

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA USINA FOTOVOLTAICA DE MICROGERAÇÃO

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica: Adrian Gabriel Silva Ribeiro

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica: Augusto Teodoro da Silva

Docente Orientador do Curso de Engenharia Elétrica: Marcelo Lucas

Universidade de Uberaba – Uniube, Uberaba – MG, Brasil

E-mail dos autores correspondentes: adriangabriel@uniube.br

augustots@edu.uniube.br

RESUMO

O aumento progressivo dos custos de energia elétrica no Brasil tem impulsionado a busca por fontes renováveis, com destaque para a energia solar fotovoltaica. Este estudo avalia a viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica de 75 kW instalada em uma fazenda para atender ao consumo energético de um supermercado. Utilizando uma abordagem técnica e econômica, a pesquisa considera as especificações do projeto, as condições de instalação e os custos associados. Os resultados indicam que a implementação de uma usina fotovoltaica de 75 kW para atender à demanda energética de um supermercado demonstra ser uma solução economicamente viável e ambientalmente sustentável, promovendo economia financeira significativa e reduzindo a dependência das oscilações tarifárias do mercado de energia convencional. Além disso, o projeto contribui para a mitigação de impactos ambientais, com a redução da pegada de carbono, e gera benefícios sociais ao impulsionar a criação de empregos no setor de energia renovável. Para maximizar o impacto dessa tecnologia, recomenda-se sua aplicação em setores de alta demanda energética, como indústrias e hospitais, e em regiões com maior irradiação solar, consolidando a energia solar como uma ferramenta estratégica para o desenvolvimento econômico e ambiental.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica; Microgeração; Viabilidade Econômica; Sustentabilidade; Supermercados.

ABSTRACT

The progressive increase in electricity costs in Brazil has driven the search for renewable sources, with emphasis on photovoltaic solar energy. This study evaluates the economic viability of a 75 kW photovoltaic plant installed on a farm to meet the energy consumption of a supermarket. Using a technical and economic approach, the research considers the project specifications, installation conditions and associated costs. The results indicate that the implementation of a 75 kW photovoltaic plant to meet the energy demand of a supermarket proves to be an economically viable and environmentally sustainable solution, promoting significant financial savings and reducing dependence on tariff fluctuations in the conventional energy market. In addition, the project contributes to the mitigation of environmental impacts, by reducing the carbon footprint, and generates social benefits by boosting the creation of jobs in the renewable energy sector. To maximize the impact of this technology, its application is recommended in sectors with high energy demand, such as industries and hospitals, and in regions with greater solar irradiation, consolidating solar energy as a strategic tool for economic and environmental development.

Keywords: Photovoltaic Energy; Microgeneration; Economic Feasibility; Sustainability; Supermarkets.

1. INTRODUÇÃO

O aumento contínuo nos custos de energia elétrica no Brasil tem impulsionado uma busca intensificada por soluções energéticas mais sustentáveis e acessíveis. Entre essas alternativas, a energia solar fotovoltaica se destaca pela combinação de sustentabilidade ambiental e pela constante redução nos custos de instalação e operação. Regulamentações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que fomentam a micro e minigeração distribuída, têm desempenhado um papel central nesse avanço, viabilizando o uso de sistemas fotovoltaicos tanto em áreas urbanas quanto rurais. Nesse contexto, as usinas fotovoltaicas de microgeração emergem como uma solução eficaz e economicamente viável, especialmente para empresas interessadas em reduzir suas despesas com energia elétrica e, simultaneamente, minimizar impactos ambientais.

Esta pesquisa é guiada pela seguinte questão: qual é a viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica de 75 kW instalada em uma fazenda para atender à demanda energética de um supermercado? Para responder a essa questão, o estudo avalia as especificações técnicas do projeto, as condições locais de instalação e os custos associados, buscando determinar se o

investimento proposto gera economia significativa ao longo do tempo, além de justificar seu uso como uma solução sustentável e economicamente vantajosa.

O objetivo principal deste estudo é analisar a viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica de 75 kW instalada em uma área rural para suprir a demanda energética de um supermercado. Para alcançar esse propósito, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: analisar os impactos econômicos e ambientais da instalação de uma usina fotovoltaica em um supermercado; avaliar a eficiência operacional e as economias projetadas a longo prazo em comparação ao uso de energia convencional; e demonstrar a contribuição do sistema para a redução da pegada de carbono da operação comercial.

A justificativa para este estudo reside na relevância crescente de alternativas energéticas renováveis em um cenário de alta nos preços da energia elétrica convencional e de aumento nas demandas energéticas de setores comerciais, como o supermercadista. A instalação de uma usina fotovoltaica de microgeração oferece maior independência energética em relação ao fornecimento convencional, garantindo redução de custos e estabilidade financeira. Paralelamente, a adoção de fontes renováveis como a energia solar fortalece o compromisso ambiental da empresa, contribuindo para a redução da pegada de carbono. Esse diferencial é especialmente relevante em um cenário de crescente conscientização ambiental. Assim, a avaliação da viabilidade econômica desse projeto busca fornecer subsídios para futuras decisões de investimentos em energias renováveis, promovendo um modelo mais sustentável de geração de energia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia Fotovoltaica e Microgeração

A energia fotovoltaica tem sido amplamente estudada como uma alternativa viável e sustentável de produção de eletricidade, especialmente no contexto da microgeração distribuída. A microgeração permite que consumidores individuais, como residências e pequenos negócios, possam gerar parte ou toda a energia que consomem, promovendo a autossuficiência energética e reduzindo a dependência de fontes não-renováveis (Almeida, 2018). Esse modelo descentralizado é ideal para países com alta incidência solar, como o Brasil, onde as condições climáticas oferecem potencial de geração contínua ao longo do ano (Silva, 2015). A ANEEL, por meio de regulamentações específicas, busca incentivar a adoção dessa tecnologia, estimulando o uso de energia fotovoltaica como alternativa acessível para a geração de eletricidade no setor residencial e comercial (ANEEL, 2020).

O marco regulatório para a microgeração no Brasil foi a Resolução Normativa nº 482, de 2012, emitida pela ANEEL, que regulamenta as condições de acesso de unidades de microgeração ao sistema de distribuição (Santos, 2016). Essa resolução introduziu o sistema de compensação de energia, popularmente conhecido como "net metering", que permite que consumidores injetem o excedente de energia gerado na rede pública, recebendo créditos que podem ser utilizados posteriormente para abater o consumo em períodos de menor geração (Cabral, Torres e Senna, 2013). Essa estruturação regulatória foi essencial para tornar a microgeração economicamente viável e ampliar o acesso à energia solar fotovoltaica entre consumidores residenciais e comerciais, resultando em crescimento significativo do setor.

A geração de energia fotovoltaica é feita por meio de painéis compostos por células de silício, que absorvem a luz solar e a convertem em energia elétrica. No Brasil, os modelos mais comuns são os de silício policristalino e monocristalino, que oferecem boa eficiência na conversão de luz em eletricidade, com índices de aproveitamento que variam de 17% a 24% (Fontes, 2018). Essa tecnologia tem se mostrado promissora em áreas urbanas e rurais, especialmente quando conectada ao sistema de distribuição, pois dispensa a necessidade de baterias, que são mais comumente utilizadas em sistemas isolados (off-grid) (ANEEL, 2018). A Resolução Normativa nº 687, de 2015, ampliou os incentivos à microgeração distribuída ao permitir que múltiplas unidades consumidoras compartilhem créditos gerados em uma mesma instalação de energia solar, facilitando a adoção por empresas e condomínios (ANEEL, 2020).

A energia solar fotovoltaica aproveita a abundante radiação solar disponível no Brasil, que apresenta um dos maiores índices de irradiação solar do mundo. Segundo estudos, mesmo as regiões menos ensolaradas do país possuem níveis de radiação superiores aos de países líderes no setor, como a Alemanha (Nascimento, 2019). Esse potencial é especialmente relevante em um contexto de crescente preocupação com a segurança energética e de pressões para a diversificação da matriz elétrica brasileira (Cabral et al., 2013). A ANEEL tem se esforçado para promover o uso de energia fotovoltaica em microgeração

como uma alternativa sustentável e acessível, buscando reduzir a dependência de fontes fósseis e alinhar o Brasil aos compromissos climáticos globais, como o Acordo de Paris (ANEEL, 2020).

A instalação de sistemas fotovoltaicos de microgeração traz uma série de benefícios econômicos aos consumidores, que podem observar uma significativa redução em suas despesas com energia elétrica. A energia gerada e injetada na rede pública é automaticamente descontada na fatura, permitindo que o investimento inicial seja recuperado ao longo do tempo por meio da economia gerada (Almeida, 2018). Embora o custo de instalação ainda represente uma barreira, programas de financiamento e incentivos fiscais têm sido implementados para democratizar o acesso à energia solar, viabilizando o uso por uma parcela maior da população (ANEEL, 2018). Dessa forma, o incentivo à microgeração não só promove a sustentabilidade, mas também se alinha a objetivos de inclusão energética.

A ANEEL também estabeleceu regras específicas para garantir a segurança e a estabilidade do sistema elétrico com a expansão da microgeração. Entre as regulamentações, destaca-se a obrigatoriedade de que os consumidores com sistemas fotovoltaicos paguem uma taxa de uso da rede de distribuição, destinada à manutenção da infraestrutura (ANEEL, 2020). Além disso, a regulamentação exige que a energia gerada seja prioritariamente para o autoconsumo, evitando que consumidores utilizem a microgeração para comercializar grandes volumes de energia (Santos, 2016). Essas medidas visam garantir que a microgeração cumpra seu papel de contribuir para a responsabilidade ecológica e a autossuficiência energética, sem comprometer o equilíbrio do sistema.

A expansão da microgeração distribuída representa uma mudança importante no setor energético, pois permite que os consumidores tenham uma maior autonomia sobre o uso e a geração de energia. Estudos apontam que, com a alta incidência de radiação solar no Brasil, os sistemas fotovoltaicos on-grid se mostram altamente vantajosos, pois aproveitam a infraestrutura de distribuição já existente, dispensando o uso de baterias e reduzindo ainda mais o custo de implementação (Fontes, 2018). Esse tipo de sistema é considerado

ideal para áreas urbanas, onde a conexão com a rede elétrica facilita o processo de compensação e proporciona uma forma de armazenamento indireto da energia produzida (Silva, 2015).

A adoção da microgeração fotovoltaica tem aumentado também devido à instabilidade tarifária no setor elétrico. Em momentos de crise hídrica e aumento nas tarifas de energia, a microgeração surge como uma solução viável para consumidores residenciais e empresariais que buscam previsibilidade nos gastos (Nascimento, 2019). Além disso, os benefícios ambientais da energia solar são significativos, pois contribuem para a redução de emissões de gases de efeito estufa, alinhando o Brasil aos esforços globais de mitigação das mudanças climáticas (ANEEL, 2020). Assim, a adoção da microgeração fotovoltaica se alinha tanto com interesses econômicos quanto com a responsabilidade ambiental.

A regulamentação da ANEEL para o sistema de compensação de energia também permite que unidades consumidoras sob o mesmo CPF ou CNPJ compartilhem os créditos gerados por uma única instalação fotovoltaica. Essa possibilidade é especialmente vantajosa para empresas com várias filiais ou consumidores residenciais com múltiplas propriedades, facilitando o aproveitamento da energia excedente (ANEEL, 2020). Com o prazo de validade dos créditos estabelecido em 60 meses, o sistema oferece flexibilidade e gestão eficiente para os consumidores, permitindo o uso estratégico da energia ao longo do tempo (Santos, 2016). Esse modelo tem estimulado o crescimento da microgeração como uma alternativa econômica e sustentável.

Os avanços tecnológicos no setor fotovoltaico também contribuem para a expansão da microgeração. O desenvolvimento de células fotovoltaicas de maior eficiência, como as de silício monocristalino e as perovskitas, têm aumentado a capacidade de geração dos sistemas, o que torna a tecnologia mais acessível e atraente (Fontes, 2018). Estudos mostram que esses novos materiais podem melhorar a eficiência e a durabilidade dos sistemas fotovoltaicos, tornando a microgeração uma opção cada vez mais competitiva em termos de custo-benefício, especialmente em um cenário de queda nos preços dos equipamentos e de melhorias nas políticas de incentivo (Silva, 2015).

2.1 Viabilidade ambiental e redução de custos

A microgeração de energia fotovoltaica tem se mostrado uma alternativa eficaz para promover a sustentabilidade e reduzir os custos com eletricidade. Essa tecnologia permite que residências e pequenos negócios gerem sua própria energia a partir da luz solar, aproveitando uma fonte renovável e abundante. A adoção de sistemas fotovoltaicos não apenas diminui a dependência de fontes não-renováveis, como também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se às metas globais de mitigação das mudanças climáticas (Almeida, 2018).

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tem implementado regulamentações que incentivam a microgeração, destacando-se a Resolução Normativa nº 482, de 2012. Essa norma introduziu o sistema de compensação de energia, que permite que os consumidores injetem o excedente gerado na rede elétrica e utilizem os créditos para abater o valor da conta de luz em períodos de menor geração (Santos, 2016). Essa estrutura regulatória facilitou a adesão à microgeração, tornando-a uma alternativa financeiramente viável e atraente para muitos consumidores.

Os benefícios econômicos da microgeração fotovoltaica são notáveis. A energia gerada e utilizada na própria unidade de consumo reduz a necessidade de compra de eletricidade da rede, levando a uma diminuição significativa nas despesas mensais com energia (Cabral, Torres e Senna, 2013). Além disso, a possibilidade de acumular créditos pela energia excedente gerada proporciona maior previsibilidade nas contas de luz, permitindo que os consumidores planejem melhor seus gastos e invistam em outras áreas de suas vidas.

A sustentabilidade ambiental é outro aspecto fundamental da microgeração. A utilização de energia solar reduz a pressão sobre as hidrelétricas e termelétricas, que são fontes convencionais de geração de eletricidade e têm impactos significativos no meio ambiente (Silva, 2015). Ao promover a geração de energia a partir de fontes renováveis, a microgeração contribui para a preservação de recursos naturais e para a mitigação dos efeitos

das mudanças climáticas, ajudando o Brasil a se alinhar aos compromissos internacionais de redução de emissões.

Além de beneficiar o meio ambiente, a microgeração fotovoltaica também favorece a segurança energética do país. Com um sistema elétrico mais diversificado, que incorpora a geração distribuída, o Brasil se torna menos vulnerável a crises hídricas e flutuações nos preços de energia (ANEEL, 2020). Essa diversificação reduz a dependência de grandes usinas de geração e possibilita um suprimento energético mais estável e confiável, essencial para o crescimento econômico.

Os incentivos oferecidos pela ANEEL também têm promovido a inovação tecnológica no setor de energia solar. A crescente demanda por sistemas fotovoltaicos impulsiona o desenvolvimento de novos produtos e tecnologias, como células solares de alta eficiência e sistemas de armazenamento de energia, que tornam a microgeração ainda mais atraente e acessível (Fontes, 2018). Essa evolução tecnológica não apenas melhora o desempenho dos sistemas, mas também contribui para a redução dos custos de instalação e manutenção.

O impacto econômico da microgeração vai além das contas de energia. A indústria solar tem gerado empregos e promovido o crescimento de pequenas e médias empresas especializadas em instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos. De acordo com estudos, esse crescimento no setor energético pode resultar em milhares de novos postos de trabalho, estimulando a economia local e nacional (Nascimento, 2019). Assim, a microgeração se torna um motor de desenvolvimento econômico, além de uma solução ambiental.

A regulamentação da ANEEL também garante que a energia gerada na microgeração seja utilizada prioritariamente para autoconsumo, evitando a comercialização em larga escala (Santos, 2016). Essa medida é importante para manter o equilíbrio do sistema elétrico, assegurando que a microgeração contribua de forma sustentável e responsável. Além disso, o compartilhamento de créditos entre consumidores sob o mesmo CPF ou CNPJ, permitido pela regulamentação, facilita ainda mais a adoção da tecnologia, incentivando a

instalação de sistemas em condomínios e empresas com múltiplas filiais (ANEEL, 2020).

Assim, a microgeração de energia fotovoltaica representa uma estratégia eficaz para promover a sustentabilidade e reduzir custos no Brasil. A combinação de incentivos regulatórios, benefícios econômicos e avanços tecnológicos torna essa forma de geração de energia uma opção viável para muitos brasileiros. Com o aumento da conscientização sobre a importância da sustentabilidade e a busca por alternativas energéticas mais limpas, a microgeração fotovoltaica tem o potencial de se tornar uma peça fundamental na transformação da matriz energética do país, contribuindo para um futuro mais sustentável e resiliente.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo baseia-se em uma análise técnica detalhada e na avaliação econômica da viabilidade de uma usina fotovoltaica de microgeração com capacidade instalada de 75 kW, implementada em uma fazenda com o objetivo de suprir a demanda energética de um supermercado. A abordagem foi conduzida em etapas, abrangendo desde a coleta e análise de dados técnicos sobre a geração de energia projetada até uma análise de custo-benefício e o uso de indicadores econômicos para avaliar a viabilidade financeira do projeto.

Inicialmente, a coleta de dados focou-se nas especificações dos equipamentos e nas características ambientais da localização da usina. Os módulos fotovoltaicos utilizados foram da marca Jinko, com capacidade individual de 530 W, totalizando a potência instalada de 75 kW. A escolha desses módulos foi fundamentada na sua alta eficiência e no coeficiente térmico positivo, que garantem um desempenho satisfatório mesmo em variações de temperatura. Além disso, a tolerância de potência dos módulos foi considerada, um fator essencial para assegurar que a geração de energia não seja subestimada. O inversor selecionado foi o Growatt de 75 kW, que desempenha a função crítica de converter a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada, possibilitando o uso direto da energia pelo supermercado. A seleção do inversor baseou-se em sua capacidade de suportar a carga total dos

módulos e em sua eficiência elevada, minimizando perdas durante o processo de conversão.

A localização geográfica da fazenda foi um elemento decisivo na projeção da geração de energia, sendo considerada uma média diária de irradiação solar de 5,15 horas de pico. Esse valor foi obtido com base em normativas regionais e reflete as condições solares específicas do local de instalação, incluindo fatores como latitude, altitude e orientação dos painéis. Estes elementos são cruciais para estimar a geração mensal esperada, estabelecida em 13.500 kWh, um volume considerado adequado para atender à demanda energética do supermercado. Na projeção de geração, foram incluídos fatores de perdas residuais de aproximadamente 20%, correspondentes a ineficiências típicas do sistema, como sombreamento eventual, acúmulo de poeira e outras condições adversas que impactam a performance dos módulos.

Para a análise econômica, foi realizada uma avaliação detalhada do custo-benefício, envolvendo o levantamento do investimento inicial e a projeção dos custos operacionais ao longo da vida útil do projeto. O investimento inicial abrange os custos dos módulos fotovoltaicos, do inversor, das estruturas de suporte, cabeamento, além dos custos associados à instalação e comissionamento da usina. Esses valores foram obtidos a partir da proposta comercial, que forneceu uma estimativa de mercado, e foram ajustados conforme a realidade do setor. A projeção de custos de manutenção foi realizada considerando práticas usuais para sistemas fotovoltaicos, incluindo inspeções periódicas, limpeza dos módulos e manutenção preventiva e corretiva. O custo de manutenção foi distribuído ao longo do tempo em intervalos semestrais, enquanto o inversor, por sua vida útil mais curta, foi considerado para substituição após um período entre 10 a 15 anos. Esses custos são essenciais para garantir a continuidade e a eficiência da operação da usina.

A vida útil dos módulos foi considerada em 25 anos, um prazo amplamente aceito e respaldado por garantias dos fabricantes. A durabilidade desses módulos é fundamental para o cálculo do retorno de investimento, uma vez que quanto mais longa a vida útil, maior será o período de economia gerada. Em contrapartida, o inversor, por apresentar uma vida útil mais curta, representa

um ponto de atenção e demanda planejamento de substituição ou atualização tecnológica ao longo do ciclo de vida da usina.

A análise econômica comparativa foi realizada a partir dos indicadores financeiros de retorno do investimento, sendo o período de retorno (payback) e o retorno sobre o investimento (ROI) os principais instrumentos aplicados. O cálculo do payback permite determinar o tempo necessário para que o supermercado recupere o valor investido a partir das economias obtidas na conta de energia elétrica. Este indicador é fundamental para avaliar a viabilidade do projeto em termos de liquidez e segurança financeira. O ROI, por sua vez, foi utilizado para medir a rentabilidade total do investimento, considerando o lucro líquido gerado pelo sistema em relação ao montante investido. Esse indicador fornece uma visão clara do ganho econômico e permite comparar o projeto com outras alternativas de investimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A instalação da usina fotovoltaica de 75 kW constitui uma medida estratégica para o supermercado objeto deste estudo, que visa a redução expressiva de custos operacionais por meio da substituição parcial ou total do consumo de energia elétrica convencional pela energia solar gerada localmente. A projeção de geração mensal de aproximadamente 13.500 kWh revela que o sistema é capaz de suprir uma parte significativa da demanda energética do estabelecimento, resultando em uma economia direta e significativa nas despesas com eletricidade.

Com uma tarifa média de R\$ 0,70 por kWh, a economia mensal estimada atinge R\$ 9.450, totalizando uma economia anual de aproximadamente R\$ 113.400, conforme ilustrado na Tabela 1. Esses valores demonstram a autonomia proporcionada pela geração distribuída, mitigando os impactos das variações tarifárias impostas pelo mercado energético brasileiro, especialmente as bandeiras tarifárias adicionais.

Nos períodos de bandeira vermelha, nos quais os custos de energia aumentam consideravelmente, a autossuficiência energética garante maior

previsibilidade financeira e protege o supermercado das oscilações de custo impostas pelo fornecimento convencional. Tal benefício permite, portanto, um planejamento orçamentário mais seguro e eficiente, assegurando que os custos operacionais sejam mantidos sob controle ao longo do tempo.

Tabela 1: Projeção de Economia Anual de Energia

Item	Valor
Consumo médio mensal (kWh)	13.500
Tarifa média (R\$/kWh)	0,70
Economia mensal (R\$)	9.450
Economia anual (R\$)	113.400

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A análise de viabilidade econômica é reforçada pela avaliação dos indicadores de payback e retorno sobre investimento (ROI). O investimento inicial estimado para a instalação do sistema é de R\$ 500.000. Considerando a economia anual, o payback do projeto é calculado em aproximadamente 4,4 anos, conforme mostrado na Tabela 2.

Esse retorno em um período relativamente curto é vantajoso, pois o sistema possui uma vida útil projetada de aproximadamente 25 anos para os módulos fotovoltaicos, o que significa que, após o payback, o sistema continuará gerando economia líquida. O ROI, calculado em 22,68%, reforça a rentabilidade do investimento, indicando que a instalação do sistema fotovoltaico é economicamente viável e representa uma aplicação eficiente de capital para o supermercado.

Tabela 2: Cálculo do Payback e Retorno sobre o Investimento (ROI)

Item	Valor
Custo total de instalação (R\$)	500.000
Economia anual (R\$)	113.400
Payback estimado (anos)	4,4
Retorno sobre Investimento (ROI) (%)	22,68%

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A análise da viabilidade econômica também considera os custos operacionais e de manutenção, elementos fundamentais para o cálculo preciso do retorno financeiro. Embora os custos de manutenção para um sistema fotovoltaico sejam relativamente baixos, incluem despesas com inspeções periódicas, manutenção preventiva e eventuais reparos, especialmente no inversor, que possui uma vida útil menor em comparação aos módulos.

A Tabela 3 detalha esses custos, estimados em R\$ 10.000 anuais. Ainda assim, o saldo econômico continua extremamente favorável, dado que a economia anual gerada pelo sistema supera em larga escala as despesas de manutenção, garantindo que a viabilidade financeira do projeto seja mantida ao longo dos anos.

Tabela 3: Projeção de Custos de Manutenção e Operação Anuais

Item	Custo Anual (R\$)
Manutenção preventiva	2.500
Manutenção corretiva	1.500
Inspeções periódicas	1.000
Substituição de componentes	5.000
Total anual	10.000

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Além dos benefícios econômicos diretos, a instalação de uma usina fotovoltaica agrega valor intangível ao estabelecimento, posicionando-o como um negócio ambientalmente responsável. Essa postura é cada vez mais valorizada pelos consumidores, o que pode gerar uma diferenciação no mercado e fortalecer a imagem da marca, atraindo um público que privilegia empresas alinhadas a práticas sustentáveis. O uso de fontes de energia limpa também contribui para a redução da pegada de carbono do supermercado, destacando-o como um exemplo de responsabilidade social e ambiental.

A geração mensal de aproximadamente 13.500 kWh reduz a dependência da energia convencional, que sofre flutuações tarifárias frequentes devido a fatores externos, como crises hídricas e variações na demanda sazonal. Tal configuração possibilita que o supermercado obtenha uma economia mensal consistente e previsível, permitindo um planejamento financeiro eficiente. Em

contextos de bandeiras tarifárias elevadas, como as bandeiras vermelhas, a usina solar atua como uma barreira de proteção econômica, amortizando os aumentos de custo e oferecendo um diferencial de estabilidade. Estudos como o de Pinho e Galhardo (2021) apontam que a autossuficiência energética é estratégica para negócios comerciais, pois proporciona maior controle orçamentário, especialmente em atividades intensivas em energia.

A previsibilidade financeira proporcionada pela usina fotovoltaica é essencial para setores com margens de lucro controladas, como o supermercadista. A substituição de parte do consumo de energia tradicional pela geração solar confere ao supermercado uma redução nos custos operacionais fixos e uma maior proteção contra oscilações econômicas externas, o que é crítico em períodos de instabilidade econômica.

Segundo Santos e Silva (2019), essa independência tarifária se traduz em um ativo econômico tangível, pois as despesas com energia são estabilizadas ao longo do tempo, permitindo ao supermercado consolidar sua competitividade por meio da preservação das margens operacionais. Dessa forma, a autossuficiência energética posiciona a usina solar não apenas como um fator de economia direta, mas como uma estratégia de blindagem financeira, que fortalece a resiliência econômica da operação do supermercado diante das flutuações de mercado.

A análise do retorno sobre o investimento (ROI) e do período de payback é crucial para confirmar a viabilidade econômica da instalação. O custo inicial de R\$ 500.000 foi projetado com um retorno em aproximadamente 4,4 anos, um prazo breve considerando a vida útil média de 25 anos dos módulos fotovoltaicos. De acordo com Mello e Azevedo (2021), um período de retorno inferior a cinco anos para instalações fotovoltaicas é altamente atrativo em contextos comerciais, pois assegura uma economia líquida após o payback, convertendo-se em lucro operacional. Esse ROI positivo, estimado em 22,68%, reforça a capacidade da usina fotovoltaica de gerar benefícios econômicos consistentes, justificando o investimento inicial. Em uma análise de longo prazo, essa economia líquida maximiza a rentabilidade da operação do supermercado,

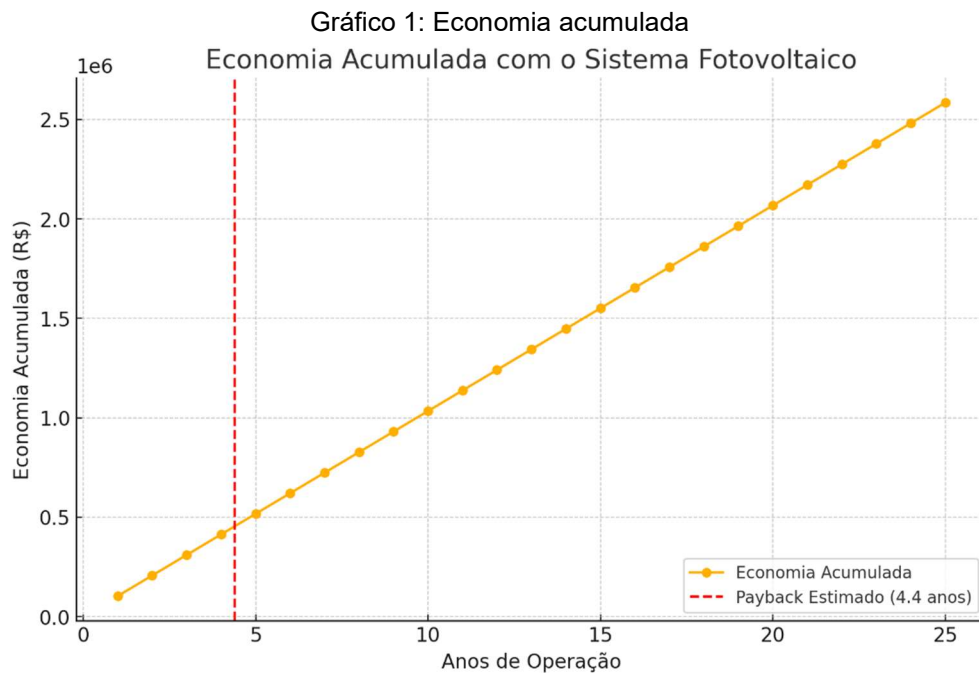
consolidando a energia solar como um ativo econômico de alta relevância no setor supermercadista.

Tabela 4: Impacto Econômico do Sistema Fotovoltaico

Item	Valor (R\$)
Custo de instalação	500.000
Economia anual com energia	113.400
Manutenção e operação anual	10.000
Economia líquida anual	103.400
Retorno estimado sobre investimento (ROI)	22,68%
Período de payback (anos)	4,4

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O gráfico 1 demonstra a evolução da economia financeira acumulada ao longo de 25 anos de operação do sistema fotovoltaico. A análise considera uma economia anual estimada de R\$ 113.400, descontados os custos operacionais médios de R\$ 10.000 por ano, resultando em uma economia líquida anual de R\$ 103.400. Destaca-se o ponto de payback em aproximadamente 4,4 anos, indicado por uma linha vertical, que marca o momento em que o investimento inicial de R\$ 500.000 é completamente recuperado. A partir desse marco, o sistema começa a gerar economia líquida para o supermercado, evidenciando a atratividade financeira do projeto.



O payback em 4,4 anos é notavelmente curto para sistemas dessa escala, considerando que os módulos fotovoltaicos possuem uma vida útil média de 25 anos. Isso significa que o supermercado poderá usufruir de aproximadamente 20 anos de economia líquida acumulada, totalizando mais de R\$ 2 milhões ao final do período. Adicionalmente, o gráfico demonstra a estabilidade da economia gerada, protegendo o empreendimento das oscilações tarifárias do mercado de energia elétrica convencional. Esses resultados ressaltam a relevância de sistemas fotovoltaicos como uma estratégia financeira sólida e sustentável para empresas do setor comercial.

A comparação entre os custos da energia solar e os das fontes convencionais destaca a vantagem da energia fotovoltaica em termos de estabilidade e custo total de propriedade. Diferente de fontes como carvão, gás natural e petróleo, sujeitas a instabilidades geopolíticas e volatilidade de preços, a energia solar possui um custo fixo de instalação, sem oscilação subsequente nos custos operacionais. Como destaca Ribeiro e Lima (2022), essa estabilidade tarifária é uma vantagem competitiva para setores que buscam previsibilidade econômica. A manutenção da usina fotovoltaica é relativamente baixa, envolvendo inspeções periódicas e eventuais reparos no inversor, cuja vida útil

é inferior à dos módulos. Esse baixo custo de manutenção torna a energia solar uma opção economicamente eficiente a longo prazo, permitindo ao supermercado aproveitar uma fonte de energia praticamente gratuita após o período de amortização do investimento.

Em termos de impacto ambiental, a implementação da usina fotovoltaica contribui para uma redução significativa das emissões de carbono, alinhando-se a políticas ambientais globais e nacionais. A substituição da energia convencional pela energia solar reduz a pegada de carbono da operação do supermercado, mitigando a dependência de combustíveis fósseis e diminuindo o impacto ambiental associado ao setor supermercadista. O estudo de Soares et al. (2021) evidencia que sistemas de geração solar são uma das soluções mais eficazes para reduzir emissões de CO₂ em atividades comerciais. O supermercado, ao adotar uma prática sustentável como essa, consolida-se como uma empresa comprometida com a sustentabilidade, reforçando sua imagem no mercado como um estabelecimento que valoriza o meio ambiente. Esse fator é cada vez mais valorizado por consumidores que preferem apoiar empresas alinhadas a práticas sustentáveis.

Embora os resultados indiquem a viabilidade econômica do projeto e a significativa redução de custos com energia elétrica, é importante destacar as limitações inerentes ao sistema fotovoltaico, especialmente no que se refere às variações climáticas. A geração de energia solar depende diretamente da disponibilidade de radiação solar, que pode ser afetada por condições meteorológicas adversas, como períodos prolongados de chuva ou alta nebulosidade. Essas condições podem reduzir a eficiência do sistema, comprometendo a geração mensal prevista e, conseqüentemente, a economia esperada. Além disso, fatores sazonais, como mudanças no ângulo de incidência solar ao longo do ano, também podem impactar a produção de energia. Portanto, é crucial considerar essas variações ao projetar e operar o sistema, além de adotar estratégias de mitigação, como limpeza regular dos painéis e monitoramento contínuo do desempenho para identificar e corrigir rapidamente eventuais perdas.

5. CONCLUSÕES

A análise da viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica de 75 kW para suprir parte do consumo de energia de um supermercado confirma não apenas a significativa redução nos custos operacionais, mas também ressalta o papel estratégico da autossuficiência energética. Ao proporcionar maior independência em relação às oscilações tarifárias e às variações de mercado das fontes não-renováveis, o projeto oferece ao supermercado estabilidade financeira e vantagens competitivas, consolidando-se como uma solução econômica e sustentável para o setor comercial.

Além dos benefícios econômicos, a implementação de sistemas fotovoltaicos reforça o compromisso ambiental da empresa, promovendo uma expressiva redução na pegada de carbono e incentivando o uso de fontes limpas e renováveis. Essa abordagem também gera impactos sociais positivos, como a criação de empregos no setor de energia renovável, especialmente em áreas de instalação, manutenção e inovação tecnológica. A adoção de sistemas solares contribui para o cumprimento das metas ambientais nacionais e internacionais, alinhando-se a políticas de redução de emissões de gases de efeito estufa, como as estabelecidas pelo Acordo de Paris.

Com base nos resultados apresentados, recomenda-se expandir este modelo para outros setores de alta demanda energética, como indústrias, hospitais e centros educacionais, que podem se beneficiar tanto dos aspectos econômicos quanto dos impactos sustentáveis dessa tecnologia. Além disso, é aconselhável priorizar regiões com maior incidência solar, onde o desempenho dos sistemas fotovoltaicos pode ser otimizado, ampliando ainda mais os ganhos financeiros e ambientais. Estudos futuros podem explorar essas aplicações, bem como a integração com outras fontes renováveis, como energia eólica, para diversificar ainda mais a matriz energética.

A geração solar, portanto, apresenta-se como uma solução robusta, economicamente viável e socialmente relevante, com potencial de expansão e inovação. Ao integrar práticas sustentáveis e economia, os sistemas fotovoltaicos não só fortalecem a eficiência operacional das empresas, mas

também contribuem para o desenvolvimento social e ambiental, promovendo um futuro mais sustentável para o setor energético.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. F. A energia solar fotovoltaica no Brasil: análise de viabilidade econômica. *Revista Brasileira de Energia Renovável*, v. 3, n. 1, p. 45-58, 2018.

ANEEL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Dispõe sobre as condições gerais de acesso ao sistema de distribuição de energia elétrica. Brasília, 2012.

ANEEL. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e regulamenta a microgeração e minigeração distribuída. Brasília, 2015.

ANEEL. Relatório Anual de 2020. Brasília: ANEEL, 2020.

CABRAL, T. M.; TORRES, F. A.; SENNA, C. F. O potencial da energia solar no Brasil: desafios e oportunidades. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 9, n. 2, p. 127-140, 2013.

FONTES, D. M. Tecnologia de energia solar: tendências e inovações. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 5, n. 2, p. 101-115, 2018.

MELLO, R. M.; AZEVEDO, J. F. Sustentabilidade e eficiência energética: uma análise de práticas em supermercados. *Revista de Administração e Negócios*, v. 22, n. 4, p. 50-66, 2021.

NASCIMENTO, L. A. O mercado de energia solar fotovoltaica no Brasil: uma análise da evolução e perspectivas. *Journal of Renewable Energy Research*, v. 10, n. 4, p. 1857-1870, 2019.

PINHO, L. S.; GALHARDO, M. R. Autossuficiência energética e suas implicações econômicas. *Revista de Políticas Energéticas*, v. 15, n. 1, p. 112-126, 2021.

SANTOS, A. C. O sistema de compensação de energia elétrica: um estudo sobre a regulamentação da microgeração no Brasil. *Revista de Política Energética*, v. 4, n. 2, p. 57-71, 2016.

SANTOS, E. S.; SILVA, M. R. Autonomia tarifária e seus impactos na competitividade de empresas. *Journal of Business Management*, v. 8, n. 2, p. 90-104, 2019.

SILVA, R. P. Sustentabilidade e energia: a importância da geração distribuída. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento*, v. 15, n. 1, p. 20-34, 2015.



SOARES, F. R.; VIEIRA, A. L.; BARBOSA, R. C. Energias renováveis e suas contribuições para a sustentabilidade: um estudo sobre a energia solar. Revista de Sustentabilidade e Inovação, v. 5, n. 3, p. 145-160, 2021.

RIBEIRO, T.; LIMA, C. A. Análise dos custos da energia solar em comparação com fontes convencionais. Revista Brasileira de Energia Solar, v. 6, n. 2, p. 30-45, 2022.