

Viabilidade da implementação de energia solar fotovoltaica na indústria de laticínios: uma análise técnica e econômica

RESUMO – Este estudo visa avaliar a viabilidade da adoção de energia solar fotovoltaica como fonte de energia renovável na indústria de laticínios. Apesar do crescente interesse por energia renovável, há uma escassez de estudos específicos que avaliem a viabilidade econômica e técnica da implementação desse tipo de energia na indústria de laticínios. A análise de viabilidade econômica abordará o retorno sobre investimento (ROI), considerando economia de energia elétrica, custos de instalação, manutenção e operação do sistema e potenciais incentivos fiscais ou subsídios. A viabilidade técnica considera os aspectos relacionados à localização do empreendimento, condições climáticas, capacidade de geração de energia solar e consumo energético da indústria de laticínios. Os resultados fornecem *insights* valiosos a gestores da indústria de laticínios, a partir da viabilidade técnica e econômica para a implantação da tecnologia fotovoltaica. O estudo pode promover práticas sustentáveis ao contribuir com a aplicação de energias renováveis no setor industrial.

Termos para indexação: energia solar fotovoltaica, indústria de laticínio, sustentabilidade, viabilidade.

Feasibility of implementing photovoltaic solar energy in the dairy industry: a technical and economic analysis

ABSTRACT – The study aims to assess the feasibility of adopting photovoltaic solar energy as a renewable energy source in the dairy industry. Despite the growing interest in renewable energy, there is a shortage of specific studies evaluating the economic and technical viability of implementing this type of energy in the dairy industry. The economic feasibility analysis will address return on investment (ROI), considering electricity savings, installation, maintenance, and operation costs of the system, as well as potential tax incentives or subsidies. Technical feasibility considers aspects related to the location of the facility, climatic conditions, solar energy generation capacity, and energy consumption of the dairy industry. The results provide valuable insights for dairy industry managers regarding both the technical and economic feasibility of photovoltaic technology implementation. The study can promote sustainable practices by contributing to the application of renewable energies in the industrial sector.

Index terms: photovoltaic solar energy, dairy industry, sustainability, viability.

Mari Aurora Favero Reis 

Universidade do Contestado, Concórdia, SC, Brasil. E-mail: mariaaurorafavero@gmail.com

Marcio Joel Engel 

Universidade do Contestado, Concórdia, SC, Brasil. E-mail: marcio.ambiotop@gmail.com

Paulo Reis Junior 

Universidade do Contestado, Concórdia, SC, Brasil. E-mail: sr.reis.paulo@gmail.com

Deise Lourdes Godoi Cardoso 

Universidade do Planalto Catarinense, Lages, SC, Brasil.
E-mail: deisecardoso@uniplacslages.edu.br

Jacir Favretto 

Universidade do Contestado, Concórdia, SC, Brasil. E-mail: jfavretto@unc.br

Cristina Keiko Yamaguchi 

Universidade do Planalto Catarinense, Lages, SC, Brasil. E-mail: criskyamaguchi@gmail.com

 Autor correspondente

Recebido em
22/05/2024

Aprovado em
23/07/2025

Publicado em
28/12/2025

Como citar

REIS, M.A.F.; ENGEL, M.J.; REIS JUNIOR, P.; CARDOSO, D.L.G.; FAVRETTTO, J.; YAMAGUCHI, C.K. Viabilidade da implementação de energia solar fotovoltaica na indústria de laticínios: uma análise técnica e econômica. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v.42, e27661, 2025. DOI: <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2025.v42.27661>.



INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia elétrica, impulsionada pelo desenvolvimento industrial e pelo aumento da população, tem levado a uma busca incessante por fontes de energia renováveis e sustentáveis. O setor industrial enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade e eficiência energética, especialmente diante de crescentes custos com energia elétrica e pressão para reduzir o impacto ambiental das operações industriais (Liu et al., 2020).

A indústria de laticínios desempenha papel fundamental na economia global por sua representação nos sistemas alimentares, na criação de empregos e na geração de renda (Smith et al., 2022). No sistema alimentar, é responsável por fornecer nutrientes essenciais, como 49% do cálcio e 24% da vitamina B2 consumidos globalmente (Smith et al., 2022). No entanto, seus processos intensivos em energia — refrigeração, pasteurização e embalagem — representam custos operacionais elevados e incluem uma significativa pegada ambiental (Malliaroudaki et al., 2023).

Essa realidade alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular o ODS 7, que visa “assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos” (Nações Unidas, 2025). Esse Objetivo está diretamente relacionado aos demais, pois acesso a fontes de energia está ligado a direitos humanos fundamentais (Noschang & Scheleider, 2018).

Já os problemas socioambientais decorrentes das mudanças climáticas frequentemente estão associados às emissões de CO₂, juntamente com o aumento acentuado dos preços da energia. Para corrigir esses cenários, é necessário reorganizar o mix energético de cada país, reduzindo a participação de energia não renovável e aumentando a de renovável (Mufutau Opeyemi, 2021). A matriz energética global ainda é dominada por fontes não renováveis — 84%

de combustíveis fósseis em 2019 —, exigindo a reestruturação dos mixes energéticos nacionais com maior participação de renováveis para um cenário sustentável (Mufutau Opeyemi, 2021).

No Brasil, a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira atingiu 49% em 2020 e 51% de fontes não renováveis (Araújo, 2023). Desse modo, a matriz energética brasileira encontra-se cada vez mais diversificada, com fontes renováveis dominando sua produção de eletricidade (Freire et al., 2023). O uso de fontes de energia renováveis, como eólica, solar e cogeração no Brasil, aumentou significativamente para atender às metas do Acordo de Paris e diversificar a matriz energética do país, tornando-a menos vulnerável aos impactos das mudanças climáticas (Lima et al., 2020).

O Brasil se destaca na produção de energia elétrica, com 83% de fontes renováveis, enquanto a média global fica em apenas 22% (Oliveira et al., 2022). Entre as fontes renováveis de energia, houve um crescimento exponencial da energia solar fotovoltaica (Cruz et al., 2020), com destaque em propriedades na agricultura familiar com a possibilidade no uso da linha de financiamento Pronaf Eco (Feitosa et al., 2022).

A produção energética brasileira é muito diferente da mundial, pois no Brasil há potencial geração por fontes renováveis. A matriz energética brasileira tem como principal fonte a hidroeletricidade, sensível à ocorrência de problemas hídricos, fato este que vem mostrando uma clara necessidade de medidas para promover a diversificação e o aumento na produção de energia elétrica por outras fontes (Giovanini et al., 2020).

Neste contexto, a energia solar emerge como solução estratégica, especialmente após a Resolução Normativa nº 482/2012 da Aneel (2012), que incentivou sistemas de mini e microgeração distribuídas (Souza & Machado, 2016). A possibilidade de compartilhar com a rede contribuiu para a expansão da matriz elétrica

fotovoltaica, uma vez que a normativa contribuiu para reduzir algumas barreiras naturais à entrada de sistemas fotovoltaicos. Oportunizou, também, que a tecnologia seja tema de pesquisa no meio acadêmico, especialmente nas engenharias (Reis et al., 2020; Schönell et al., 2020; Santos et al., 2024).

A desigualdade na geração global de eletricidade diminuiu com a heterogeneidade entre regiões e países, e o PIB é a principal força motriz da geração global de eletricidade, estando intrinsecamente ligada à demanda por fontes eficientes e sustentáveis (Xu & Gao, 2025). Na gestão financeira empresarial, a adoção de soluções energéticas sustentáveis é fundamental para garantir competitividade no mercado, melhorando processos, produtos e resultados operacionais. A instalação de usinas de energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma alternativa vantajosa, podendo reduzir significativamente os custos com energia elétrica (Griebeler et al., 2016).

Diante disso, este estudo avalia a viabilidade da implementação de energia solar fotovoltaica como fonte renovável na indústria de laticínios.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa caracteriza-se como estudo de caso que integra abordagens qualitativas e quantitativas para análise técnico-econômica de uma usina fotovoltaica destinada à promoção da sustentabilidade no Laticínio Fazenda Velha. O objeto de estudo está localizado na zona rural do município de Vargem Bonita (SC), e o estudo apresenta as seguintes etapas metodológicas:

Pesquisa Bibliográfica

Realizou-se uma revisão da literatura acadêmica e técnica sobre energia solar fotovoltaica, com ênfase em sua aplicação industrial, particularmente na indústria de

laticínios. Foram analisados estudos de caso, artigos científicos e relatórios com abordagem na viabilidade técnica e econômica de implementação de energia solar fotovoltaica em operações industriais comparáveis. Essa etapa permitiu estabelecer parâmetros de referência e identificar melhores práticas para aplicação no objeto de estudo.

Levantamento de Dados

Dados sobre o consumo de energia elétrica da indústria do Laticínio Fazenda Velha foram coletados de modo a avaliar a demanda energética necessária para abastecimento do Laticínio. Os dados foram coletados em visita realizada ao cliente, quando foi solicitada a apresentação da fatura de energia elétrica dos últimos doze meses. A partir desses dados, calculou-se uma média mensal de consumo, a fim de dimensionar o sistema proposto.

Também foram obtidas informações sobre as características físicas e operacionais das instalações da indústria de laticínios, incluindo área disponível para a instalação de painéis solares, orientação solar e inclinação dos telhados, entre outros aspectos. Com base nos dados coletados em campo, solicitou-se a representantes comerciais de empresas fornecedoras da tecnologia uma avaliação orçamentária, a fim de calcular a relação custo-benefício do Laticínio. Essa pesquisa mercadológica foi fundamental na análise econômica e cálculo da viabilidade de implantação.

Análise Técnica

Utilizou-se software especializado para avaliar o potencial de geração de energia solar fotovoltaica nas instalações da indústria de laticínios. Foram considerados fatores como irradiação solar local, eficiência dos painéis solares, sombreamento, entre outros parâmetros,

com a finalidade de estimar a capacidade de geração do sistema fotovoltaico.

Análise Econômica

A partir da avaliação detalhada dos custos envolvidos na implementação de um sistema de energia solar fotovoltaica — incluindo custos de equipamentos, instalação, manutenção e operação —, calculou-se o tempo de retorno. No cálculo do retorno sobre investimento (ROI) foi considerado o período de *payback* e outros indicadores financeiros relevantes para determinar a viabilidade econômica do projeto.

Para a realização dos cálculos do tempo de retorno do investimento - *Payback* e Rentabilidade, foram utilizadas as seguintes equações (Nayak et al., 2014; Reis et al., 2020):

$$\text{PAYBACK (meses)} = \frac{(\text{investimento R\$})}{(\text{Energia gerada } \frac{\text{kW}}{\text{mês}})} \times \text{valor da tarifa (R\$)} \quad (01)$$

e

$$\text{Rentabilidade} = \frac{(\text{Economia})}{(\text{Investimento})} \quad (02)$$

A partir das Equações 01 e 02 e dos dados coletados, foram efetuados os cálculos, os quais serão apresentados na seção 3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Objeto de estudo

Vargem Bonita localiza-se na Microrregião do Meio Oeste Catarinense (Figura 1), distante 430 km da capital Florianópolis. Possui uma área territorial de 299,807 km², população de 4.576 habitantes e densidade demográfica de 15,26 habitantes/km² (Brasil em números, 2023). O Laticínio Fazenda Velha está localizado na zona rural, às margens da BR 282, no Km 432, em funcionamento desde 2014, no município de Vargem Bonita.

A estrutura construída para abrigar a produção de produtos lácteos não apresenta característica apropriada para implantação de painéis solares, como pode ser observado



Figura 1. Mapa de localização do município de Vargem Bonita, SC.
Fonte: elaborado a partir de imagens do software QGIS (Moyroud & Portet, 2018).

na Figura 2 (A). Essa estrutura apresenta os seguintes problemas: (a) falta de suporte estrutural adequado para instalação das placas solares; (b) ausência de orientação para o norte, o que reduz o número de horas com incidência direta de radiação solar nas placas. Diante dessas limitações, verificou-se que a solução mais adequada seria a instalação dos painéis solares fotovoltaicos diretamente em suportes fixos no solo.

A principal vantagem de uma usina fotovoltaica instalada no solo consiste em sua flexibilidade e escalabilidade para a manutenção do sistema. Neste estudo, não foram avaliados possíveis impactos ambientais (Luo et al., 2023), como as alterações nas propriedades físicas e químicas do solo decorrentes do sombreamento causado pelas placas das usinas fotovoltaicas (Choi et al., 2020). Diferentemente das usinas fotovoltaicas instaladas em telhados ou outras estruturas elevadas, os sistemas em solo podem ser construídos em grandes áreas planas, permitindo uma instalação em larga escala. Outro aspecto relevante desse tipo de projeto refere-se aos custos com manutenção e operação (Peters & Madlener, 2017). A instalação em solo proporciona maior acessibilidade às placas para limpeza, inspeção e reparos, o que pode resultar na redução dos custos de manutenção ao longo do tempo.

As usinas fotovoltaicas em solo podem ser projetadas e otimizadas para maximizar a eficiência energética, considerando fatores como: a inclinação dos painéis solares, a orientação em relação ao Sol e o sombreamento (Figura 2, B). Essa otimização resulta em uma maior produção de eletricidade por área instalada. Portanto, a principal vantagem de uma usina fotovoltaica instalada em solo é sua capacidade de gerar eletricidade em larga escala de forma eficiente, flexível e economicamente viável, sem comprometer a estrutura existente do telhado.

A curva solar é utilizada para referência da incidência solar sobre os painéis fotovoltaicos, permitindo verificar os períodos de maior incidência. Segundo Villalva (2015), a instalação correta dos painéis fotovoltaicos deve considerar o movimento solar diário. Esse autor ainda ressalta que, para módulos solares fixos, sem um sistema de rastreamento solar, a orientação ideal no hemisfério Sul deve ser voltada para o norte geográfico. Não menos importante, quando ocorre a instalação de vários painéis solares, é necessário calcular corretamente a distância entre os módulos, de modo a evitar sombreamento, sendo este extremamente prejudicial ao bom desempenho dos sistemas fotovoltaicos.

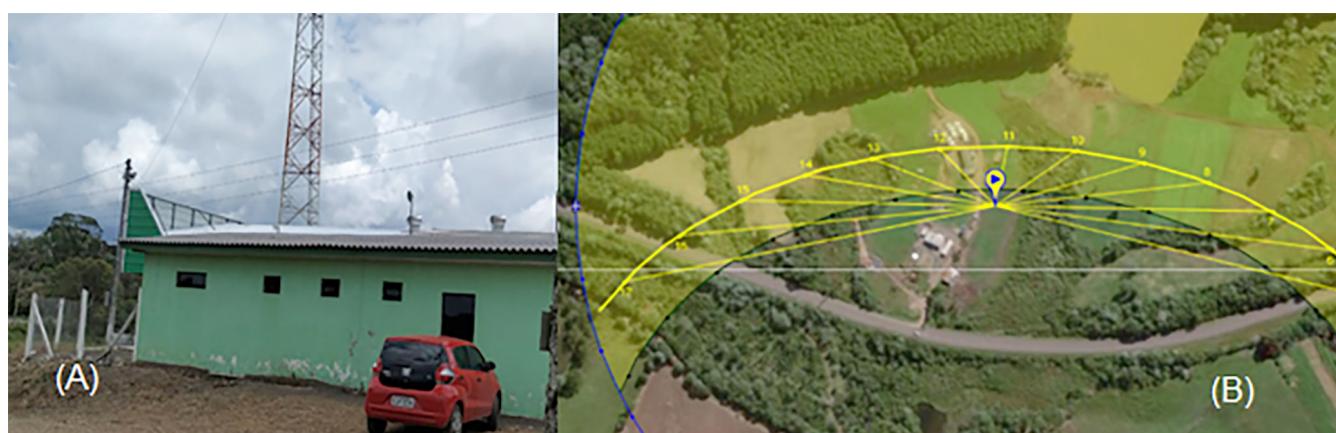


Figura 2. Local de estudo, com a representação da curva solar.

Fonte: elaborada a partir de SunEarthTools.com (2025).

Consumo energético do Laticínio Fazenda Velha

Estudo holandês propõe que a energia solar fotovoltaica na produção leiteira melhora a eficiência energética e a sustentabilidade, pois há redução significativa dos custos operacionais relacionados ao consumo de energia não renovável. Isso sugere que a energia solar fotovoltaica é uma solução eficaz para melhorar a eficiência energética e a sustentabilidade no setor leiteiro holandês (Moerkerken et al., 2021).

Tanto na Holanda quanto no Brasil, os ganhos em eficiência energética desencadeados por políticas governamentais são compensados pela tendência contínua de mecanização, com sistemas de ordenha especialmente automáticos resultando em menor eficiência energética. Certamente, essa foi a principal motivação para este estudo.

De modo a analisar a viabilidade para implantação do projeto fotovoltaico, neste estudo, há necessidade de analisar a média do consumo anual de energia elétrica, adotando-se o período de outubro de 2018 até setembro de 2019. Constatou-se que o consumo médio mensal

no Laticínio é de 3.700 kWh, e que, nos meses de outubro a fevereiro, esse consumo fica abaixo da média anual, mas, nos meses subsequentes, ele encontra-se acima da média anual (Figura 3). Os dados mostram evidências para maior consumo nos meses de verão, justamente no período de maior radiação na região e maior produção de energia (Fonseca et al., 2020).

A Tabela 1 apresenta o custo financeiro mensal da unidade consumidora e os valores gastos com a energia. Os resultados com custo anual pagos à fornecedora da energia elétrica (CELESC) em 2019 foram de R\$ 31.525,42. Portanto, os valores evidenciam a importância da instalação de usina fotovoltaica para suprir o consumo energético.

Características do sistema fotovoltaico proposto ao Laticínio Fazenda Velha

Com base no orçamento para implantação do projeto fotovoltaico, este fornecerá energia suficiente para o abastecimento do Laticínio, que, em média, conforme descrito acima, tem um gasto médio de 3.700 kWh. O orçamento está fundamentado no consumo médio do estabelecimento, na tarifa aplicada pela

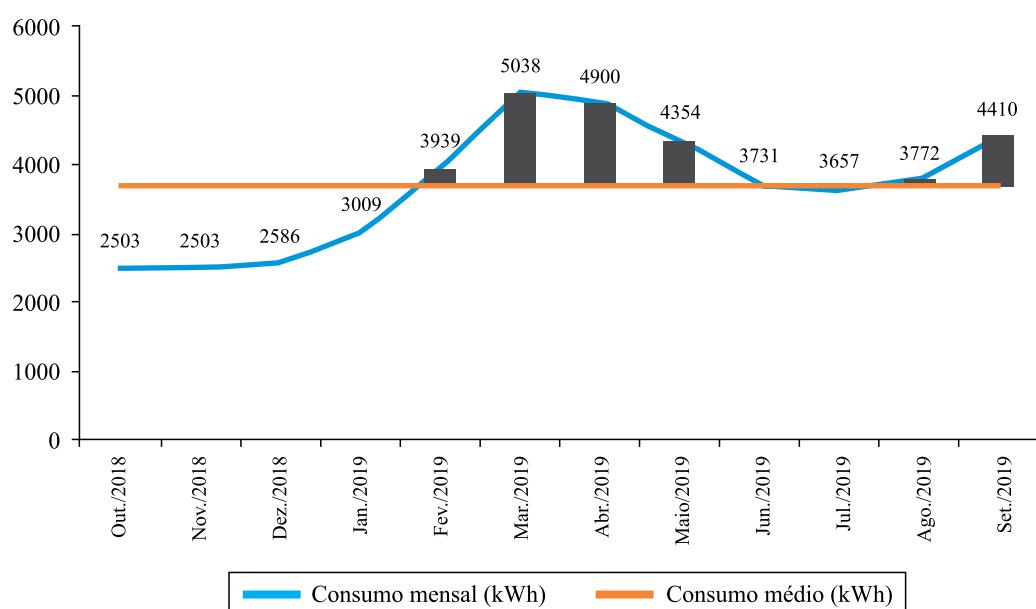


Figura 3. Histórico Anual do consumo de energia elétrica.

Tabela 1. Dados do Consumo de energia elétrica do Laticínio Fazenda Velha.

Mês	Consumo Mensal (kWh)	Custo Unitário (kWh)	Custo Mensal
Out./2018	2.503	R\$ 0,71	R\$ 1.777,13
Nov./2018	2.503	R\$ 0,71	R\$ 1.777,13
Dez./2018	2.586	R\$ 0,71	R\$ 1.836,06
Jan./2019	3.009	R\$ 0,71	R\$ 2.136,39
Fev./2019	3.939	R\$ 0,71	R\$ 2.796,69
Mar./2019	5.038	R\$ 0,71	R\$ 3.576,98
Abr./2019	4.900	R\$ 0,71	R\$ 3.479,00
Maio/2019	4.354	R\$ 0,71	R\$ 3.091,34
Jun./2019	3.731	R\$ 0,71	R\$ 2.649,01
Jul./2019	3.657	R\$ 0,71	R\$ 2.596,47
Ago./2019	3.772	R\$ 0,71	R\$ 2.678,12
Set./2019	4.410	R\$ 0,71	R\$ 3.131,10
Total	44.402	R\$	R\$ 31.525,42

concessionária, no local de implantação e no tipo de instalação a ser utilizado. Dessa forma, os dados fornecidos na fatura de energia elétrica permitiram que o orçamento fosse apresentado, requerendo uma área de implantação de 200 m² para cem módulos fotovoltaicos e outras estruturas.

Tais equipamentos possuem garantias de fabricação, sendo os módulos fotovoltaicos com 10 anos contra algum defeito de fabricação. Contam ainda com 25 anos de capacidade de geração (80% da inicial). Os painéis solares possuem processos de fabricação automatizados. Contam com certificações ISO 9001, ISO 014001 e sistema de gerenciamento OHSAS18001, além de outros certificados. Nesse projeto, serão utilizados equipamentos de ponta, disponíveis no mercado e com reconhecimento global, conforme avaliação realizada no segundo semestre de 2019 (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição dos painéis fotovoltaicos para valores em reais.

Características	Valores
Produção de energia recomendada kWh	3.700
Potência sugerida (Wp)*	34.000
Perdas aproximadas*	20,00%
Números de módulos*	100
Área necessária para instalação*	200 m ²

Conforme projeto apresentado por representante comercial, serão utilizados três inversores monofásicos de 10 kW com sistema Wi-Fi para monitoramento, fabricados de acordo com as normas brasileiras e certificados pelo Inmetro. O sistema possui índice de proteção IP65, que garante impermeabilidade ao produto contra jatos de água e poeira. Possui também proteção contra curto-circuito, sobrecarga, sobretensão, subtensão, sobrecorrente, e inversão de polaridade.

Inversores são peças fundamentais no sistema fotovoltaico, por se tratar de equipamentos eletrônicos que convertem a eletricidade de tensão e corrente — corrente contínua CC em corrente alternada CA —, sendo de importância para alimentar consumidores em corrente alternada de energia (Villalva, 2015). Para as estruturas de fixação dos painéis fotovoltaicos, serão utilizados tubos retangulares de aço galvanizado de alta durabilidade e soldados com eletrodos de aço galvanizado, aumentando assim a durabilidade contra corrosão.

A instalação de sistemas fotovoltaicos em solo apresenta vantagens significativas, especialmente no que diz respeito ao tamanho e à capacidade de expansão do projeto. Assim

entre os benefícios mais relevantes, destacam-se a modularidade e a adaptabilidade.

A modularidade do sistema, dimensionado para cem módulos distribuídos em 200 m², permite ampliações graduais conforme o aumento da demanda energética do Laticínio, sem a necessidade de um redimensionamento completo. Essa característica é reforçada por estudos que demonstram como topologias modulares em cascata multinível melhoram a eficiência e a flexibilidade dos sistemas fotovoltaicos (Xiao et al., 2015).

Já a adaptabilidade da estrutura em solo facilita futuras expansões, uma vantagem clara sobre os sistemas instalados em telhados, que são limitados pela área disponível. Além disso, a utilização de painéis bifaciais pode potencializar ainda mais a geração de energia. Por exemplo, em Dhaka, Bangladesh, a configuração ideal de uma fazenda solar bifacial inclinada produz 21,3% e 73,3% mais energia do que os sistemas monofaciais (tradicionais) e bifaciais verticais, respectivamente (Jahangir et al., 2022).

No entanto, a instalação em solo também apresenta limitações que devem ser consideradas. Uma delas é a exigência de espaço plano: no Brasil, cada 1 kWp adicional requer aproximadamente 7 m² de área, o que pode ser um obstáculo em propriedades rurais com terreno acidentado. Além disso, áreas agricultáveis podem se tornar inviáveis para a instalação de sistemas fotovoltaicos (Yadem Lamien & Farzaneh, 2025).

Outro fator limitante é o custo inicial, pois, embora o retorno sobre o investimento (*payback*) permaneça atrativo — entre três e cinco anos —, a expansão do sistema exige novos investimentos em inversores e infraestrutura elétrica. Adicionalmente, sistemas com potência acima de 75 kW estão sujeitos a tarifação diferenciada pela Aneel, o que pode reduzir a viabilidade econômica em grandes expansões (Aneel, 2021).

Apesar desses desafios, este estudo sugere que o dimensionamento atual é replicável para

indústrias com consumo entre 3.000 e 5.000 kWh/mês, como é o caso do Laticínio analisado.

Em regiões com maior irradiação solar, como o Nordeste brasileiro, ou para consumidores enquadrados no grupo A (tarifas mais altas), a viabilidade do projeto se mantém mesmo com até 30% menos área disponível.

Análise financeira do projeto

Para o projeto de implantação de painéis solares fotovoltaicos no Laticínio Fazenda Velha, foi realizada uma análise financeira para verificar os custos iniciais bem como os custos a longo prazo desse sistema. Conforme tabela abaixo, é possível verificar que o preço do kWh cobrado pela concessionária é de R\$ 0,71, e todo sistema fotovoltaico possui degradação de produção com o passar dos anos. Desse modo, nesse projeto a degradação ocorre a uma taxa de 0,80% ao ano. A projeção de troca de equipamento está no ano 15, quando deverá ocorrer a troca dos inversores, custo este avaliado em R\$ 1.500,00 cada (3x).

Nessa análise financeira, foi verificado o Valor Presente Líquido (VPL), que se constitui no somatório dos termos de um Fluxo de Caixa Descontado. Quanto maior o VPL, mais lucrativo será o projeto ou novo negócio. Também foi analisada a Taxa Interna de Retorno, ou TIR, que é a taxa de juros para a qual o VPL é nulo. Quanto maior a TIR, melhor e mais lucrativo será o projeto ou novo negócio. Pense na TIR como a taxa de juros que uma aplicação financeira precisaria render para ser tão lucrativa quanto o projeto ou novo negócio. Todos esses indicadores levam em conta a variação do capital no tempo, mas com diferentes aspectos relacionados ao projeto analisado (Silva & Fontes, 2005).

Como todo investimento, é necessário realizar análises. Quanto a esse projeto, verificou-se o custo mensal da energia elétrica proveniente da rede de distribuição local. Como a usina de energia fotovoltaica tem expectativa

Tabela 3. Custos envolvidos.

Características Financeiras	
Peço do kWh no ano 0	0,71
Degradação dos painéis (% a.a)	0,80%
Custo de manutenção (% a.a)	0,50%
Inflação projetada (% a.a)	6,00%
Ano de troca do inversor	15
Custo do inversor no ano 15	R\$ 1.500,00
Investimento concorrente (% a.a)	12%

de garantias para 25 anos de produção, período em que os custos e perdas envolvidas são minimizadas, com produção diária estimada em 112,12 kWh (3.410,27 kWh mensal). Portanto, o custo é estimado de 0,12 kWh, atualmente o Laticínio paga R\$ 0,71 kWh, e a economia no primeiro mês é de R\$ 2.642,49 com energia elétrica.

Tabela 4. Análise financeira para a aplicação da tecnologia.

Resultados	
Valor do investimento	R\$ 113.850,00
Economia já no primeiro mês	R\$ 2.642,89
Payback	3 anos
Valor presente líquido	R\$ 456.474,24
Taxa interna de retorno	50,52%
Geração estimada diária (kWh)	112,12
Geração estimada mensal (kWh)	3410,27
Geração estimada anual (kWh)	40923,22
Valor estimado do kWh com solar	R\$ 0,12

Após receber o orçamento e analisar todos esses cálculos, verifica-se que em três anos o projeto apresenta retorno sobre investimento, tendo o projeto um custo total de R\$ 113.850,00 para produção da energia necessária ao Laticínio, o que evidencia a viabilidade de implantação. Por ser um edifício rural, a rede é monofásica e, apesar dessa limitação, o estudo se mostrou viável para a instalação de uma usina fotovoltaica. O tempo de retorno se mostrou inferior aos estudos realizados em projetos

anteriores (Ludtke et al., 2016; Paines et al., 2018; Reis et al., 2020).

A tecnologia fotovoltaica proporciona acesso a importantes incentivos financeiros e tributários (Drumond Jr et al., 2021), como linhas de crédito facilitadas por instituições financeiras públicas e privadas, benefícios fiscais — incluindo reduções de ICMS, PIS e Cofins — sobre equipamentos e energia gerada, além da possibilidade de participação em leilões energéticos e parcerias institucionais. Como destacam Carstens & Cunha (2019), esses mecanismos são essenciais para fomentar a expansão dessa fonte renovável no Brasil. Complementarmente, Coelho et al. (2021) demonstram que incentivos financeiros bem estruturados podem mitigar riscos econômicos nas políticas voltadas a prosumidores (consumidores-geradores), aumentando significativamente a viabilidade dos projetos fotovoltaicos. Essa combinação de estímulos econômicos, regulamentação facilitada e capacitação tecnológica representa um caminho eficaz para acelerar a adoção da energia solar nos setores industrial e agrícola.

CONCLUSÃO

Neste estudo, foi possível verificar que com as alternativas para geração de energia elétrica no Laticínio Fazenda Velha, todas as alternativas devem ser consideradas. A análise de viabilidade técnica e econômica para a implantação da tecnologia fotovoltaica representa possibilidade de economia no estabelecimento em estudo. Os resultados apresentam retorno sobre o investimento em três anos, e, após esse período, pode-se estimar que outras partes da empresa podem se beneficiar, com a redução de custo ou a redução do valor do produto ou o aumento do *markup* de venda da produção.

Mesmo para investimento inicial de R\$ 113.850,00, valor considerado elevado para empresa de pequeno porte, os cálculos

apresentados demonstram que o kWh gerado pelos painéis solares fotovoltaicos é menor que o praticado pela concessionária. Quanto à localização do empreendimento, o estudo traz referência à percepção sobre os benefícios da geração fotovoltaica à rede de distribuição da energia, ao contribuir com a diminuição nas perdas de transmissão quando o consumidor está em propriedade rural. No caso do Laticínio, a maior demanda de energia é diária, quando as indústrias e comércios têm pico no consumo, justamente no período produtivo do sistema.

Conclui-se que ao adotar a energia solar, uma fonte renovável e limpa, a indústria de laticínios pode reduzir sua dependência de fontes energéticas convencionais (não renováveis), contribuindo simultaneamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a preservação ambiental.

Por sua vez, a análise integrada dos aspectos econômicos, técnicos e de sustentabilidade na análise da viabilidade da energia solar fotovoltaica na indústria de laticínios se alinha perfeitamente com os princípios da bioeconomia, que preconiza sistemas produtivos baseados no uso eficiente e sustentável dos recursos naturais. Dessa forma, a adoção dessas tecnologias renováveis pelo setor lácteo representa um passo estratégico na construção de uma economia mais resiliente e sustentável, combinando objetivos ambientais com ganhos competitivos.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL N° 1.000, de 7 de dezembro de 2021.** Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021100.html>>. Acesso em: 29 abr. 2025.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 414/2010:** atualizada até a REN 499/2012.

Brasília, 2012. 202p. Disponível em: <https://www.cmcruzeiro.sp.gov.br/prestacao/Res_ANEEL_414_2010_atual_REN_499_2012.pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

ARAÚJO, D.F.C. de. A dinâmica das energias renováveis na matriz energética brasileira no século XXI. **Revista Cerrados**, v.21, p.399-429, 2023. DOI: <https://doi.org/10.46551/rc24482692202316>.

BRASIL EM NÚMEROS: Brazil in figures. Rio de Janeiro: IBGE, v.31, 2023.

CARSTENS, D.D. dos S.; CUNHA, S.K. da. Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. **Energy Policy**, v.125, p.396-404, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.063>.

CHOI, C.S.; CAGLE, A.E.; MACKNICK, J.; BLOOM, D.E.; CAPLAN, J.S.; RAVI, S. Effects of revegetation on soil physical and chemical properties in solar photovoltaic infrastructure. **Frontiers in Environmental Science**, v.8, art.140, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00140>.

COELHO, E. de O.P.; AQUILA, G.; BONATTO, B.D.; BALESTRASSI, P.P.; PAMPLONA, E. de O.; NAKAMURA, W.T. Regulatory impact of photovoltaic prosumer policies in Brazil based on a financial risk analysis. **Utilities Policy**, v.70, art.101214, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101214>.

CRUZ, F.T.; ISIDORO, M.H.; FERNANDES, I.S. Descarte, reciclagem e logística reversa: análise do fim de vida útil dos painéis fotovoltaicos. **Brazilian Journal of Development**, v.6, p.73294-73309, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-693>.

DRUMOND JR, P.; CASTRO, R.D. de; SEABRA, J.A.E. Impact of tax and tariff incentives on the economic viability of residential photovoltaic systems connected to energy distribution network in Brazil. **Solar Energy**, v.224, p.462-471, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.034>.

FEITOSA, E.R.M.; NUNES, E.M.; ANDRADE, H.D. de; SCHNEIDER, S.; ROCHA, A.B. da. Nexus: agricultura familiar, energias renováveis e construção de mercados nos territórios rurais do Rio Grande do Norte. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.60, e238969, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.238969>.

FONSECA, J.E.F. da; OLIVEIRA, F.S. de; PRIEB, C.W.M.; KRENZINGER, A. Degradation analysis of a photovoltaic generator after operating for 15 years in southern Brazil. **Solar Energy**, v.196, p.196-206, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.086>.

FREIRE, A.Í.; SILVA, A.L. da; MELO NETO, J.J. de; FONTGALLAND, I.L. The electric energy production models and diversification of Brazilian energy matrix. **Revista**

- Interdisciplinar e do Meio Ambiente (RIMA)**, v.5, e200, 2023. DOI: <https://doi.org/10.52664/rima.v5.n1.2023.e200>.
- GIOVANINI, A.; ALMEIDA, H.J.F.; SAATH, K.C.O. Plataformas de financiamento P2P: análise da viabilidade econômica de sistemas distribuídos de energia solar fotovoltaica. **Textos de Economia**, v.23, p.1-27, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-8085.2020.e66845>.
- GRIEBELER, D.I.; CORASSINI, L.B.; CASTRO, S. da S.; RIBEIRO, K.M.; CERETTA, F.C. da C.; CRUZ, A.C. da. Análise para implantação de sistema fotovoltaico de geração de energia em uma agroindústria de Santo Cristo/RS. In: FÓRUM INTERNACIONAL ECOINOVAR, 5.; CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO, 1., 2016, Santa Maria. **[Anais]**. Santa Maria: UFSM, 2016. p.1-12.
- JAHANGIR, J.B.; AL-MAHMUD, M.; SHAKIR, M.S.S.; HAQUE, A.; ALAM, M.A.; KHAN, M.R. A critical analysis of bifacial solar farm configurations: theory and experiments. **IEEE Access**, v.10, p.47726-47740, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3170044>.
- LIMA, M.A.; MENDES, L.F.R.; MOTHÉ, G.A.; LINHARES, F.G.; CASTRO, M.P.P. de; SILVA, M.G. da; STHEL, M.S. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v.33, art.100504, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504>.
- LIU, X.; ELGOWAINY, A.; WANG, M. Life cycle energy use and greenhouse gas emissions of ammonia production from renewable resources and industrial by-products. **Green Chemistry**, v.22, p.5751-5761, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1039/D0GC02301A>.
- LUDTKE, C.; DALLA COSTA, O.A.; ROHR, S.; DALLA COSTA, F.A. **Bem-estar animal na produção de suínos**: manejo de embarque e transporte para o frigorífico. Brasília: ABCS, 2016. 39p.
- LUO, L.; ZHUANG, Y.; LIU, H.; ZHAO, W.; CHEN, J.; DU, W.; GAO, X. Environmental impacts of photovoltaic power plants in northwest China. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v.56, art.103120, 2023. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103120>.
- MALLIAROUDAKI, M.I.; WATSON, N.J.; GLOVER, Z.J.; NCHARI, L.N.; GOMES, R.L. Net zero roadmap modelling for sustainable dairy manufacturing and distribution. **Chemical Engineering Journal**, v.475, art.145734, 2023. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145734>.
- MOERKERKEN, A.; DUIJNDAM, S.; BLASCH, J.; BEUKERING, P. van; SMIT, A. Determinants of energy efficiency in the Dutch dairy sector: dilemmas for sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v.293, art.126095, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126095>.
- MOYROUD, N.; PORTET, F. Introduction to QGIS. In: BAGHDADI, N.; MALLET, C.; ZRIBI, M. (Ed.). **QGIS and Generic Tools**. Hoboken: J. Wiley & Sons, 2018. v.1, p.1-17. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119457091>.
- MUFUTAU OPEYEMI, B. Path to sustainable energy consumption: the possibility of substituting renewable energy for non-renewable energy. **Energy**, v.228, art.120519, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120519>.
- NAÇÕES UNIDAS. Brasil. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 9 out. 2025.
- NAYAK, S.; KUMAR, A.; SINGH, A.K.; TIWARI, G.N. Energy matrices analysis of hybrid PVT greenhouse dryer by considering various silicon and non-silicon PV modules. **International Journal of Sustainable Energy**, v.33, p.336-348, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786451.2012.751914>.
- NOSCHANG, P.G.; SCHELEDER, A.F.P. A (in)sustentabilidade hídrica global e o direito humano à água. **Seqüência: Estudos Jurídicos e Políticos**, v.39, p.119-138, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-7055.2018v39n79p119>.
- OLIVEIRA, A.C.L. de; TÓTOLA, L.A.; LORENTZ, J.F.; SILVA, A.A. e; ASSIS, L.R. de; SANTOS, V.J. dos; CALIJURI, M.L. Spatial analysis of energy indicators and proposition of alternative generation sources for the Brazilian territory. **Journal of Cleaner Production**, v.356, art.131894, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131894>.
- PAINES, P. de A.; VIGNOCHI, L.; POSSAMAI, O. Simulação de sistema fotovoltaico para o setor comercial. **Exacta**, v.16, p.17-30, 2018.
- PETERS, L.; MADLENER, R. Economic evaluation of maintenance strategies for ground-mounted solar photovoltaic plants. **Applied Energy**, v.199, p.264-280, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.04.060>.
- REIS, M.A.F.; REIS JUNIOR, P.; PERIN, D.L. Sustentabilidade energética em escola pública. **MIX Sustentável**, v.6, p.37-44, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n3.37-44>.
- SANTOS, C.A. dos; VENDRUSCOLO, Á.; ROGOVSKI, B.; REIS, M.A.F. Photovoltaic cells with transparency for glass coverage: case study in party space. **Latin American Journal of Energy Research**, v.11, p.114-120, 2024. DOI: <https://doi.org/10.21712/lajer.2024.v11.n1.p114-120>.
- SCHÖNELL, R.; BIFFI, E.; ROGOVSKI, B.; REIS, M.A.F. Estudo comparativo entre fotovoltaicos flexíveis e tradicionais em toldos da universidade. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.9, p.536-550, 2020. Número

especial. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020536-550>.

SILVA, M.L. da; FONTES, A.A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET). **Revista Árvore**, v.29, p.931-936, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000600012>.

SMITH, N.W.; FLETCHER, A.J.; HILL, J.P.; MCNABB, W.C. Modeling the contribution of milk to global nutrition. **Frontiers in Nutrition**, v.8, art.716100, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.716100>.

SOUZA, A.C.G. de; MACHADO, B.G. de F. Sistemas fotovoltaicos de micro e minigeração distribuídas: mecanismos de incentivos e perspectivas de expansão à luz da Resolução Normativa nº 482 / 2012 da Aneel. **Cadernos de Finanças Públicas**, n.16, p.387-410, 2016.

SUNEARTHTOOLS.COM. Disponível em: <<https://www.sunearthtools.com/>>. Acesso em: 10 maio 2025.

VILLALVA, M.G. **Energia solar fotovoltaica**: conceitos e aplicações. 2.ed. rev. e atual. São Paulo: Saraiva, 2015. 224p.

XIAO, B.; HANG, L.; MEI, J.; RILEY, C.; TOLBERT, L.M.; OZPINECI, B. Modular cascaded H-bridge multilevel PV inverter with distributed MPPT for grid-connected applications. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v.51, p.1722-1731, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2014.2354396>.

XU, C.; GAO, Y. Powering the planet: a 30-year retrospective and prospect on global electricity generation. **Energy**, v.316, art.134453, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134453>.

YADEM LAMIEN, M.H.; FARZANEH, H. Integrated land use land cover-energy modeling framework for solar energy planning in the future expansion areas; the case of Luxor city Region, Egypt. **Energy Conversion and Management**: X, v.25, art.100874, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100874>.