

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS DE ALMEIDA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA EM PROPRIEDADE RURAL COM
BOVINOCULTURA DE LEITE NOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ

CURITIBA

2024

MATHEUS DE ALMEIDA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA EM PROPRIEDADE RURAL COM
BOVINOCULTURA DE LEITE NOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ

Artigo apresentado como requisito parcial a
Conclusão do Curso de Especialização em MBA em
Gestão Estratégica em Energias Naturais
Renováveis, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Thiago José da Luz

CURITIBA

2024

RESUMO

Em propriedades rurais, alguns problemas enfrentados são o custo elevado da energia elétrica e equipamentos poucos eficientes, ou seja, com defasagem tecnológica. Para a realização deste trabalho, foi escolhido uma fazenda com bovinocultura de leite no município de Carambeí no Paraná para desempenhar o estudo de caso. O objetivo foi apresentar um plano de eficiência energética compatível com a atividade da fazenda. Através das visitas técnicas a campo, realizaram-se os levantamentos de dados técnicos e informações pertinentes às atividades diárias. Os dados foram compilados para gerar um diagnóstico energético da propriedade rural, o qual transmite de forma clara os principais pontos de melhoria das atividades. Portanto, para a atividade leiteira, estruturou-se um plano de eficiência energética que visa trazer benefícios rotineiros, melhorar a performance das atividades e equipamentos elétricos, contribuindo para a segurança dos funcionários e reduções de custos aos proprietários. Os resultados obtidos indicam que o plano sobre a substituição do compressor sala de leite, bomba de captação de água e implantação de projeto de geração solar fotovoltaica, possui viabilidade e atratividade do ponto de vista econômico, com *payback* de 4,16 anos e TIR de 35,53%, otimizando assim os retornos financeiros e o benefício da economia de energia elétrica.

Palavras-chave: bovinocultura de leite; diagnóstico energético; eficiência energética; geração solar fotovoltaica;

ABSTRACT

In rural properties, some problems faced are the high cost of electricity and inefficient equipment. In this study, a dairy cattle farming in the municipality of Carambeí in Paraná was chosen to carry out the case study. The objective was to present an energy efficiency plan compatible with the farm's activity. Through technical field visits, technical data and information relevant to daily activities were collected. The data was compiled to generate an energy diagnosis of the rural property, which clearly conveys the main points for improving activities. Therefore, for the dairy activity, an energy efficiency plan was structured that aims to bring routine benefits, improve the activities and electrical equipment performance, contributing to the safety of employees and cost reductions for owners. The results indicate that the plan for replacing the milk room compressor, water pump and the photovoltaic solar generation integration is feasible and attractive from an economic point of view, with a payback of 4.16 years and an IRR of 35.53%, thus optimizing financial returns and the benefit of electricity savings.

Keywords: energy efficiency, dairy cattle, energy diagnosis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 OBJETIVO GERAL	7
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
2 REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	8
2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ÁREA RURAL	9
2.4 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	10
3 METODOLOGIA	11
3.1 OBJETIVO	12
3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS GERAIS DA EMPRESA	12
3.3 DESCRIÇÃO E DETALHAMENTO DE MATERIAIS E PRODUTOS	13
3.4 INDICADORES ENERGÉTICOS	14
3.5 EQUAÇÕES MATEMÁTICAS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE	15
3.6 DIMENSIONAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO	15
4 RESULTADOS	16
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO E INDICADORES ENERGÉTICOS	16
4.2 POTENCIAL DE ECONOMIA E DESEMPENHO	17
4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE SOBRE SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS	19
4.3.1 PROJETO 1: SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS	19
4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE DO PROJETO SOLAR FOTOVOLTAICO + PROJETO 1	21
4.4.1 ÁREA PARA INSTALAÇÃO	22
4.4.2 IRRADIAÇÃO SOLAR	22
4.4.3 DEFINIÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS, INVERSOR E TRANSFORMADOR ...	23
4.4.4 LEVANTAMENTO DE ORÇAMENTO	23
4.4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE	24
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFERÊNCIAS	26
ANEXO I – EQUIPAMENTOS CASAS: PRINCIPAL E SECUNDÁRIA	29
ANEXO II – EQUIPAMENTOS SALA DE ORDENHA	30
ANEXO III – FOTOS EQUIPAMENTOS SALA DE ORDENHA	31

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica no Brasil em 2022 foi 509,3 TWh, o qual representa um aumento de 2,3% no consumo de energia elétrica em relação a 2021. As classes consumidoras que mais contribuíram para este aumento foram Poder Público (10,5%), Comercial (6,6%) e Industrial (2,2%). Na região Sul, o estado do Paraná apresentou o maior consumo de energia elétrica, indicando um total de 35,4 TWh em 2022, aumentando em 2,7% ao comparar à 2021 (EPE, 2023).

A projeção de crescimento populacional é de 0,3% a.a. entre 2015 e 2050, resultando em 226 milhões de habitantes. Conforme a população aumenta, o consumo de produtos e serviços também aumenta, conseqüentemente a demanda por energia elétrica aumenta (EPE, 2020).

Este impacto é observado em todos os setores, seja industrial, residencial, comercial ou rural. Logo, caso não haja uma gestão energética adequada, estas escalas de aumento de consumo de eletricidade tendem a influenciar os custos de energia elétrica e causar impactos econômicos a médio e longo prazo aos proprietários. Por exemplo, a projeção do consumo de energia elétrica é de 3,5% ao ano em média entre 2015 a 2050, atingindo um valor próximo de 2.100 TWh ao fim do período (EPE, 2020).

Para mitigar este problema, uma das estratégias utilizadas pelos especialistas é a aplicação da eficiência energética no modelo de negócio e no local onde são desenvolvidas as atividades de um setor. A eficiência energética se expande de forma significativa, onde estima-se atingir 17% do total requisitado em 2050, o que equivale a aproximadamente 360 TWh de energia não produzida em 2050 (EPE, 2020).

A energia é um insumo que alimenta processos e transformações, visando obter um resultado final. Esse resultado pode ser algo material, como um produto, ou algo abstrato, como o conforto térmico.

Para realizar a gestão do consumo energético, um dos métodos recomendados é criar e acompanhar um indicador que relacione o consumo de energia elétrica e o produto final obtido na linha de produção. Com base nesta correlação estabelecida, pode-se avaliar em tornar o processo mais eficiente e otimizado, reduzindo o consumo de energia para entregar o mesmo serviço, ou seja, melhorar a performance da atividade realizada (Barros *et al*, 2015).

O uso eficiente de energia interessa por si mesmo, oportunizando as medidas de redução das perdas e de racionalização no uso de fatores de produção, além do caráter estratégico que o suprimento de eletricidade apresenta em todos os processos produtivos. A energia não possui outros substitutos senão a própria energia, sem a qual os processos não se desenvolvem, mesmo representando uma parcela por vezes reduzida dos custos totais. No Brasil ou nos demais países, restrições de ordem financeira e ambiental se complementam, o que aumentam os custos energéticos e configuram desafios entre as disponibilidades e as demandas energéticas, justificando a importância do uso racional de energia (ELEKTRO, 2012).

O primeiro e essencial passo na direção do uso racional de energia é auditoria energética, também conhecido como diagnóstico energético. As principais oportunidades e ganho de performance estão na iluminação, bombas de fluxo e ventiladores, caldeiras e fornos, motores monofásicos e trifásicos, compressores e ar comprimido, refrigeração e ar-condicionado, entre outros (ELEKTRO, 2012).

Um dos pilares dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) é apresentado no ODS 7 – Energia limpa e acessível, no qual busca garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos. No Brasil, o ODS 7 destaca-se pelos seguintes desdobramentos (Nações Unidas – Brasil, 2023):

- 7.2: Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global;
- 7.3: Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.

Desta maneira, é evidente que as energias renováveis e eficiência energética estão alinhadas estrategicamente à sustentabilidade no Brasil e no Mundo a partir dos ODS's, representando as suas importâncias nos próximos anos e décadas, principalmente para os consumidores nos meios rurais, cujo é o foco deste trabalho.

Entre as fontes de energias renováveis, destaca-se a solar fotovoltaica, que representa 17,7% da matriz elétrica brasileira com 38.462 MW de capacidade instalada (ONS,2024). Neste contexto, a Geração Distribuída (GD) é um dos pilares impulsionadores desta tecnologia no país, em que o estado do Paraná ocupa a 4ª posição no ranking estadual com participação de 9,5% da potência instalada. Atualmente, a GD na classe rural do Brasil tem participação de 3.700 MW de potência instalada, representando 14,6% do total instalados na GD (ABSOLAR, 2024).

Além das soluções em energias renováveis, como apresentado anteriormente, os especialistas devem avaliar e criar planos de eficiência energética nas propriedades rurais, devido aos desafios tecnológicos e culturais encontrados nesta atividade. A exemplificar, constam equipamentos elétricos ineficientes, infraestruturas antigas e perdas elétricas.

Algumas iniciativas têm surgido para promover a eficiência energética no campo. Para promover a segurança no agronegócio e transmitir conhecimento aos produtores rurais sobre o uso eficiente da energia elétrica, mais de 360 produtores rurais foram capacitados para o uso seguro e eficiente da energia elétrica em propriedades rurais em 2022, através da Cooperativa Central Aurora Alimentos (PECSITE, 2023).

Ao observar a escassez de programas voltados para o setor rural e a defasagem tecnológica que existe em muitas propriedades de pequenos produtores, é importante pensar sobre as oportunidades energéticas disponíveis em cada cenário. Este trabalho foi desenvolvido com a aplicação de eficiência energética em uma fazenda que desenvolve a atividade bovinocultura de leite nos Campos Gerais do Paraná. Este ramo foi escolhido por representar o trabalho, faturamento e riqueza dos habitantes e proprietários da região da bacia leiteira do Paraná, em específico o município de Carambeí.

1.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar um plano de eficiência energética compatível com a atividade bovinocultura de leite em propriedades rurais.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar melhorias em atividades de rotina em propriedades rurais, visando a redução de consumo de energia elétrica, através do diagnóstico energético;
- Propor soluções pontuais e/ou coletivas em equipamentos elétricos e infraestrutura das propriedades rurais;
- Analisar a viabilidade econômica da implementação das medidas de eficiência energética e autogeração de energia, com a tecnologia solar fotovoltaica.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício, o governo federal criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 1985. Desde então, as ações do Procel contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia. As ações de eficiência energética do Procel, visa aumentar a competitividade do país, postergar investimentos do setor elétrico e reduzir a emissão dos gases de efeito estufa (MME, 2023).

O Selo Procel de Economia de Energia, tem como objetivo ser uma ferramenta simples e eficaz que permite ao consumidor conhecer, entre os equipamentos e eletrodomésticos no mercado, os mais eficientes e que consomem menos energia. São estabelecidos índices de consumo e desempenho para cada categoria de equipamento, o qual passa por ensaios em laboratórios indicados pelo Procel. Ao final, apenas os produtos que atingem esses índices são contemplados com o Selo Procel (PROCEL, 2023a).

A eficiência energética pode ser alcançada tanto por meio do uso de tecnologias eficientes, como pela mudança de comportamento da sociedade, através da adoção de novos padrões e hábitos de uso. Desta maneira, outra ação do Procel busca disseminar informações para aumentar a conscientização e o conhecimento da sociedade com relação ao consumo eficiente de energia elétrica (PROCEL, 2023b).

A lei de eficiência energética é uma das formas de promover a melhoria do desempenho dos equipamentos, principalmente dos motores por exemplo.

No Brasil, o estabelecimento de índices mínimos de eficiência de motores começou com a Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001). Posteriormente, em 2009 entrou em vigor a portaria nº 553, que estabeleceu níveis mínimos de rendimentos para máquinas e equipamentos. Em complemento à lei, em 2013 foi revisada a Norma NBR 17094-1 que especifica valores mínimos de rendimento para duas classes de produtos: IR2 e IR3. Em agosto de 2019 entrou em vigor a nova lei, que determina o nível mínimo de rendimento em IR3 (EXCEN, 2019).

2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ÁREA RURAL

O setor do agronegócio é um dos mais dinâmicos na economia brasileira, que busca novas tecnologias e soluções mais eficazes no uso de energia. Com relação à eficiência energética, os produtores e as empresas possuem desafios: reduzir custos e emissões atmosféricas, tornar a produção mais eficiente, entender a melhor solução para o negócio e neutralizar, reduzir ou zerar emissões de gases poluentes (Globo Rural, 2021).

No setor agropecuário, o uso de eletricidade vem crescendo consideravelmente com a inserção de novos equipamentos no campo. Neste contexto, é importante conhecer estratégias para melhorar a eficiência energética na propriedade rural, buscando medidas que contribuem para a redução de custos e tornar a empresa mais competitiva.

Produções leiteiras e frango são algumas das principais consumidoras de energia elétrica. Para economizar, uma estratégia segundo os especialistas é rever o uso de picadeiras, que são equipamentos utilizados para cortar o alimento dos animais. A máquina é uma das mais usadas nas fazendas e é comum que sejam utilizados motores mal dimensionados, resultando no consumo maior do que o necessário (SEBRAE, 2017).

Outro ponto de atenção é adquirir equipamentos com a dimensão exata para o uso necessário. Os sistemas de refrigeração, como o de leite, por exemplo, precisam estar protegidos da luz solar e em locais com boa ventilação. Quando estes sistemas ficam expostos de forma errada, a troca de calor é muito maior, o que faz com que seja necessária mais energia para diminuir a temperatura (SEBRAE, 2017).

No estado de Minas Gerais, um projeto piloto foi desenvolvido visando identificar os principais problemas energéticos e promover as melhorias na economia de energia das propriedades rurais. Através do estudo foi possível identificar algumas medidas de eficiência energética aplicáveis ao meio rural, tais como: evitar emendas de fios, ligações e instalações precárias; manter motores limpos; substituir lâmpadas incandescentes por lâmpadas mais eficientes, entre outras (SINDISTAL, 2011).

A TECNOALIMENTAR (2015) apresentou um estudo de eficiência energética no setor agroindustrial de Portugal, através de auditorias que identificava e quantificava os principais processos de consumo e estimava os indicadores

energéticos. Os resultados mostraram que existem melhorias no desempenho energético e redução de custos nos motores e sistemas de refrigeração.

Na atividade leiteira de uma fazenda em Minas Gerais, Ramos *et al.*, (2014) realizaram análises para classificação e projeção dos processos de produção de leite em valores energéticos. A partir do mapa de fluxo de valores energéticos foi possível visualizar a participação energética para cada processo produtivo, visando a melhor eficiência geral.

De forma semelhante, Costa & Bueno (2010) analisaram os índices de eficiência energética de unidades produtoras de leite em São Paulo. Para isso, os autores reconstituíram os itinerários técnicos detalhando as operações utilizadas, obtendo os respectivos índices de eficiência na produção.

2.4 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Para realizar uma ação de eficiência energética, inicialmente deve ser elaborado um diagnóstico energético, o qual visa nortear o planejamento e desenvolvimento de um projeto de eficiência energética, o qual se inicia quando é identificada uma oportunidade de tornar mais eficiente o consumo de energia em determinada instalação.

Geralmente o trabalho é iniciado com uma inspeção de campo para realizar o levantamento das características da instalação, dos equipamentos existentes e do regime de operação. Com base nestas informações o diagnóstico energético é elaborado, analisando as oportunidades de tornar mais eficiente o consumo de energia. Eventualmente podem ser criados cenários de ações de eficiência energética a serem implementadas. As soluções técnicas são analisadas de tal forma a estimar quanto de energia é possível de ser economizado e quais os custos associados. Deste modo, é possível elaborar a análise de viabilidade econômica e conclui-se o diagnóstico com o retorno financeiro da ação de eficiência energética (Barros *et al.*, 2015).

De acordo com Barros *et al.*, (2015), a estrutura de um diagnóstico energético pode ser apresentada a seguir:

- Objetivo;
- Identificação da instalação;
- Descrição e detalhamento;

- Metas e benefícios;
- Prazos e custos;
- Análise de viabilidade;
- Estratégia de medição e verificação;
- Conclusões e recomendações.

Outra possibilidade segundo Barros *et al.*, (2020), indica que a elaboração um diagnóstico energético pode conter a seguinte sequência:

- Levantamento de dados gerais da empresa;
- Estudo dos fluxos de materiais e produtos;
- Caracterização do consumo energético;
- Avaliação das perdas de energia;
- Desenvolvimento dos estudos técnicos e econômicos das alternativas de redução das perdas;
- Elaboração das recomendações e conclusões.

Portanto, a partir de ambas as descrições, um ponto determinante para o diagnóstico energético a ser implementado é a compreensão do processo que se deseja melhorar, e assim adaptar o diagnóstico para melhor atender as necessidades. Para isso, inicialmente recomenda-se realizar uma entrevista com o proprietário para haver maior assertividade no plano de trabalho, o qual segue na próxima seção.

3 METODOLOGIA

A partir das referências sobre as estruturas de diagnóstico energético, percebem-se as diferentes abordagens e aplicabilidades para consumidores industriais, residenciais, comerciais e rurais. Neste trabalho, o estudo de caso foi desenvolvido para um consumidor rural, cuja estrutura do diagnóstico energético apresenta-se a seguir:

- Objetivo;
- Levantamento de dados gerais da empresa;
- Descrição e detalhamento de materiais e produtos;
- Indicadores energéticos;

- Equações matemáticas para análise de viabilidade;
- Equações matemáticas para dimensionamento solar fotovoltaico;
- Caracterização do consumo e indicadores energéticos;
- Potencial de economia e desempenho;
- Análise de viabilidade sobre substituição de equipamentos;
- Análise de viabilidade do projeto solar fotovoltaico + Projeto 1;
- Considerações finais.

3.1 OBJETIVO

Objetivo é a definição clara de um resultado desejado, indicando a direção a seguir, possibilitando o planejamento de ações e a medição do progresso no diagnóstico energético (Barros *et al*, 2015). Este estudo de caso busca avaliar as oportunidades de eficiência energética da fazenda com bovinocultura, cuja atividade principal é a produção de leite. Através desta avaliação, identificar gargalos e pontos de melhorias em equipamentos e rotinas operacionais, visando o melhor de desempenho energético.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS GERAIS DA EMPRESA

O levantamento de dados consiste em coletar as informações relevantes para a compreensão inicial do empreendimento, estabelece as premissas do negócio e fornece subsídios qualitativos e quantitativos para o desenvolvimento do trabalho (Barros *et al*, 2020). Inicialmente, a propriedade rural está situada no município de Carambeí, conhecida como região dos Campos Gerais no estado do Paraná. A localização indica a latitude -24.923875° e longitude -50.170140° , ilustrada pela Figura 1. A fazenda em questão foi escolhida pois está em operação há 30 anos, com infraestruturas antigas e baixo nível de automação. Além destas, a proximidade para deslocamento contou como justificativa.

O proprietário participa do quadro de associados da Cooperativa Frísia, também localizada em Carambeí, através da produção de leite de animais da raça holandesa.

FIGURA 1 – VISTA AÉREA DA PROPRIEDADE RURAL



FONTE: O autor (2024).

Na sala de ordenha no ponto A é realizada a atividade principal da fazenda, que consiste no tratamento das vacas, produção e armazenamento do leite. Os pontos B e C indicam a casa principal do proprietário e casa secundária, respectivamente.

Atualmente a fazenda conta com um plantel de 105 animais da raça holandesa, dos quais 58 animais estão em lactação, ou seja, em período de produção de leite, representando 55,23% do total.

3.3 DESCRIÇÃO E DETALHAMENTO DE MATERIAIS E PRODUTOS

A partir dos dados apresentados anteriormente, é essencial identificar todos os equipamentos e componentes elétricos/eletrônicos que consomem energia elétrica (Barros *et al*, 2015). Na propriedade em questão, há dois ambientes físicos diferentes consumidores de energia: sala de ordenha e casas. Na sala de ordenha, a potência instalada é de 23,15 kW, enquanto nas casas a potência instalada é de 48,06 kW. Portanto, a potência total instalada é de 71,21 kW. Nos Anexos I, II seguem a lista dos equipamentos de cada ambiente. No Anexo III contém as fotos da sala de ordenha.

A rotina de trabalho emprega 4 colaboradores responsáveis pelas ordenhas de leite, atividades de organização e limpeza. Entre as responsabilidades, as principais referem-se as ordenhas. A ordenha do período da manhã inicia as 05:00 hrs e finaliza as 06:30 hrs, enquanto no período da tarde inicia as 16:00 hrs e finaliza as 17:30 hrs.

Em 2023, o volume de produção foi de 701.722 litros de leite, representando uma média mensal de 58.476 litros e uma média de produção diária de 1.922 litros de leite. Logo, apresenta-se um indicador de referência, o qual cada animal produziu em média diária, mensal e anual de 33,13 litros, 1.008,20 litros e 12.098,65 litros, respectivamente.

3.4 INDICADORES ENERGÉTICOS

No mercado de energia elétrica, os indicadores servem para a tomada de decisão com maior assertividade (Barros *et al*, 2015). Neste contexto, o trabalho conta com alguns indicadores energéticos para balizar o desenvolvimento dos estudos.

Primeiramente, através da equação 1 considerou-se o Indicador Energético (*IE*) de produtividade que mede o resultado da produção média mensal de leite dividido pelo consumo médio mensal de energia elétrica, cuja unidade de medida é litros/kWh:

$$IE = \frac{\text{Produção média mensal leite (litros)}}{\text{Consumo médio mensal (kWh)}} \quad (1)$$

A equação 2 corresponde ao potencial de economia (*PE*) dos equipamentos a serem substituídos em kWh por ano, comparando o consumo do equipamento atual com o equipamento referência. Na referência, pesquisou-se os equipamentos compatíveis com maior eficiência de mercado, como exemplo a base de dados do INMETRO.

$$PE = \text{Consumo (equip. atual)} - \text{Consumo (equip. referência)} \quad (2)$$

Após obter o potencial de economia, também é possível avaliar o desempenho (*D*) em % atual de cada equipamento, através da equação 3.

$$D = \frac{\text{Consumo (equip. atual)} - \text{Consumo (equip. referência)}}{\text{Consumo (equip. referência)}} (\%) \quad (3)$$

As variáveis PE_{ref} e *D* indicam o potencial de economia (kWh) e o desempenho (%) respectivamente, do equipamento existente.

3.5 EQUAÇÕES MATEMÁTICAS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE

Nesta seção apresentam-se as equações matemáticas utilizadas durante a análise de viabilidade do trabalho, referenciadas de Barros *et al.*, (2020). No cálculo do Valor Presente Líquido (*VPL*) com a equação 4, o resultado é o valor presente do fluxo de caixa *VP* descontado a Taxa Mínima de Atratividade (*TMA*) pelos períodos totais *n* em análise.

$$VPL = \frac{VP}{(1 + TMA)^n} \quad (4)$$

Para calcular o valor do *payback* descontado, utiliza-se a equação 5, o qual considera a divisão do *Investimento* pelo *VPL*, e seu resultado é em anos.

$$Payback\ descontado = \frac{Investimento}{VPL} \quad (5)$$

A equação 6 corresponde à Taxa Interna de Retorno (*TIR*), que é interpretada como a taxa de desconto que um fluxo de caixa (*FC_i*) deve ter para que seu VPL seja igual a zero, onde *i* e *n* são o período atual e final de investimento, respectivamente.

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} - Investimento = 0 \quad (6)$$

3.6 DIMENSIONAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO

A orientação ideal para instalação dos painéis fotovoltaicos é o Norte, pois há um melhor aproveitamento da incidência solar com valor máximo próximo ao meio-dia. A inclinação ideal dos painéis fotovoltaicos é determinada pela latitude do local de instalação (Villalva, 2015). Neste trabalho, a latitude de Carambeí é aproximadamente de 25°, o ângulo de inclinação recomendado segue o mesmo valor.

Para calcular a quantidade de módulos fotovoltaicos (*N*), utiliza-se a equação 7 adaptada de Pinho & Galdino (2014). Os dados de entrada são: irradiação solar (*Irrad*) em kWh/m².dia e potência unitária do módulo fotovoltaico (*Pot_{Mód}*) em kW. O

indicador 0,75 representa que foi considerada uma perda de geração de energia do sistema de 25%.

$$N = \frac{\text{Energia Mensal Consumida}}{(\text{Irrad} * 0,75 * \text{Pot}_{\text{Mód}} * 30)} \quad (7)$$

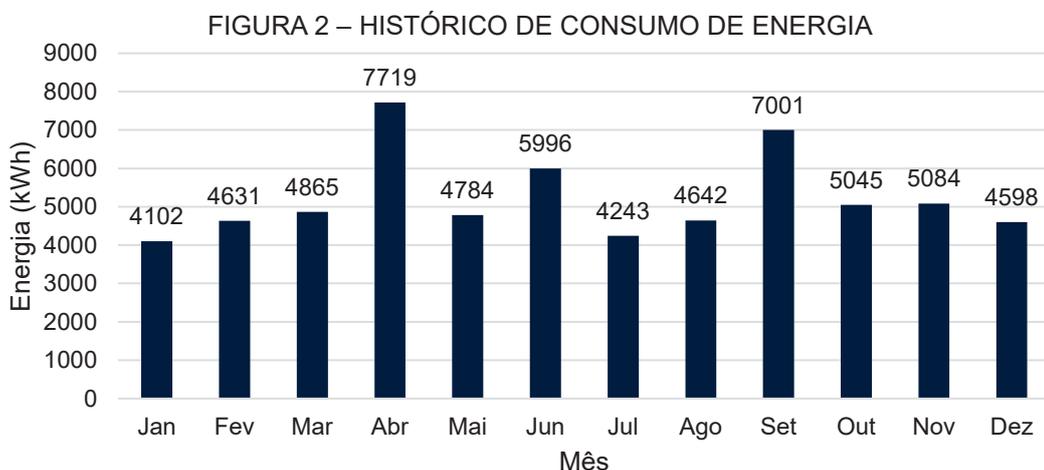
Para estimar o inversor fotovoltaico, considerou-se a faixa de operação da equação 8, onde Pot_{FV} representa a Potência instalada dos módulos fotovoltaicos e Pot_{INV} indica a Potência nominal do inversor adaptada de Pinho & Galdino (2014). Logo, a potência do inversor deve ficar entre 70% e 130% da potência fotovoltaica.

$$0,7 * Pot_{FV} < Pot_{INV} < 1,3 * Pot_{FV} \quad (8)$$

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO E INDICADORES ENERGÉTICOS

Um dos pilares do diagnóstico energético é a caracterização do consumo da unidade consumidora. Para esta finalidade foram coletadas as faturas de energia elétrica na distribuidora local, Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Atualmente, a unidade consumidora está cadastrada como B1 residencial e o preço da tarifa de energia é de R\$0,81/kWh. O período analisado foi referente aos últimos 12 meses, ou seja, de janeiro de 2023 até dezembro de 2023, como apresentado no Figura 2.



FONTE: O autor (2024).

Através da Figura 2, calcula-se que o consumo anual foi de 62.710 kWh e a média mensal foi de 5.225 kWh em 2023. Ao observar o consumo durante os 12 meses, é possível inferir que os valores possuem um perfil constante, com exceção de abril e setembro, cujos consumos tiveram variações significativas da média.

Além do consumo de energia, é possível calcular o IE de produtividade utilizando a equação 1, cujo resultado é a produção de 11,19 litros de leite / kWh.

4.2 POTENCIAL DE ECONOMIA E DESEMPENHO

Com os equipamentos da sala de ordenha e casas indicados nos Anexos I e II, realizou-se uma pesquisa dos equipamentos com maior economia e eficiência para cada finalidade pelo do banco de dados INMETRO. Em seguida, os equipamentos com maiores eficiências foram usados como referência para o desempenho de 100%.

Nesta etapa, utilizaram-se as equações 2 e 3 para obter os resultados do potencial de economia de energia (kWh) e o nível de desempenho (%), respectivamente. Além destes, apresentam-se as economias em reais (R\$) por ano, conforme as Tabelas 1 e 2.

TABELA 1 – DESEMPENHO E POTENCIAL DE ECONOMIA NA SALA DE ORDENHA

Função	Identificação	Desempenho	Potencial de economia (kWh/ano)	Potencial de economia (R\$/ano)
Bomba para lavagem pista	B01	58,21%	211	R\$ 171,78
Compressor de leite Danfoss	C01	66,92%	1384,01	R\$ 1.126,74
Compressor de leite Copeland	C02	67,69%	741,47	R\$ 603,64
Agitador tanque leite	AG01	30,32%	10,59	R\$ 8,62
Bomba de lavagem do tanque	B02	61,08%	6,9	R\$ 5,62
Trocador de calor do tanque	TC01	62,29%	43,56	R\$ 35,46
Trocador de calor do tanque	TC02	65,55%	38,1	R\$ 31,02
Bomba de vácuo	B03	70,15%	472,88	R\$ 384,98
Bomba captação água	B04	73,08%	938,12	R\$ 763,73
Bomba para tanque e lavagem	B06	59,36%	163,65	R\$ 133,23
Ventilador sala ordenha	V01	68,39%	18,77	R\$ 15,28
Ventilador sala ordenha	V02	65,78%	79,04	R\$ 64,35
Ventilador sala ordenha	V03	65,78%	79,04	R\$ 64,35
Ventilador sala ordenha	V04	65,78%	79,04	R\$ 64,35
Ventilador sala ordenha	V05	65,78%	79,04	R\$ 64,35
Ventilador sala ordenha	V06	65,78%	79,04	R\$ 64,35
Ventilador sala ordenha	V07	65,78%	79,04	R\$ 64,35
TOTAL	-	-	4503,29	R\$ 3.666,18

FONTE: O autor (2024).

Em termos gerais, os equipamentos da sala de ordenha indicam um potencial de economia anual de energia de até 4.503,29 kWh, sendo equivalente a R\$3.666,18 por ano. Entre os equipamentos, o agitador do tanque de leite apresentou menor desempenho, com 30,32% e o maior potencial de economia foi referente ao compressor de leite Danfoss, com valores de 1.384,01 kWh e R\$1.126,74 de economia por ano.

TABELA 2 – DESEMPENHO E POTENCIAL DE ECONOMIA NAS CASAS

Função	Identificação	Desempenho	Potencial de economia (kWh/ano)	Potencial de economia (R\$/ano)
Televisão extra	TV01	7,91%	5,43	R\$ 4,42
Televisão LG 32"	TV02	7,91%	7,90	R\$ 6,44
Televisão LG 43"	TV03	7,91%	13,59	R\$ 11,06
Televisão TCL 50"	TV04	7,91%	19,76	R\$ 16,09
Geladeira Consul - 300L	GE01	19,66%	258,66	R\$ 210,58
Geladeira duplex Consul - 330L	GE02	19,66%	334,73	R\$ 272,51
Freezer Consul - 305L	FR01	19,66%	343,86	R\$ 279,94
Freezer Consul - 260L	FR02	19,66%	426,03	R\$ 346,83
Freezer Brastemp - 260L	FR03	19,66%	471,67	R\$ 383,99
Geladeira Electrolux - 371L	GE03	19,66%	608,61	R\$ 495,48
Geladeira Continental - 279L	GE04	19,66%	657,30	R\$ 535,11
Microondas Electrolux - 31L	MO01	45,37%	44,55	R\$ 36,27
Microondas Electrolux - 31L	MO01	45,37%	44,55	R\$ 36,27
Tv box	TV05	53,33%	1,15	R\$ 0,93
Aparelho de choque ST 100Km BV	AC01	53,33%	1,29	R\$ 1,05
Aparelho de choque ST 100Km BV	AC02	53,33%	1,29	R\$ 1,05
Aparelho de choque ST 100Km BV	AC03	53,33%	1,29	R\$ 1,05
Tv box satélite	TV06	53,33%	1,53	R\$ 1,24
Tv box satélite	TV07	53,33%	1,53	R\$ 1,24
Ferro passar roupa Black Decker	FP01	53,33%	40,04	R\$ 32,60
Secadora roupa Fischer 4 kg	SR01	53,33%	42,22	R\$ 34,38
Secadora roupa Muller 8 kg	SR02	53,33%	82,99	R\$ 67,56
Torneira elétrica - Fame	TE01	53,33%	275,18	R\$ 224,03
Boiler aquecedor água	BA01	53,33%	382,20	R\$ 311,15
Boiler aquecedor água casa	BA02	53,33%	382,20	R\$ 311,15
Forno elétrico Fischer Grill	FE01	80,69%	12,74	R\$ 10,37
Máquina lavar Brastemp 11 kg	ML01	100,00%	0,00	R\$ 0,00
Fogão Cooktop Fischer 5Q	FC01	100,00%	0,00	R\$ 0,00
Chuveiro hydra Fit Eletrônica	CE01	100,00%	0,00	R\$ 0,00
Chuveiro hydra Fit Eletrônica	CE02	100,00%	0,00	R\$ 0,00
Chuveiro Hydra Eletrônica	CE03	100,00%	0,00	R\$ 0,00
Máquina lavar Consul 12 kg	ML02	100,00%	0,00	R\$ 0,00
Máquina lavar Brastemp 6 kg	ML03	100,00%	0,00	R\$ 0,00
TOTAL	-	-	4462,30	R\$ 3.632,81

FONTE: O autor (2024).

Do mesmo modo, os equipamentos das casas do proprietário indicam um potencial de economia anual de energia de até 4.462,30 kWh, sendo equivalente a R\$3.632,81 por ano. Entre os equipamentos, as televisões apresentaram menor desempenho e menos eficiência, com 7,91% e os maiores potenciais de economia foram referentes as geladeiras com valores de 657,30 kWh e R\$535,11 de economia por ano.

A partir dos valores acima, constata-se que a economia da casa é quase igual a sala de ordenha, devido a quantidade de equipamentos que podem ser substituídos, e que possuem baixa eficiência, por exemplo geladeiras e freezers.

4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE SOBRE SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Para realizar a análise de viabilidade nesta etapa, foi considerado apenas o ambiente da sala de ordenha, por representar a atividade principal da fazenda. Neste contexto, realizaram-se estudos de substituição de equipamentos da sala de ordenha, nos quais foram avaliados os equipamentos com maior potencial de economia.

4.3.1 PROJETO 1: SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS

No primeiro projeto, o objetivo foi avaliar a substituição dos dois equipamentos com o maior potencial de economia na sala de ordenha. A partir da Tabela 1, selecionaram-se os equipamentos C01 e B04, representando: o compressor de leite Danfoss e a bomba de captação de água, respectivamente.

O compressor C01 possui um desempenho de 66,92% e um potencial de economia de R\$1.126,74 por ano, enquanto a bomba B04 possui um desempenho de 73,08% e um potencial de economia de R\$763,73 por ano.

Ao pesquisar a substituição de equipamentos, é necessário certificar que o novo equipamento atenda os mesmos requisitos técnicos para ter compatibilidade de operação. Desta maneira, a ficha técnica do compressor deve ter as seguintes características:

- Tipo de compressor: Hermético Recíproco;
- Tensão de alimentação: Trifásico 220V;
- Potência: 5 HP;
- Refrigerante e Capacidade de refrigeração: R22 e 64,85 kBtu/h;

Enquanto, a ficha técnica da bomba deve ter as seguintes características:

- Tipo: Motobomba Centrífuga;
- Tensão de alimentação: Trifásico 220/380V;
- Potência: 3 CV;

Em seguida, buscou-se a mercado um compressor e uma bomba que atendesse estas restrições técnicas. Entre as pesquisas, a seleção do compressor foi o Copeland 5HP Trifásico, R22 e Hermético, enquanto a bomba foi a Eletroplas Standard 3 CV 220/380V. Em revisões técnicas e fóruns de discussões, estes equipamentos são considerados referências de mercado devido a sua eficiência e desempenho.

Para iniciar o estudo sobre a substituição, utilizou-se a Tabela 1 para indicar o potencial de economia anual (*PE*) dos equipamentos a serem substituídos. Para o compressor e a bomba os resultados foram 1.384,01 kWh/ano e 938,12 kWh/ano, respectivamente. Logo, o potencial de economia total é de 2.322,13 kWh/ano.

Ao considerar a tarifa de energia aplicada na unidade consumidora de R\$0,8141/kWh, potencial de economia é de R\$1.126,74/ano para o compressor e R\$763,73/ano para a bomba. Ao todo, a estimativa de economia anual é de R\$1.890,47.

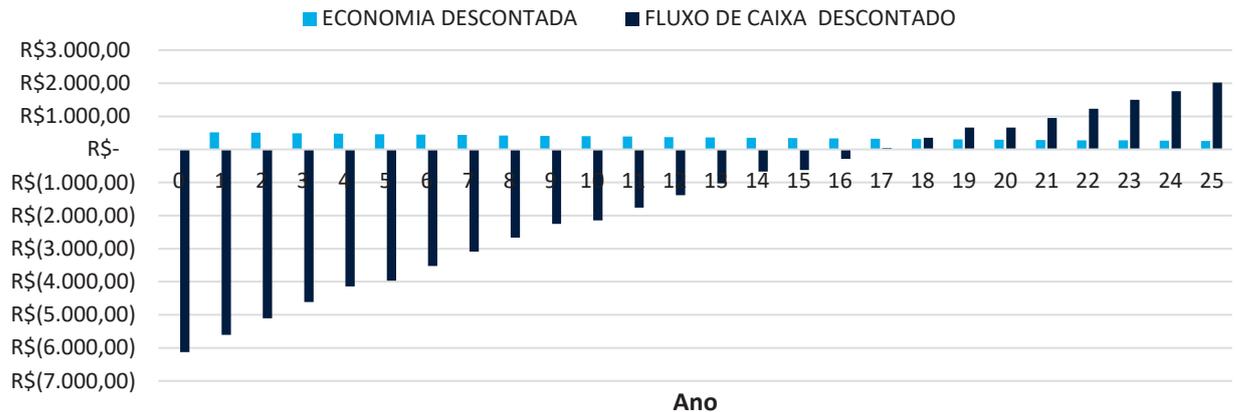
O compressor Copeland 5HP e a bomba Eletroplas 3 CV possuem o custo de R\$4.237,91 e R\$1.599,90, respectivamente. Além disso, é necessário considerar o custo da mão-de-obra das substituições, na faixa de 5% do custo, ou seja, R\$291,89 no total. Logo, os custos do compressor, bomba e mão-de-obra somam um total de R\$6.129,70.

Destaca-se a observação de que os equipamentos substituídos não foram vendidos, com o objetivo de usá-los como backup caso os novos sofram algum sinistro.

Para a análise de viabilidade, calculou-se o *payback* descontado através da equação 5. Os indicadores considerados foram: inflação de 8% a.a., Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 11,25% a.a. referente a Selic (março de 2024), Valor Presente Líquido (VPL) através da equação 4 e Taxa Interna de Retorno (TIR) na equação 6.

Para auxiliar na análise de viabilidade, o Figura 3 apresenta o fluxo de caixa descontado anual no horizonte de 25 anos.

FIGURA 3 – FLUXO DE CAIXA DESCONTADO DO PROJETO 1



FONTE: O autor (2024).

Nos anos 5, 10, 15 e 20 foram considerados manutenções no valor de R\$291,89, mantendo as condições operativas das máquinas, conforme fabricante (DANFOSS, 2024).

Os resultados encontrados foram um *payback* descontado de 16,88 anos, um VPL de R\$2.819,62 e uma TIR de 15,27%.

Após a implementação do projeto, calculou-se a produtividade com a Equação 1, cujo resultado foi a produção de 11,62 litros de leite / kWh consumido mensalmente. Ou seja, houve um aumento da produtividade mensal em 3,8% do cenário inicial.

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE DO PROJETO SOLAR FOTOVOLTAICO + PROJETO 1

Para realizar a análise de viabilidade do sistema solar fotovoltaico, algumas premissas relevantes devem ser estabelecidas no seu desenvolvimento, como:

- Área para instalação;
- Irradiação solar;
- Definição dos painéis fotovoltaicos, inversor e transformador;
- Levantamento de orçamento;
- Análise de viabilidade;

Desta maneira, as próximas seções abordam as informações levantadas e aplicadas neste trabalho.

4.4.1 ÁREA PARA INSTALAÇÃO

De acordo com a FIGURA 4, apresenta-se a vista aérea da localização da fazenda e respectiva área disponível de 600 m² para instalação em solo.

FIGURA 4 – VISTA AÉREA DA PROPRIEDADE RURAL E ÁREA DE INSTALAÇÃO DISPONÍVEL



FONTE: O autor (2024).

Nas proximidades não possuem árvores e construções que possam interferir com sombreamentos. Além disso, o espaço disponível está a 5 metros do padrão de entrada de energia da concessionária COPEL.

4.4.2 IRRADIAÇÃO SOLAR

A irradiação solar é um dos dados responsáveis por determinar o potencial energético solar, sendo utilizado para calcular a energia gerada pelo sistema fotovoltaico.

Nesta etapa utilizou-se o banco de dados do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), cuja plataforma fornece uma base de dados por coordenada geográfica desejada (LABREN, 2023). O tipo irradiação considerado foi o plano inclinado devido a usina solar fotovoltaica ser instalada em solo.

Portanto, as médias diárias da irradiação no plano inclinado em todos os meses possuem o valor de 4.803 Wh/m².dia, ou 4,803 kWh/m².dia para o local da instalação.

4.4.3 DEFINIÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS, INVERSOR E TRANSFORMADOR

Para o dimensionamento do sistema solar define-se um tipo de painel fotovoltaico, o qual foi selecionado monocristalino da Sunova, com potência 560 Wp (SUNOVA,2023).

Conforme a seção 4.1, o consumo mensal médio em 2023 foi de 5.225 kWh e ao considerar a implementação do Projeto 1 da seção 4.3.1 tem-se uma economia anual de 2.322 kWh, ou seja, 193 kWh por mês aproximadamente. Logo, a economia do Projeto 1 resultará no menor consumo de energia mensal da propriedade, com valor de 5.032 kWh.

Ao utilizar a equação 7 com os dados: energia mensal de 5.032 kWh, irradiação de 4,803 kWh/m².dia e potência unitária do painel de 0,56 kWp, resulta-se em 83 painéis e a potência instalada fotovoltaica de 46,48 kWp. Caso não fosse considerado a economia do Projeto 1, seriam necessários 86 painéis e 48,16 kWp de potência instalada.

Para estimar a faixa de escolha do inversor, utilizou-se a equação 8 que considera a potência instalada de 46,48 kWp, cujo resultado ficou entre 32,53 kW e 60,42 kW.

Após avaliações técnicas, optou-se por escolher o inversor da Sungrow trifásico 380V, de potência 40 kW. O inversor terá um *overload*, ou seja, carregamento de 16,2%, dentro das condições operativas recomendadas pelo fabricante (SUNGROW, 2023).

Neste trabalho, considerou-se um auto transformador de 220 para 380 V da marca Eletrotrafo, com potência nominal de 50 kVA, o qual foi dimensionado para operar com margem de 25% sobre a condição nominal do inversor.

4.4.4 LEVANTAMENTO DE ORÇAMENTO

O projeto deve contar com as características: instalação em solo, potência instalada de 46,48 kWp, 83 módulos monocristalinos Sunova de 560 W, um inversor trifásico Sungrow de 40 kW 380V e um transformador trifásico Eletrotrafo de 50 kVA.

Desta maneira, solicitou-se um orçamento que atendesse o projeto descrito, respeitando as condições estabelecidas. Como resultado, o investimento total foi de R\$163.973,75 contemplando todos os materiais e mão-de-obra. Destaca-se que os

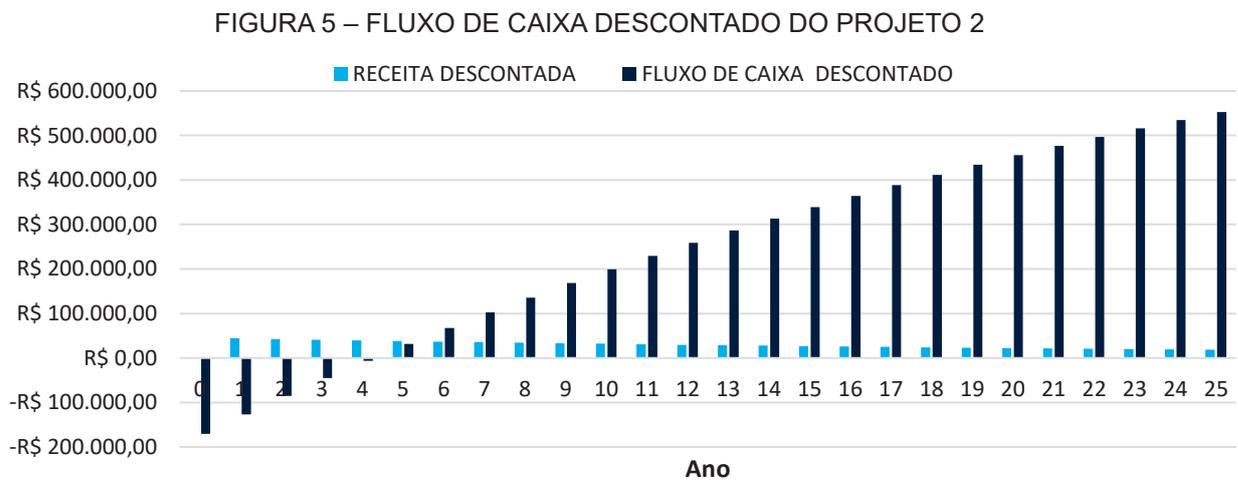
materiais representaram 80% do orçamento, ou seja, R\$131.179,00, enquanto a mão-de-obra contribui com os 20% restantes, de R\$32.794,75.

4.4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Nesta seção, são contemplados o projeto solar fotovoltaico e as substituições dos equipamentos do projeto 1, logo a soma de ambos os investimentos é R\$170.395,34.

Para a análise de viabilidade, calculou-se o *payback* descontado através da equação 5. Os indicadores considerados foram: inflação de 8% a.a., Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 11,25% a.a. referente a Selic (março de 2024), Valor Presente Líquido (VPL) através da equação 4 e Taxa Interna de Retorno (TIR) na equação 6.

Para auxiliar na análise de viabilidade, o Figura 5 apresenta o fluxo de caixa descontado anual no horizonte de 25 anos.



FONTE: O autor (2024).

Em complemento, considerou-se uma depreciação de 0,6% na produção de energia anualmente, devido a depreciação dos próprios painéis fotovoltaicos. Além disso, foi considerado um custo de manutenção anual 0,5% do investimento total, ou seja, valor de R\$851,98, para limpeza dos painéis e conferência das conexões elétricas.

Os resultados encontrados foram um *payback* descontado de 4,16 anos, um VPL de R\$552.405,14 e uma TIR de 35,53%.

Ao implementar o projeto, calculou-se a produtividade pela equação 1 com o consumo do padrão trifásico de 100 kWh. O resultado foi a produção de 584,76 litros de leite / kWh consumido mensal, aumentando a produtividade em 5.125% do cenário inicial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o desenvolvimento deste trabalho, conclui-se a importância da eficiência energética e a realização de um diagnóstico energético específico em propriedades rurais com atividade principal bovinocultura de leite. Primeiramente, identificou-se a possibilidade de reenquadramento da modalidade tarifária da unidade consumidora para B2 rural, resultando no custo mais baixo da energia e economia a longo prazo.

Através da coleta de dados e o levantamento dos equipamentos foi possível diagnosticar as respectivas eficiências e os potenciais de economia, bem como recomendar melhorias sobre a operação das máquinas e segurança dos colaboradores.

Logo, foram propostos dois projetos, sendo o primeiro a substituição do compressor de leite e bomba de captação de água, ambos da sala de ordenha. O segundo projeto foi a substituição destes equipamentos e a instalação de projeto solar fotovoltaico.

Em ambos os projetos, a Taxa Interno de Retorno (TIR) foi maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e o Valor Presente Líquido (VPL) foi positivo, ou seja, possuem viabilidade econômica. Conclui-se ainda, que ao considerar o projeto solar fotovoltaico, reduziu-se o *payback*, otimizando as soluções propostas.

Portanto, os objetivos foram atingidos e os resultados indicam que a eficiência energética e a geração de energia própria são oportunidades viáveis para propriedades rurais com atividade leiteira. Além da economia, destacam-se a sustentabilidade, bem-estar animal e possibilidade de certificação para agregar valor à produção leiteira.

Em trabalhos futuros outras oportunidades podem ser abordadas, como: a substituição de geladeiras e freezers das casas por equipamentos maiores e equivalentes, participação de programas de eficiência energética da COPEL e contrato de desempenho com aluguéis de máquinas elétricas através de fabricantes ou especialistas, por exemplo a WEG.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR (2024). **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 24 fev. de 2024.
- Barros, B. F.; Borelli, R.; Gedra, R. L. (2015). **Eficiência Energética: Técnicas de Aproveitamento, Gestão de Recursos e Fundamentos**. ed. Erica, 2015.
- Barros, B. F.; Borelli, R.; Gedra, R. L. (2020). **Gerenciamento de Energia: Ações Administrativas e Técnicas de Uso Adequado da Energia Elétrica**. 3ª ed. Erica, 2020.
- Costa, Z. F. & Bueno, O. C. **Análise das Eficiências Energética e Econômica da Produção de Leite Bovino em Explorações Familiares na Região de Botucatu, Estado de São Paulo**. Rev. de Economia Agrícola, São Paulo, v.57, n.2, p.37-48, dez.2010.
- DANFOSS (2024). **Série de Compressores Danfoss**. Disponível em: <https://files.danfoss.com/download/Drives/ServiceManualRevF1_PT.pdf>. Acesso em: 03 mar. de 2024.
- ELEKTRO. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. Ed 1. Campinas: 2012.
- EXCEN. **Balanco de Resultados das Ações de Eficiência Energética em Sistemas Motrizes**. 2019.
- EPE (2023). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023, Ano base 2022**. Disponível em: <<https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>>. Acesso em: 8 nov. de 2023.
- EPE (2020). **Plano Nacional de Energia – PNE 2050**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>>. Acesso em: 10 jan. de 2024.
- Globo Rural (2021). **Eficiência energética leva mais competitividade ao agronegócio**. Disponível em: <<https://globorural.globo.com/Publicidade/ENGIE/noticia/2021/09/eficiencia-energetica-leva-mais-competitividade-ao-agronegocio.html>>. Acesso em: 8 nov. 2023.
- LABREN (2023). **Médias do Total Diário da Irradiação no Plano Inclinado para o Estado do PARANÁ**. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas2_tables/PR_inc.html>. Acesso em: 2 fev. de 2024.

MME (2023). **Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/procel>>. Acesso em: 8 nov. de 2023.

Nações Unidas – Brasil (2023). **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>>. Acesso em: 8 nov. de 2023.

ONS (2024). **Evolução da Capacidade Instalada no SIN - Fevereiro 2024/ Dezembro 2028**. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 24 fev. de 2024.

PECSITE (2023). **PecSite – O Portal da Bovinocultura**. Disponível em: <<https://www.pecsite.com.br/mais-de-360-produtores-rurais-foram-capacitados-para-o-uso-seguro-e-eficiente-da-energia-eletrica-em-propriedades-rurais-em-2022/>>. Acesso em: 8 nov. de 2023.

Pinho, J. T. & Galdino, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Cresesb, 2014.

PROCEL (2023a). **Selo Procel**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632}>>. Acesso em: 8 nov. de 2023.

PROCEL (2023b). **Conhecimento Procel**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={D75739EC-A9B6-4E70-B189-65A5FEA0D24F}>>. Acesso em: 8 nov. de 2023.

Ramos, M. C.; Campos, A. T.; Junior, T. Y.; Silva, K. C. P. **Sustentabilidade na Produção de Leite: Balanço Energético em Sistema Intensivo de Produção com Visão Focada nos Processos**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.34, n.3, p.473-484, jun.2014.

SEBRAE (2017). **Campo eficiente: Saiba mais sobre eficiência energética no meio rural**. Disponível em: <<https://sebraers.com.br/energia/saiba-mais-sobre-eficiencia-energetica-no-meio-rural/>>. Acesso em: 8 nov. de 2023.

SINDISTAL (2011). **Cartilha Incentiva Eficiência Energética em Propriedades Rurais**. Disponível em: <<https://sindistal.org.br/cartilha-incentiva-eficiencia-energetica-em-propriedades-rurais/>>. Acesso em: 8 nov. de 2023.

SUNGROW (2023). **Sungrow String Inverter SG33/40/50CX**. Disponível: <<https://en.sungrowpower.com/productDetail/758/string-inverter-sg33-40-50cx>>. Acesso em: 2 fev. de 2024.

SUNOVA (2023). **Sunova Solar Tangra M 560-580W**. Disponível em: <https://www.sunova-solar.com/fileadmin/dateiablage/files-EN/downloads/data_sheets/EN_Datesheets_20231212/M-Size/Tangra_M__560-580_-72MDH.pdf>. Acesso em: 2 fev. de 2024.

TECNOALIMENTAR. **Eficiência Energética no Setor Agroalimentar: Uma Avaliação para o Norte Interior de Portugal**. Tecnoalimentar, revista da indústria alimentar, 3 Trimestre, 2015.

Villalva, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2 ed. Erica, 2015.

ANEXO I – EQUIPAMENTOS CASAS: PRINCIPAL E SECUNDÁRIA

Função	Identificação	Potência (W)	Unidade da Potência (W, kW, CV ou HP)	Potência (W)
Televisão extra	TV01	33	W	33
Televisão LG 32"	TV02	48	W	48
Televisão LG 43"	TV03	110	W	110
Televisão TCL 50"	TV04	120	W	120
Geladeira Consul - 300L	GE01	85	W	85
Geladeira duplex Consul - 330L	GE02	110	W	110
Freezer Consul - 305L	FR01	113	W	113
Freezer Consul - 260L	FR02	140	W	140
Freezer Brastemp - 260L	FR03	155	W	155
Geladeira Electrolux - 371L	GE03	200	W	200
Geladeira Continental - 279L	GE04	216	W	216
Microondas Electrolux - 31L	MO01	1600	W	1600
Microondas Electrolux - 31L	MO01	1600	W	1600
Tv box	TV05	30	W	30
Aparelho de choque ST 100Km BV	AC01	2,3	W	2,3
Aparelho de choque ST 100Km BV	AC02	2,3	W	2,3
Aparelho de choque ST 100Km BV	AC03	2,3	W	2,3
Tv box satélite	TV06	30	W	30
Tv box satélite	TV07	30	W	30
Ferro passar roupa Black Decker	FP01	1100	W	1100
Secadora roupa Fischer 4 kg	SR01	1450	W	1450
Secadora roupa Muller 8 kg	SR02	1520	W	1520
Torneira elétrica - Fame	TE01	5400	W	5400
Boiler aquecedor água	BA01	3000	W	3000
Boiler aquecedor água casa	BA02	3000	W	3000
Forno elétrico Fischer Grill	FE01	1750	W	1750
Máquina lavar Brastemp 11 kg	ML01	880	W	880
Fogão Cooktop Fischer 5Q	FC01	3000	W	3000
Chuveiro hydra Fit Eletrônica	CE01	7500	W	7500
Chuveiro hydra Fit Eletrônica	CE02	7500	W	7500
Chuveiro Hydra Eletrônica	CE03	5500	W	5500
Máquina lavar Consul 12 kg	ML02	450	W	450
Máquina lavar Brastemp 6 kg	ML03	1390	W	1390
TOTAL	-	48066,9	-	48066,9

FONTE: O autor (2024).

ANEXO II – EQUIPAMENTOS SALA DE ORDENHA

Função	Identificação	Potência	Unidade da Potência (W, kW, CV ou HP)	Potência (W)
Bomba para lavagem pista	B01	2	CV	1471
Compressor de leite Danfoss	C01	6803	W	6803
Compressor de leite Copeland	C02	5	HP	3727,5
Agitador tanque leite	AG01	0,05	HP	37,3
Bomba de lavagem do tanque	B02	1000	W	1000
Trocador de calor do tanque	TC01	185	W	185
Trocador de calor do tanque	TC02	185	W	185
Bomba de vácuo	B03	3	CV	2206,5
Bomba captação água	B04	3	CV	2206,5
Bomba para tanque e lavagem	B06	0,75	CV	551,6
Ventilador sala ordenha	V01	0,5	CV	367,75
Ventilador sala ordenha	V02	1	CV	735,5
Ventilador sala ordenha	V03	1	CV	735,5
Ventilador sala ordenha	V04	1	CV	735,5
Ventilador sala ordenha	V05	1	CV	735,5
Ventilador sala ordenha	V06	1	CV	735,5
Ventilador sala ordenha	V07	1	CV	735,5
TOTAL	-	-	-	23154,15

FONTE: O autor (2024).

ANEXO III – FOTOS EQUIPAMENTOS SALA DE ORDENHA



B01



C01



C02



AG01



B02



TC01/TC02

