

VIABILIDADE ECONÔMICA DA TRANSIÇÃO PARA ENERGIA SOLAR EM UM PEQUENO MERCADINHO DE BAIRRO.

William Jadson Bezerra Menezes Tupinambá¹, Elizangela Cabral dos Santos²

Resumo: Neste estudo, almeja-se a avaliação da viabilidade econômica relacionada à transição para o uso de sistemas de energia solar em um pequeno mercado de bairro. O propósito principal da pesquisa é aferir a rentabilidade financeira dessa transição, que inclui a redução das despesas com energia, a diminuição dos custos operacionais e os benefícios ambientais decorrentes da redução de emissões de gases de efeito estufa. Para tal, adota-se uma metodologia que envolve a coleta de dados financeiros reais do mercado, incorporando informações sobre despesas de energia, históricos de consumo e os custos associados à implementação de sistemas fotovoltaicos. A análise de viabilidade econômica, contemplando indicadores como o Retorno sobre o Investimento (ROI) e o período de retorno do investimento, é executada com o intuito de discernir a sustentabilidade financeira. Além disso, aspectos ambientais também são considerados, dado que a energia solar não apenas reduz as despesas operacionais, mas também se alinha com objetivos de redução de emissões de gases de efeito estufa. Os resultados originados fornecerão valiosa compreensão a pequenos empresários, autoridades governamentais e outros interessados na promoção de práticas sustentáveis e eficiência energética em mercados de bairro. Esta pesquisa visa destacar os aspectos econômicos e ambientais envolvidos na transição para a energia solar em contextos específicos. Em resumo, este estudo confirma a viabilidade econômica da transição para a energia solar, destacando sua capacidade de reduzir custos operacionais e seu alinhamento com as preocupações ambientais contemporâneas.

Palavras-chave: Energia renovável; Indicadores de renda; Micro e Pequenas Empresas (MPEs); Sistema fotovoltaico; Sustentabilidade energética.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a sociedade tem testemunhado uma notável mudança no que diz respeito à conscientização ambiental e à busca por fontes de energia mais sustentáveis. O crescente interesse em questões ambientais e a urgência de reduzir a dependência de fontes de energia convencionais têm incentivado a adoção de tecnologias energéticas mais sustentáveis, ecológicas e renováveis. Dentro desse cenário, a energia solar emergiu como uma alternativa altamente promissora para atender a essa crescente demanda. Há diversos autores como por exemplo Walter e José Goldemberg, Professor Emérito da USP, eles apontam que o aquecimento global tem como parte do resultado a emissão crescente de gases de efeito estufa, muitos dos quais provenientes da queima de combustíveis fósseis para geração de energia [1,2].

A energia solar é um recurso limpo, abundante e inesgotável que pode reduzir a dependência de fontes de energias não renováveis, como por exemplo o petróleo e o carvão mineral, sendo assim possível mitigar a dependência dos combustíveis fósseis de tal modo a reduzir o impacto ambiental atrelado à produção de energia. O Brasil desfruta de um potencial energético solar, sendo um dos países contemplados com uma das maiores áreas de insolação do mundo. Atualmente detém uma capacidade instalada de energia solar fotovoltaica de 33,757 MW, representando mais de 15,4% da matriz energética do país, de acordo com um infográfico da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica divulgado em 13 de setembro de 2023. Essa posição coloca a energia solar como a segunda maior fonte de geração de energia, ficando atrás apenas da fonte hidrelétrica, que corresponde a 50,01% da matriz energética nacional [3].

Essa conquista não apenas contribui de forma significativa para o abastecimento de energia nacional, mas também traz benefícios notáveis. Os dados revelam um influxo de mais de R\$ 164,2 bilhões em novos investimentos, a criação de mais de 1 milhão de empregos, uma arrecadação tributária superior a R\$ 46,7 bilhões e uma redução de mais de 42,3 milhões de toneladas de emissões de dióxido de carbono (CO₂). As estatísticas ilustram claramente o impacto positivo da energia solar no Brasil, não apenas no setor energético, mas também na economia, na força de trabalho e na luta contra as mudanças climáticas [3].

Nesse contexto, torna-se importante avaliar a viabilidade da energia solar nas empresas, considerando fatores econômicos e sustentáveis. A transição para fontes limpas de energia é essencial e requer orientação especializada para tomar decisões que promovam o desenvolvimento empresarial e a sustentabilidade financeira. As micro e pequenas empresas (MPEs) desempenham um papel crucial na economia [4], mas muitas vezes enfrentam desafios de custos operacionais, especialmente relacionados à eletricidade convencional de fontes não renováveis. A transição para a energia solar é uma estratégia vital para essas empresas que dependem significativamente de

energia elétrica em seus processos operacionais, tais como mercadinhos varejistas, padarias, confeitarias, restaurantes, lanchonetes, hotéis e pousadas. Essa mudança promete não apenas reduções significativas dos custos operacionais a longo prazo, mas também desempenha um papel fundamental na redução das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo ativamente para a sustentabilidade ambiental [5].

Assim, o objetivo deste trabalho foi um estudo de caso realizado em um mercadinho de bairro varejista de pequeno porte, situado no bairro Irmã Lindalva, na cidade de Assu, no estado do Rio Grande do Norte, onde buscou-se avaliar a viabilidade econômica da adoção da energia solar fotovoltaica como fonte de energia para suprir as necessidades energéticas desse negócio. A metodologia empregada inclui uma revisão bibliográfica abrangente, baseada em diversas fontes, como artigos científicos, livros, regulamentações e recursos audiovisuais. Essa revisão fornece uma base sólida de conhecimento sobre a tecnologia solar, seus benefícios econômicos e ambientais, e políticas governamentais que incentivam sua adoção. Portanto, a pesquisa se concentra na análise da viabilidade da energia solar em pequenos mercados de bairro, explorando suas implicações econômicas e ambientais. A revisão bibliográfica serviu como alicerce para as análises posteriores, visando uma compreensão completa e embasada do assunto. Na análise do comércio foi realizada um estudo detalhado do histórico de consumo energético da empresa. Em seguida, as empresas especializadas foram consultadas para obtenção de propostas e orçamentos, que incluem estimativas de custos, garantias e especificações técnicas dos sistemas fotovoltaicos. Com base nesses dados, realizou-se uma análise financeira para determinar o tempo de retorno do investimento (ROI) em comparação com os gastos energéticos atuais. Além disso, foram considerados os aspectos ambientais, avaliando como a adoção da energia solar pode contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa e o cumprimento de metas de sustentabilidade. Ao final, uma análise de viabilidade completa e recomendações abrangentes foram emitidas, incorporando tanto aspectos econômicos quanto ambientais, com o objetivo de fornecer uma visão informada e embasada para a tomada de decisões relacionadas à adoção de energia solar nesse contexto específico do mercadinho de bairro.

Durante todo o processo de pesquisa, foram seguidos rigorosamente os princípios éticos, garantindo a privacidade e a confidencialidade de todas as informações coletadas. Além disso, cumprimos todas as regulamentações aplicáveis.

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 [6].

A Figura 1 ilustra o funcionamento e a relevância dessa tecnologia na transição para uma matriz energética mais sustentável.

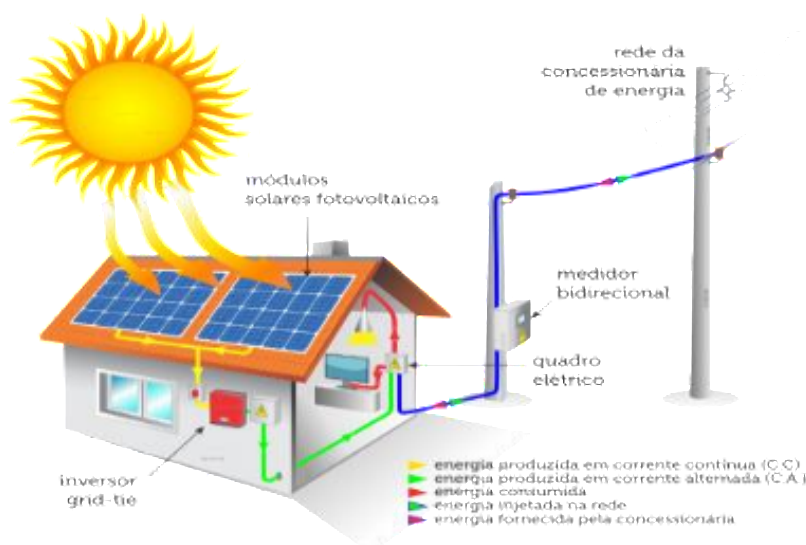


Figura 1. Funcionamento do Sistema Fotovoltaico. (LuzSolar, 2021)

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 (CC). No entanto, para que seja utilizada em nossas casas e empresas, ela precisa ser transformada em corrente alternada (CA). 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 direta de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa. Essa contribuição está alinhada com as metas globais de combate às alterações climáticas e fortalece os esforços para reduzir o impacto das atividades humanas no clima da Terra.

2.2 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

É evidente o notável crescimento da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no Brasil, conforme evidenciado por meio do infográfico divulgado em colaboração entre a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com dados oficiais, acumulado mensalmente desde 2012, publicado em 13 de setembro de 2023 (Figura 2). No ano de 2023, 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 elétrica brasileira [3].

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 [3].

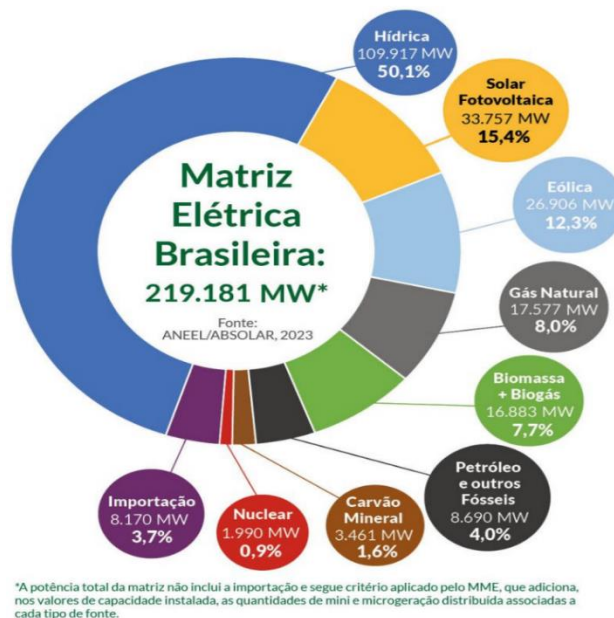


Figura 2. Matriz Elétrica Brasileira. (ANEEL/ABSOLAR, 2023)

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, como por exemplo a redução da emissão dos gases de efeito estufa e a criação de empregos, solidificando seu papel fundamental na matriz energética brasileira.

Conforme ilustrado na Figura 3, é notável a trajetória de crescimento da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.

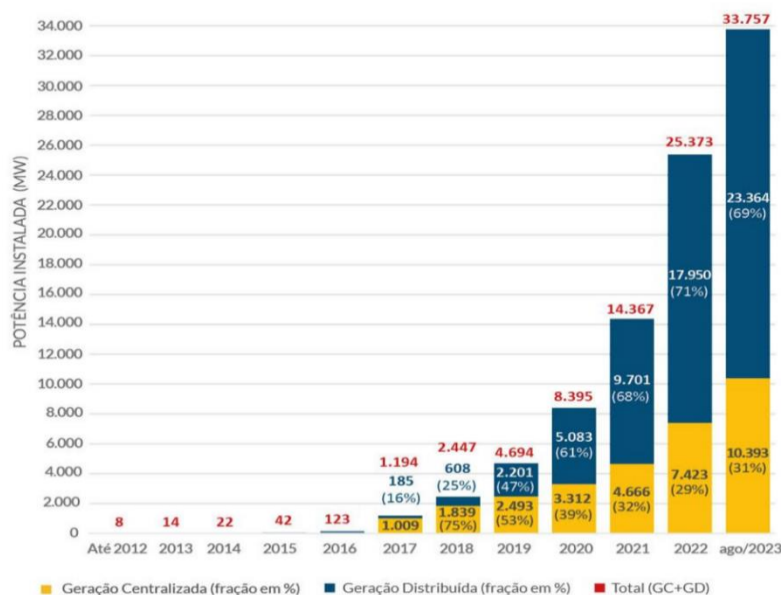


Figura 3. Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil. (ANEEL/ABSOLAR, 2023)

Conforme a figura 3, em um período relativamente curto, observa-se um salto impressionante, passando de uma capacidade instalada de apenas 8 megawatts (MW) em 2012 para uma marca de 25.373 MW em 2022. Isso demonstra um crescimento de 317.062,5%. 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 não é apenas uma conquista técnica, mas também uma confirmação do papel crescente que a energia solar desempenha na busca por soluções energéticas sustentáveis. Como resultado, pode-se inferir que a fonte solar fotovoltaica não é mais uma simples alternativa, mas sim uma força motriz real na matriz energética brasileira.

O Brasil possui 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, ainda 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 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 ambientalmente sustentável [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 [11], conforme ilustrado na Figura 4.

Benefícios da Fonte Solar Fotovoltaica ao Brasil

Fonte: ABSOLAR, 2023.



Figura 4. Benefícios da Fonte Solar Fotovoltaica ao Brasil. (ABSOLAR, 2023)

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 [3].

Entre janeiro e dezembro de 2022, o Brasil registrou um aumento de 11 Gigawatts (GW) na potência instalada da fonte solar fotovoltaica no Brasil, isso demonstra um crescimento anual em 2022 de 76,57% em relação a potência instalada em 2021[3]. Já em 2023, observou-se 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 [12]. 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, entre os anos de 2023 a 2026. 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 [12].

2.2.1 Energia Solar no Nordeste

Conforme destacado pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a região Nordeste se destaca como uma das áreas com as maiores médias de irradiação solar (Figura 5). 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.

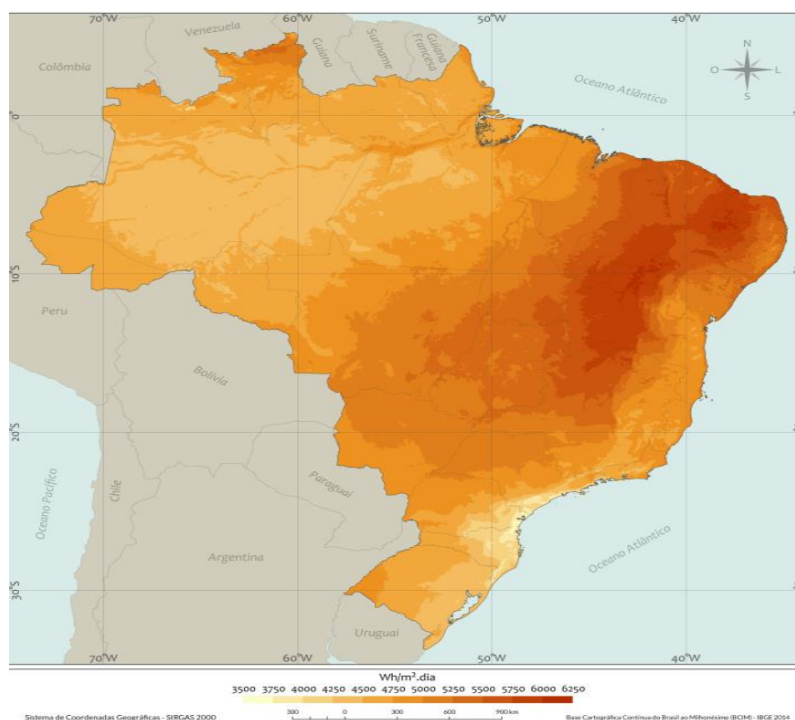


Figura 5. Total Diário da Irradiação Horizontal – Média Anual. (ATLAS, 2017)

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 irradiação 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 [13].

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 [14].

A região Nordeste se destaca com a irradiação solar em relação as demais regiões, esse aspecto é particularmente relevante, pois essa abundância de irradiação solar desempenha um papel fundamental no impulso dessa tecnologia e em sua adoção na região. Figura 6, representa o valor total diário da irradiação horizontal para as cinco regiões do Brasil.

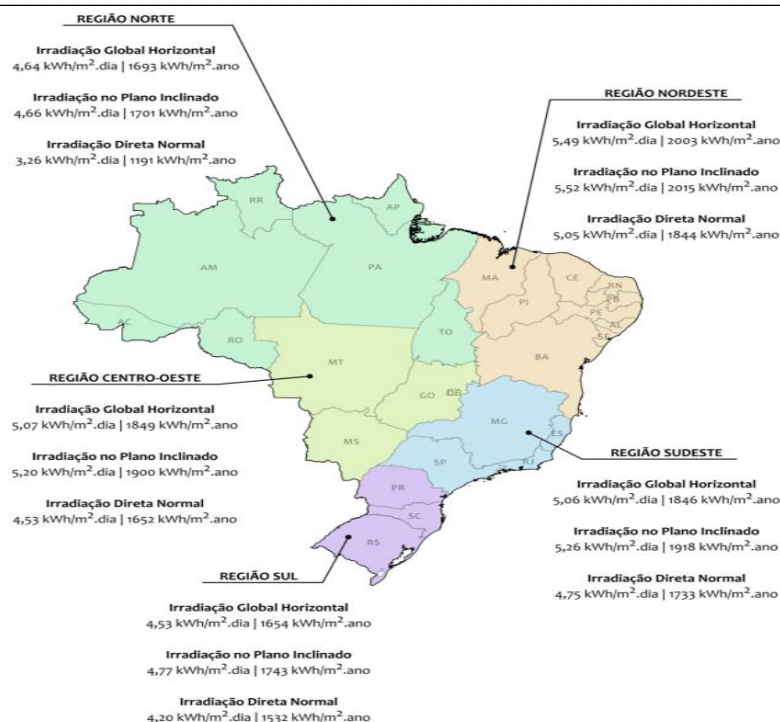


Figura 6. Síntese dos níveis de irradiação solar por região. (ATLAS2017)

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 [15].

Outra alteração substancial foi a mudança na compensação da energia injetada na rede. Anteriormente, sob o sistema da Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012, da Aneel - REN 482/2012, operava-se no regime de compensação 1:1, onde cada watt de energia injetado se traduzia em 1 watt de crédito para o consumidor (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 [16]:

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, uma vez que 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.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O percurso metodológico consistiu em uma pesquisa qualitativa e quantitativa, em um mercadinho de bairro localizado na cidade de Assu, Rio Grande do Norte, Brasil (coordenadas geográficas: -5.5904274416779725, -36.92277562933613). A pesquisa qualitativa consistiu no método exploratório, através de pesquisa bibliográfica e documental para compreensão das particularidades do estabelecimento em estudo e transição do sistema de energia convencional para a energia solar. Realizou-se uma abordagem descritiva para contextualizar e detalhar o cenário, descrevendo tanto as características do mercadinho quanto o fenômeno em análise: a viabilidade econômica da adoção de energia solar. A pesquisa quantitativa envolveu a coleta e avaliação dos dados coletados junto as empresas prestadoras do serviço de instalação do sistema fotovoltaico [17,18,19].

3.1 Etapas da Pesquisa

O processo pode ser dividido em quatro etapas distintas:

Primeira Etapa - Busca de informações na literatura científica e fontes confiáveis: Foi adotado uma metodologia rigorosa em pesquisas em bases acadêmicas (Google Acadêmico), usando palavras-chave relevantes, relatórios governamentais e associações (ABSOLAR, ANEEL), consultas a empresas de energia solar para selecionar fontes de informação na internet. Essa etapa foi fundamental para estabelecer uma base sólida de conhecimento sobre energia solar fotovoltaica, suas aplicações e os fatores a serem considerados na avaliação de sua viabilidade econômica, conforme metodologia adotada por Lakatos [20].

Segunda Etapa - Análise do consumo de energia do mercadinho: Para compreender o cenário específico do pequeno mercadinho de bairro, foi realizada uma análise detalhada do consumo de energia elétrica. Para isso, realizou-se a coleta de dados históricos de consumo, identificando padrões sazonais e de demanda, além de entender as necessidades energéticas específicas do estabelecimento;

Terceira Etapa - Solicitação de orçamento junto a empresas especializadas em energia solar: Após a análise do consumo, foram realizados orçamentos junto a 3 empresas especializadas em instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica da cidade de Assu-RN e região. Os orçamentos fornecidos variaram em uma média de 10% entre as empresas, no entanto, apenas 1 empresa forneceu permissão para divulgação dos dados. Essa etapa foi crucial para obter estimativas de custos de implementação, incluindo aquisição de equipamentos, instalação e manutenção;

Quarta Etapa - Cálculos de viabilidade econômica: Com os orçamentos em mãos, foram realizados cálculos detalhados para determinar a viabilidade econômica da transição para energia solar. Isso incluiu a projeção de custos iniciais, estimativa de economias de energia ao longo do tempo e o cálculo do período de retorno do investimento (*Payback*). Foram considerados também os incentivos fiscais ou programas de financiamento disponíveis para esse tipo de projeto.

A combinação de pesquisa teórica com análise prática do local alvo da pesquisa proporcionou uma base sólida para avaliar a viabilidade econômica da transição para essa fonte de energia fotovoltaica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar a viabilidade foi considerado um sistema fotovoltaico completo para pleno funcionamento e que supra a necessidade energética do alvo desse estudo, ele é composto por uma série de elementos essenciais que desempenham um papel fundamental na geração de energia solar. As principais características para implementação do sistema são as seguintes:

4.1 Consumo de Energia Atual

A avaliação da dimensão da usina fotovoltaica para o estabelecimento foi realizada levando em conta o histórico de consumo energético constatado nas faturas do cliente (comercio) ao longo dos últimos doze meses, outubro de 2022 à setembro de 2023. Além disso, foram considerados quaisquer equipamentos suplementares que tenham sido acrescentados a pedido do cliente durante esse período, chegando a um consumo médio mensal de 1.150,00 kWh, conforme demonstrado na Figura 7.

Conta de energia consideradas	Unidade Consumidora	Consumo médio mensal kWh	Consumo mínimo mensal kWh	Preço do kWh em (R\$) ¹
Conta 01 Grupo B1 Residencial	-	1.150,00	30,00	0,78
Total		1.150,00	30,00	0,78

Figura 7. Consumo de Energia. (Empresa de Mossoró e região, 2023)

4.2 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Calcula-se que uma área de aproximadamente 41,54 metros quadrados seja necessária para a instalação de 18

módulos fotovoltaicos. Esta estimativa leva em consideração a inclinação e orientação ideais para otimizar a captação da luz solar. Além disso, considerando uma irradiação solar diária média anual de 5,52 kWh/m² na região onde o comércio está localizado, o sistema foi dimensionado com uma potência de 9,99 kWp.

Com base nesse dimensionamento, estima-se que a geração mensal de energia atinja 1.259,17 kWh/mês. Em termos financeiros, essa geração estimada representa um valor de aproximadamente R\$ 982,15 em economia mensal para o comércio. A Figura 8 apresenta os detalhes sobre o dimensionamento sugerido pela empresa especializada.

Dimensionamento do seu Sistema Fotovoltaico	
Localização da Usina	Assu/RN
Tipo de Estrutura	Telha cerâmica
Irradiação solar diária média anual ²	5,52 kWh/m ²
Potência do Sistema Dimensionado	9,99 kWp
Geração mensal estimada pela potência dimensionada	1.259,17 kWh/mês
Geração mensal estimada em reais ¹	982,15 R\$
Geração anual estimada pela potência dimensionada	15.110,05 kWh/ano
Percentual do consumo atendido ³	100,00 %
Área útil necessária para a instalação (estimada)	41,54 m ²

¹ Valores Estimados, não considerado possíveis cobranças de ICMS sobre a TUSD e iluminação pública.

² Considerando a orientação, inclinação e posicionamento ideal dos módulos fotovoltaicos.

³ De acordo com o consumo médio informado pelo cliente nos últimos 12 meses.

Figura 8. Dimensionamento do Sistema. (Empresa de Mossoró e região, 2023)

4.3 Análise Financeira do Investimento

A Figura 9, exibe a proposta fornecida por uma empresa localizada na cidade de Mossoró e que atende Assu e região. Esta proposta estipulou um custo total de implementação de R\$ 26.389,30. O sistema proposto consiste em 18 módulos fotovoltaicos do modelo CP18-72H555W, cada um com uma potência de 555 Watts-pico (Wp).

Adicionalmente, o sistema será equipado com um único inversor de 8.0 kW, modelo MIN 8000TL-X(E), MONOFASICO. Este inversor foi projetado para converter eficientemente a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos, corrente contínua, em eletricidade prontamente utilizável, corrente alternada. Também estão inclusos na proposta 5 suportes específicos para telhados de cerâmica e concret.

A proposta abrange não apenas o fornecimento dos componentes mencionados, mas também serviços para o funcionamento, tais como a instalação completa do sistema, a elaboração do projeto elétrico necessário e a tramitação das solicitações de acesso junto à concessionária de energia. Por fim, a proposta engloba a implementação de um sistema de monitoramento remoto da geração de energia.

Item	Quantidade	Descrição	Preço
1	18	Módulo Fotovoltaico 555 W, CP18-72H555W, Fabricante: Hanersun	Incluso Incluso Incluso
2	1	Inversor 8.0 kW, modelo: MIN 8000TL-X(E), MONOFASICO, Fab: Growatt	
3	5	Suporte para telhado cerâmica e concreto, fabricante: Perfil	
4	1	Serviço de Instalação e Comissionamento do sistema	
5	1	Serviço de Projeto Elétrico e Solicitação de Acesso à Concessionária ¹	
6	1	Sistema de Monitoramento da Geração Remota	
Preço da Solução Completa			R\$ 26.389,30
Preço / Wp			R\$ 2,64

¹ Valor da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART / TRT) incluso.

Figura 9. Proposta Comercial. (Empresa de Mossoró e região, 2023)

A empresa fornece uma garantia da estrutura de instalação que oferece suporte seguro para os módulos fotovoltaicos de 15 anos, contra defeitos da estrutura de fixação. Os módulos fotovoltaicos escolhidos apresentam uma garantia contra defeitos de fabricação de 12 anos. Além disso, possuem uma garantia de desempenho de eficiência de produção de 80% por um período estendido de 25 anos, assegurando a qualidade e confiabilidade a longo prazo.

No Figura 10 é apresentado um gráfico da geração mensal de energia solar, juntamente com o consumo correspondente levando em consideração os meses do ano. Vale ressaltar que esses valores variam conforme os dias letivos e a sazonalidade. A implementação do sistema fotovoltaico permitiria a injeção do excedente de energia gerada na rede elétrica, gerando créditos que poderiam ser utilizados nos meses em que o consumo supera a geração.

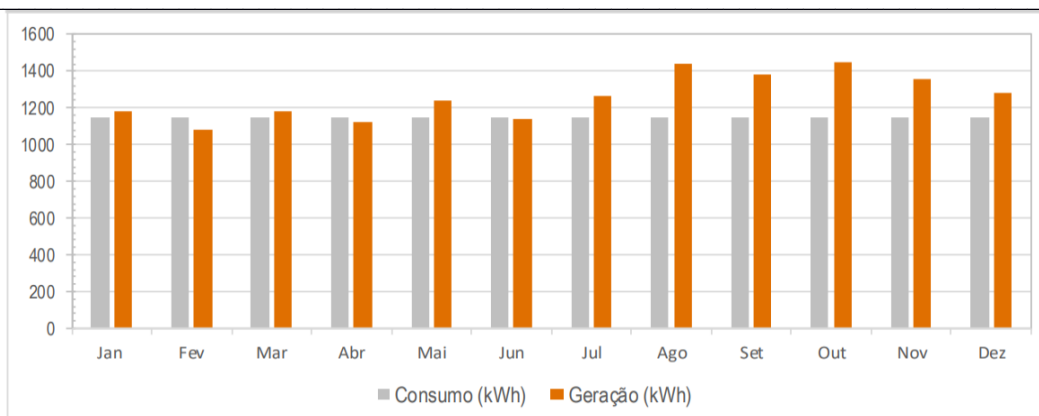


Figura 10. Estimativa de Geração Mensal. (Empresa de Mossoró e região, 2023)

A seguir, a Figura 11 apresenta uma estimativa mensal de economia em termos monetários. Esse cálculo leva em conta um aumento anual de 9% na tarifa de energia elétrica, bem como a redução na produção ao longo dos anos de acordo com as garantias dos painéis solares, que preveem uma diminuição de 20% ao longo de 25 anos. Além disso, consideramos uma taxa de simultaneidade de 10% no local onde o sistema está instalado, juntamente com o valor médio da tarifa de energia elétrica. Importante notar que nesta análise não foram incluídos elementos como a taxa de iluminação pública e outros encargos adicionais que podem ser relevantes em diferentes cenários. Para este projeto, foi considerado o pagamento à vista, o que dá 6% de desconto do valor, resultando no valor final de R\$ 24.805,94.

Status	Ano	Produção do Sistema Fotovoltaico (em kWh)	Consumo sem Sistema Fotovoltaico (em R\$)	Consumo com Sistema Fotovoltaico (em R\$) ¹	Benefício (R\$)	Investimento (em R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado (em R\$)
Investimento	1	15110	11.625,12	0,00	11.625,12	-24.805,94	-13.180,82
Investimento	2	14732	12.555,13	0,00	12.555,13		-625,69
Lucro	3	14644	13.559,54	0,00	13.559,54		12.933,85
Lucro	4	14556	14.644,30	0,00	14.644,30		27.578,15
Lucro	5	14469	15.815,85	0,00	15.815,85		43.394,00
Lucro	6	14382	17.081,12	0,00	17.081,12		60.475,11
Lucro	7	14296	18.447,60	0,00	18.447,60		78.922,72
Lucro	8	14210	19.923,41	0,00	19.923,41		98.846,13
Lucro	9	14125	21.517,29	0,00	21.517,29		120.363,41
Lucro	10	14040	23.238,67	0,00	23.238,67		143.602,08
Lucro	11	13956	25.097,76	0,00	25.097,76		168.699,85
Lucro	12	13872	27.105,58	0,00	27.105,58		195.805,43
Lucro	13	13789	29.274,03	24,14	29.249,89		225.055,31
Lucro	14	13706	31.615,95	215,62	31.400,34		256.455,65
Lucro	15	13624	34.145,23	436,34	33.708,89		290.164,54
Lucro	16	13542	36.876,85	689,68	36.187,17	-4.961,19	321.390,52
Lucro	17	13461	39.826,99	979,35	38.847,65		360.238,16
Lucro	18	13380	43.013,15	1.309,43	41.703,73		401.941,89
Lucro	19	13300	46.454,21	1.684,42	44.769,78		446.711,68
Lucro	20	13220	50.170,54	2.109,28	48.061,26		494.772,93
Lucro	21	13140	54.184,19	2.589,46	51.594,72		546.367,66
Lucro	22	13062	58.518,92	3.130,95	55.387,97		601.755,62
Lucro	23	12983	63.200,43	3.740,34	59.460,09		661.215,71
Lucro	24	12905	68.256,47	4.424,87	63.831,60		725.047,31
Lucro	25	12828	73.716,99	5.192,49	68.524,49		793.571,81

Após 15 anos de operação, é recomendada a troca dos Inversores, com custo equivalente à aprox. 15% do valor total do investimento à época.

(¹) Na tabela considera-se apenas despesas com consumo ativo de kWh, não incluindo o custo de disponibilidade que é cobrado pela concessionária de usinas conectadas à rede elétrica, relativo Tarifas de uso de energia elétrica.

Figura 11: Tabela de Fluxo de Caixa. (Empresa de Mossoró e região, 2023)

Conforme observado nas Figuras 11 e 12, o retorno do investimento estimado é de 2 anos, o que demonstra uma atratividade financeira desse projeto.

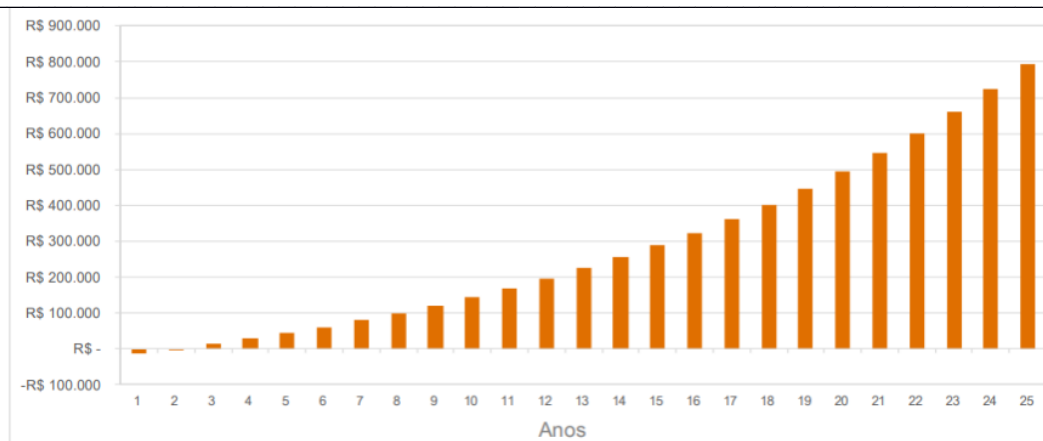


Figura 12. Gráfico de Retorno de Investimento em 25 anos. (Empresa de Mossoró e região, 2023)

A implementação do sistema de energia solar proposto neste estudo trará consigo não apenas benefícios econômicos, mas também um impacto ambiental positivo considerável. Ao longo de um período de 25 anos, estima-se que o sistema de energia solar evitará a emissão de aproximadamente 43.132 kg de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Esse valor representa uma contribuição significativa para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mitigando assim os efeitos adversos das mudanças climáticas.

Para ilustrar a magnitude desse impacto ambiental, é importante destacar que a quantidade de CO₂ evitada é equivalente à absorção de carbono proporcionada pelo plantio de 308 árvores ao longo do mesmo período de 25 anos. A energia solar, ao converter a luz solar em eletricidade, reduz as emissões de CO₂ em comparação com fontes de energia tradicionais, como o carvão e gás natural. O cálculo da mitigação de CO₂ com energia solar envolve a estimativa das emissões evitadas ao usar energia solar em vez de fontes convencionais. Além disso, as árvores têm a capacidade de absorver CO₂ da atmosfera durante seu ciclo de vida. O cálculo da mitigação de CO₂ com o plantio de árvores considera a quantidade de CO₂ que as árvores podem capturar. A sinergia entre energia solar e árvores é uma estratégia eficaz para combater as mudanças climáticas, pois a energia solar reduz as emissões de CO₂ durante a geração de eletricidade. Esse cálculo demonstra vividamente o papel crucial que a energia solar desempenha na redução da pegada de carbono e na preservação do meio ambiente [21].

A capacidade do sistema de energia solar em mitigar as emissões de CO₂ e promover a sustentabilidade ambiental é uma faceta fundamental a ser considerada em qualquer avaliação de viabilidade. Além dos benefícios econômicos diretos, como economias de custos operacionais, a transição para fontes de energia limpa como essa contribui para a construção de um futuro mais verde e sustentável.

3. CONCLUSÕES

A implementação do sistema de energia solar no pequeno mercadinho de bairro representa uma escolha financeiramente sensata e ambientalmente responsável. Embora o investimento inicial de R\$ 24.805,94 à vista possa parecer significativo, é importante destacar que esse investimento se traduz em um rápido *Payback* de apenas 2 anos, sendo que há possibilidades de financiamento junto a bancos, caso não haja possibilidade de fazer a aquisição à vista. Esse retorno rápido do investimento é um indicativo sólido da viabilidade econômica do projeto. Existem outros motivos convincentes para considerar a transição para a energia solar, como a independência em relação às flutuações dos preços da energia elétrica convencional, que é um fator crucial, proporcionando estabilidade aos custos operacionais ao longo do tempo. Além da redução significativa nas contas de eletricidade e os benefícios fiscais que contribuem para o atrativo financeiro do sistema solar.

Além dos benefícios financeiros diretos, a escolha da energia solar é um compromisso com a sustentabilidade ambiental. A redução estimada de 43.132 kg de CO₂ em 25 anos, equivalente ao plantio de 308 árvores, destaca claramente o impacto positivo da energia solar na mitigação das mudanças climáticas.

Portanto, a análise da viabilidade econômica e ambiental demonstra que a instalação do sistema solar fotovoltaico é uma escolha inteligente para o pequeno mercadinho de bairro em estudo, representando economia a curto e longo prazo, bem como um passo importante em direção à responsabilidade ambiental.

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: <[capa-energia-sustentavel.indd \(fapesp.br\)](#)>. 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. Disponível em: <[SBPE - Sociedade Brasileira de Planejamento Energético | Revista Brasileira de Energia](#)>. Acesso em 12 Jul. 2023.
- [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. 54-77, 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. 859-869, 2022.
- [6] LIMA, A. Lima, et al. 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/rbepf/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 \(celesc.com.br\)](#)>. Acesso em: 05 de Agosto 2023.
- [9] BRAGA, Renata Pereira. Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações. 2008. Disponível em: <[Microsoft Word – projeto final.doc \(ufrj.br\)](#)>. Acesso em: 24 de jul. 2023
- [10] BEZERRA, Francisco Diniz. 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] 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: <[Vista do EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: IMPACTOS AMBIENTAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS \(animaeducacao.com.br\)](#)>. Acesso em 15 out. 2023.
- [12] 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%20e%C3%B3lica>>. Acesso em: 25 Ago. 2023
- [13] 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_rev-01.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em 01 out. 2023.
- [14] 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.
- [15] DA SILVA BRASIL, Fabiana et al. Análise dos impactos financeiros de uma usina de geração de energia fotovoltaica junto à carga com aplicação da a lei 14.300. **Revista de Tecnologia Aplicada**, v. 12, n. 1, p. 86-99, 2023. Disponível em: <[Análise dos impactos financeiros de uma usina de geração de energia fotovoltaica junto à carga com aplicação da a lei 14.300 | Brasil | REVISTA DE TECNOLOGIA APLICADA \(faccamp.br\)](#)>. Acesso em: 16 out. 2023.
- [16] 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/114300.htm>. Acesso em: 26 Ago. 2023.
- [17] POUPART, Jean et al. A pesquisa qualitativa. **Enfoques epistemológicos e metodológicos**, v. 2, 2008. Acesso em: <[04_OB-JACCOUD_MAYER.pdf \(usp.br\)](#)>. Acesso em: 18 out. 2023.
- [18] MANZATO, Antonio José; SANTOS, Adriana Barbosa. A elaboração de questionários na pesquisa quantitativa. **Departamento de Ciência de Computação e Estatística–IBILCE–UNESP**, v. 17, 2012. Disponível em: <[Microsoft Word - ELABORACAO QUESTIONARIOS PESQUISA QUANTITATIVA \(ufsc.br\)](#)>. Acesso em: 18 out. 2023.
- [19] GÜNTHER, Hartmut. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão?. **Psicologia: teoria e pesquisa**, v. 22, p. 201-209, 2006. Disponível em: <[SciELO - Brasil - Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão?](#)> Acesso em: 18 de out. 2023.
- [20] MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Técnicas de pesquisa. **São Paulo: Atlas**, 1990. Disponível em: <[Lakatos e Marconi - Tecnicas de pesquisa20191114-31612-di2isl.pdf \(dlwqtxtslxzle7.cloudfront.net\)](#)>. Acesso em 18 out. 2023.

[21] DUARTE, Luanna Pollyanna da Silva Siqueira; MARCHETTO, Margarida. Compensação de CO2 em Eventos. Estudo de Caso: Feira do Empreendedor–MT, Edição 2011. **E&S Engineering and Science**, v. 1, n. 1, p. 103-115, 2014. Disponível em: <[Vista do Compensação de CO2 em Eventos. Estudo de Caso: Feira do Empreendedor – MT, Edição 2011 \(ufmt.br\)](#)>. Acesso em 19 out. 2023.