases de efeito estufa no setor de energia, no Brasil. **Revista Brasileira de Energia, Campinas**, v. 27, n. 3, p. 1-9, 1 jan. 2021. Trimestral.
- [3] ABSOLAR, AB d ESF. Energia solar fotovoltaica no brasil: Infográfico. 2023. Disponível em: [ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica](#). Acesso em: 22 de jul. 2023.

-
- [4] SANTOS, Pedro Vieira Souza; DE LIMA, Nyegge Vitória Martins. Fatores de impacto para sobrevivência de micro e pequenas empresas (MPes). **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 3, n. 5, p. 5477, 2018.
- [5] DA SILVA, Heitor Marques Francelino; 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. 859869, 2022.
- [6] LIMA, A.A., MENEZES, N.P., SANTOS, S., AMORIM, B., THOMAZI, F., ZANELLA, F., HEILMANN, A., BURKARTER, E., DARTORA, C.A. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, São Paulo, out. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zmFYrhnnhLQ8dMHk7CDmSfs/?lang=pt>. Acesso em: 23 jul. 2023.
- [7] GOMES, Caio Peixoto. Energia Solar: Utilização como fonte de energia alternativa. **Bolsista de Valor**, v. 2, p. 159-164, 2012.
- [8] ANEEL, Cadernos Temáticos. Micro e minigeração distribuída. **Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF, Brasil: Centro de Documentação–Cedoc**, 2014. Disponível em: [micro geracao 2 edicao - Correção 08-06 \(celesc.com.br\)](http://microgeracao2.edicao-correcao08-06.celesc.com.br). Acesso em: 05 de Agosto 2023.
- [9] BRAGA, Renata Pereira. Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações. 2008. Disponível em: [Microsoft Word - projeto final.doc \(ufrrj.br\)](#). Acesso em: 24 de jul. 2023
- [10] BEZERRA, F. D. Energia solar. Caderno Setorial ETENE, Ano 6, nº 174, julho de 2021. Banco do Nordeste do Brasil, 2021. Disponível em: [2021 CDS 174.pdf \(bnb.gov.br\)](#). Acesso em 25 jul.. 2022.
- [11] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023**: Com construção de usinas fotovoltaicas e eólicas, matriz elétrica brasileira chega a 83,79% de fontes renováveis, uma referência internacional. [Brasília]: Ministério de Minas e Energia, 18 ago. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023#:~:text=A%20expans%C3%A3o%20da%20capacidade%20instalada,maior%20incremento%20na%20energia%20%C3%B3lica>. Acesso em: 25 Ago. 2023
- [12] MARTINS, Fernando Ramos et al. Atlas brasileiro de energia solar 2. 2017. Disponível em: https://repositorio.unifesp.br/bitstream/handle/11600/58353/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_rev01.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em 01 out. 2023.
- [13] FERRAZ, Renato Santos Freire et al. Análise comparativa do potencial de energia solar na região nordeste do Brasil x Alemanha. **Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII**, n. 000142, 2018. Disponível em: [artigo_revista_9.pdf \(semanaacademica.com.br\)](#). Acesso em: 01 out. 2023.
- [14] BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2022]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/14300.htm. Acesso em: 26 Ago. 2023.
- [15] NETO, Aimé Fleury de Carvalho Pinto et al. Descrição de Seguidores Solares e sua Aplicação em Centrais Fotovoltaicas Conectadas à Rede. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2010. Disponível em: [Vista do DESCRIÇÃO DE SEGUIDORES SOLARES E SUA APLICAÇÃO EM CENTRAIS FOTOVOLTAICAS CONECTADAS À REDE \(emnuvens.com.br\)](#). Acesso em: 04 out. 2023
- [16] ALVES, Alceu Ferreira; CAGNON, José Angelo. DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE POSICIONAMENTO AUTOMÁTICO PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS. **Energia na Agricultura**, v. 25, n. 2, p. 01-19, 2010. Disponível em: [Vista do DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE POSICIONAMENTO AUTOMÁTICO PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS \(unesp.br\)](#). Acesso em: 05 out. 2023.
- [17] TESSARO, Alcione Rodrigo et al. Desempenho de um painel fotovoltaico acoplado a um rastreador solar. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006. Disponível em: [Encontro de Energia no Meio Rural - Performance of a panel fotovoltaico connected to a solar dredge \(scielo.br\)](#). Acesso em: 06 out. 2023
- [18] DICKSON, Robbie. **A evolução e a história da automação**. Disponível em: <https://www.firgelliauto.com/pt/blogs/actuators/what-is-the-evolution-and-history-of-automation>. Acesso em: 25 jun. 2024.
-