

Viabilidade técnica econômica de implementação de um sistema de backup de energia em uma pequena propriedade rural

Economic technical feasibility of implementing an energy backup system on a small rural property

Viabilidad técnica económica de implementación de un sistema de backup de energía en una pequeña propiedad rural

Recebido: 18/03/2022 | Revisado: 25/03/2022 | Aceito: 02/04/2022 | Publicado: 09/04/2022

Gabriel Baldin Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3685-1195>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: bngabriel@outlook.com

Felipe Emanuel Sales

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1153-4449>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: felipe_emanuel_sales@hotmail.com

Letícia Sabo Boschi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4596-1377>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: leticia.sabo@unesp.br

Claudia Gonçalves de Azevedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0203-3776>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: claudia.azevedo@unesp.br

Resumo

A falta de energia em propriedades rurais, em muitos casos, ocasiona a perda de produtos agropecuários dependentes da eletrificação. Com o intuito de reduzir os prejuízos resultantes da má qualidade do fornecimento elétrico para pequenos e médios produtores, o presente trabalho tem como objetivo realizar a análise da viabilidade econômica da implementação de um sistema de backup de energia para o processo de produção leiteira de uma propriedade na região do centro-leste paulista. Os equipamentos de backup propostos no presente trabalho apresentam princípios de funcionamento distintos, haja vista que as baterias são carregadas e armazenam cargas oriundas da produção solar, e o moto-gerador transforma a energia química do combustível em elétrica. Ambos os sistemas irão fornecer a energia elétrica necessária para a manutenção das atividades da produção leiteira, mesmo que em projetos distintos, na propriedade rural analisada. A partir do projeto proposto, foi realizada a análise econômica para a implantação dos sistemas considerando dois cenários: pessimista e referência. A projeção financeira considerou a taxa mínima de atratividade (TMA) igual a taxa Selic de 6,24%. Sob tais condições o melhor retorno do capital investido foi obtido para o sistema solar e baterias, com retorno em 7 anos e 1 mês no *payback* descontado no cenário pessimista e 8 anos e 4 meses no *payback* descontado no cenário referência. Com o retorno de capital dentro do período de vida útil dos equipamentos conclui-se que a aplicação de sistemas de backup de energia para pequenos produtores rurais é financeiramente viável e lucrativa.

Palavras-chave: Sistemas de backup; Qualidade da energia; Análise econômica.

Abstract

The lack of energy in rural properties, in many cases, it causes the loss of agricultural products dependent on electrification. The aim of this study as minimize losses arising from poor electricity supply for small and medium-sized producers, through the economic feasibility analysis of the implementation of an energy backup system for the milk production process in the central-eastern of São Paulo - Brazil. The backup equipments proposed in the present work has different operating principles, since the batteries are charged and store charges from the solar production, and the motor generator converts the chemical energy of the fuel into electrical energy, and together, both will provide the electricity needed to maintain dairy production activities on the farm analyzed. From the proposed project, the economic analysis was performed for the implementation estimated in two scenarios of the systems. The financial projection considered the minimum attractiveness rate (TMA) equal to the Selic rate of 6.24%. Under such conditions the best return on invested capital was obtained for the solar system and batteries, with return in 7 years and 1 month in payback discounted in the pessimistic scenario and 8 years and 4 months in payback discounted in the reference scenario. The return on capital obtained within the lifetime of the equipment prove the viable and profitable of the installation of energy backup systems to small rural producers.

Keywords: Backup systems; Electricity quality; Economic analysis.

Resumen

La falta de energía en propiedades rurales, en muchos casos, ocasiona la pérdida de productos agropecuarios dependientes de la electrificación. El objetivo de este estudio es minimizar los perjuicios resultantes de la mala calidad del suministro eléctrico para los pequeños y medianos productores, el presente trabajo tiene como objetivo realizar el análisis de la viabilidad económica de la implementación de un sistema de backup de energía para el proceso de producción lechera de una propiedad en centro-este de São Paulo – Brazil. Los equipos de backup propuestos en el presente trabajo presentan principios de funcionamiento distintos, teniendo en cuenta que las baterías son cargadas y almacenan cargas oriundas de la producción solar, y el moto-generador transforma la energía química del combustible en eléctrica. Ambos sistemas suministrarán la energía eléctrica necesaria para el mantenimiento de las actividades de la producción lechera, incluso en proyectos distintos, en la propiedad rural analizada. A partir del proyecto propuesto, se realizó el análisis económico para la implantación de los sistemas considerando dos escenarios: pesimista y referencia. La proyección financiera consideró la tasa mínima de atractivo (TMA) igual a la tasa Selic de 6,24%. Con estas referencias el mejor retorno del capital invertido fue obtenido para el sistema solar y baterías, con retorno en 7 años y 1 mes en el Payback descontado en el escenario pesimista y 8 años y 4 meses en el Payback descontado en el escenario referencia. El retorno de capital dentro de la vida útil de los equipos se concluye que la aplicación de sistemas de backup de energía para pequeños productores rurales es financieramente viable y rentable.

Palabras clave: Sistema de backup; Calidad eléctrica; Análisis económico.

1. Introdução

O setor agropecuário brasileiro é responsável pelo consumo de $10.439 \cdot 10^3$ tep (toneladas equivalentes de petróleo), correspondendo a 4,1% do consumo energético no país. Tais índices classificam o setor como o sexto maior consumidor energético nacional, sendo precedido pelos setores industrial, de transportes, residencial, energético e de serviços, responsáveis pelo consumo de 90% da energia disponível (EPE, 2017).

Quanto ao consumo energético por fonte na agropecuária, a lenha, o óleo diesel e a eletricidade compõem os recursos básicos para a realização das práticas e técnicas agrícolas e pecuárias exercidas no território brasileiro. A participação percentual aproximada referente a cada fonte nas atividades é 25, 50 e 25%, respectivamente (EPE, 2017).

A eletricidade utilizada na agropecuária brasileira tem seu consumo diluído na quase totalidade dos processos de produção do setor, principalmente processos que requerem a aplicação de energia eletromotriz. Dentre as atividades que utilizam motores elétricos tem-se o bombeamento de água, trituração de grãos, climatização de ambientes (estufas) e o armazenamento ou estocagem dos produtos das práticas agropecuárias (Bernardi et al., 2017).

No setor da pecuária no país, diversas atividades passam pelo processo de mecanização com intuito de amplificar a produção e reduzir os custos e o tempo direcionados às tarefas, como exemplo, cita-se o caso da produção leiteira onde a atividade de ordenha não é realizada mais manualmente (Ferreira et al., 2015; Jornal do Comércio, 2019). Tais melhorias agregam diversos benefícios a produção, entretanto, tornam os níveis de produção vulneráveis à confiabilidade e qualidade do fornecimento de energia elétrica.

A confiabilidade e a qualidade do fornecimento elétrico dependem de diversas variáveis, as quais nem sempre são controladas pelo sistema elétrico, como o clima, o relevo e a vegetação. Para que todos os consumidores possam desfrutar da utilização da energia elétrica com mesma qualidade existe um grande desafio ligado ao serviço de fornecimento, que é composto por um vasto conjunto de centrais geradoras, linhas de transmissão, subestações e linhas de distribuição, de modo que tais sistemas devem operar em sinergia de forma a garantir o suprimento de energia elétrica a todos os consumidores conectados à rede interligada (Oliveira, 2011). Contudo, podem ocorrer diversos contratemplos nesse sistema, tanto de origem interna quanto externa do conjunto. Estes distúrbios causados ao fornecimento de energia elétrica podem resultar em prejuízos materiais e financeiros, tanto para as concessionárias quanto para aos consumidores. Desse modo, se faz necessário que haja uma fiscalização e regulamentação dos níveis de qualidade necessários para o fornecimento de energia elétrica, de forma a disponibilizar aos consumidores confiabilidade e conformidade (Instituto Acende Brasil, 2014).

O órgão nacional responsável pela fiscalização e regulamentação de tais parâmetros é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que tem a função de determinar os níveis aceitáveis dos indicadores que representam a qualidade do fornecimento de energia elétrica no Brasil (ANEEL, 2016).

Existem ainda algumas dissimilaridades quanto aos valores dos indicadores de qualidade de fornecimento em regiões urbanas e não urbanas, sendo tais diferenças inerentes à maior dificuldade na ligação dos consumidores com o sistema de distribuição, de forma que a possibilidade de algum distúrbio ocorrer em sua conexão é mais alta, assim como os prazos estipulados para solicitação de algum serviço como vistoria ou religação, que são muito superiores para consumidores rurais (Dias, 2002; Lamin, 2015).

Com a disseminação do uso da energia elétrica nos processos agropecuários, o setor além de carecer da disponibilidade da energia elétrica para manter seus processos produtivos, também requer a qualidade mínima estipulada pelos indicadores propostos pela ANEEL. A eletricidade ofertada não deve apresentar desequilíbrios e variações de tensão de curta duração, altos índices de interrupções (FEC – Frequência Equivalente de Interrupções por Unidade Consumidora), bem como longos períodos de falta do fornecimento (DEC – Duração Equivalente de Interrupções por Unidade Consumidora) (Instituto Acende Brasil, 2014; IBEC, 2018).

A instabilidade do fornecimento de energia elétrica afeta negativamente a produção leiteira, pois a falta de energia resulta em grandes perdas de produção. O processo de ordenha é totalmente interrompido e o leite armazenado requer refrigeração, assim, se a energia elétrica não for restabelecida em certo período de tempo toda a produção será perdida, resultando em grandes prejuízos financeiros aos produtores (Diário dos Campos, 2019; FAESC, 2014).

De modo geral, a falta de energia tem impacto direto sobre os pequenos e médios produtores, haja vista que uma grande parcela de seus recursos financeiros é proveniente da produção de leite, de modo que o prejuízo financeiro resultante das interrupções pode ocasionar a inviabilidade da produção por estes produtores (G1, 2018; G1, 2013). Com o intuito de reduzir os prejuízos resultantes da má qualidade do fornecimento elétrico para pequenos e médios produtores, o presente trabalho tem como objetivo realizar a análise da viabilidade econômica da implementação de um sistema de backup de energia para o processo de produção leiteira de uma propriedade na região do centro-leste paulista.

2. Metodologia

2.1 Estudo

O presente trabalho consiste no estudo de caso de uma propriedade rural associado a pesquisa de campo a fim de coletar informações referentes aos custos das instalações necessárias para a implantação de um sistema de backup de energia, de modo que a metodologia abordada tem caráter exploratório - descritivo (Gil, 2007) bem como quantitativo (Richardson, 2017).

A análise da viabilidade técnica-econômica será realizada na região Centro-Leste Paulista, mais especificamente no município de Pirassununga. A propriedade analisada tem como principal atividade a produção leiteira, com volume diário de 500 litros produzidos. A ordenha é realizada em dois períodos, às 6:00h da manhã e às 16:00h no período da tarde. Para ambos os horários serão levantados os processos de produção que requerem o fornecimento da energia elétrica, bem como o consumo diário do sistema de armazenamento do leite, sendo especificados os equipamentos utilizados em todo o processo. O consumo elétrico local não é proveniente apenas da atividade de produção de leite, haja vista que na propriedade também estão conectadas a rede duas residências e alguns processos agropecuários, tais como a trituração e bombeamento de água tanto para as residências quanto para as produções locais.

2.2 Coleta de dados

A etapa de levantamento dos dados é de suma importância para que o resultado do estudo seja satisfatório. Desse modo, é necessário que a execução tenha como base as técnicas normalmente empregadas para elaboração de um diagnóstico energético (Szyska et al., 2004). Dentre as técnicas mais empregadas para o levantamento de dados têm destaque as técnicas de Levantamento por amostragem, Levantamento por dados de placa e Levantamento detalhado.

A técnica de levantamento por amostragem normalmente é mais aplicada para levantamentos industriais com grandes quantidades de máquinas semelhantes desempenhando a mesma tarefa, de modo a tornar possível a realização da medição de apenas algumas amostras. O levantamento por dados de placa é direcionado para processos que apresentam diferentes motores e funções. Tal modelo é constituído pela aquisição dos dados de placa de todos os equipamentos instalados sem que ocorram medições. Por fim, o levantamento detalhado é direcionado para a análise de todos os motores instalados, desde o levantamento de seus dados de placa até as medições específicas, ou seja, esta técnica é a combinação das técnicas anteriores (Szyska et al., 2004).

Dentre as três metodologias, a que apresenta maior confiabilidade é a técnica do levantamento detalhado, entretanto também é a mais custosa. O presente estudo empregou a metodologia de levantamento de dados de placa, haja vista que a produção analisada apresenta diferentes equipamentos para diferentes fins, bem como menor custo do levantamento.

Para o levantamento do consumo energético foram utilizadas duas abordagens para a coleta dos dados, a análise da energia consumida através da conta de energia e o levantamento das cargas através dos dados de placa em conjunto com a estimativa de seus tempos de utilização (Alves et al., 2007).

O conhecimento do período de funcionamento dos equipamentos é de suma importância, uma vez que é diretamente proporcional ao consumo energético da produção. Entretanto, o conhecimento exato do tempo de funcionamento pode ser considerado uma tarefa extremamente difícil para o presente estudo devido a não existência de nenhuma memória individual de funcionamento ou memória de massa de um horímetro. Neste contexto, o período de operação para cada equipamento foi estimado a partir de entrevistas com os encarregados pelos processos e pela verificação operacional executada em períodos da produção.

Uma vez que o tempo de funcionamento é uma variável estimada e a potência dos equipamentos uma variável determinada, o consumo energético calculado será caracterizado como uma estimativa. Para os valores estimados, é necessário ter cuidado com a revisão e concepção da instalação analisada, de forma a garantir que as estimativas sejam realistas e conservadoras (EVO, 2012).

A premissa inicial é que além de suprir as faltas de energia da rede, o consumo possa ser reduzido com o sistema empregado, tornando o produto final competitivo e resguardado de perdas por qualquer adversidade que englobe a falta de energia.

Desse modo, a partir de uma visita no local do empreendimento foram identificados todos os equipamentos, bem como determinados seus parâmetros de potência e estimado o horário de funcionamento. O dimensionamento da potência dos equipamentos foi realizado através da consulta das potências nominais indicadas nas placas de especificações, e no caso de falta de informações foram analisados os datasheet disponibilizados pelos fabricantes de forma a assegurar o levantamento de todas as cargas requisitadas na instalação.

A análise do tempo de funcionamento foi feita para ambos os períodos de operação do sistema (6:00-h e 16:00-h), assegurando uma maior confiabilidade sobre o tempo de utilização de cada processo. A partir das variáveis analisadas, o próximo passo é o cálculo do consumo mensal do sistema de produção de leite da propriedade. Seguindo a Equação 1, apresentada pela ANEEL, o consumo é caracterizado pela multiplicação entre a potência do equipamento e o tempo que este é acionado.

$$\text{Consumo mensal (kWh)} = \frac{\text{Potência (W)} \times \text{tempo (h}_{\text{mês}})}{1000} \quad (1)$$

sendo *Potência* a potência do equipamento e *tempo* o tempo pelo qual o equipamento é acionado.

2.3 Soluções propostas

Considerando os recursos energéticos disponíveis na propriedade, os sistemas de geração propostos no presente trabalho são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Sistemas de estudo.

Sistemas de Geração	Tecnologias
Sistema SF + BAT	Solar fotovoltaico/Banco de Baterias
Sistema SF + MG	Solar fotovoltaico/Moto-gerador

Fonte: Autores.

O procedimento empregado para o dimensionamento das tecnologias de geração tem como base os dados de consumo levantados na propriedade. A metodologia tem como princípio fornecer ao usuário a possibilidade de sustentar seus processos de produção, ou seja, o dimensionamento é direcionado ao consumo mínimo do sistema. Desse modo o potencial instalado deve suprir minimamente os processos fundamentais para a produção de leite, que são a ordenha, o armazenamento e a higienização.

2.4 Análise técnica

Em virtude dos diferentes meios de fornecimento da energia elétrica, para que o sistema híbrido de geração apresente um desempenho tecnicamente e economicamente viável, é necessário que exista um agente controlador. Este agente deve monitorar os indicadores da energia elétrica fornecida pela rede e pelos painéis fotovoltaicos, com objetivo de diagnosticar qualquer evento de variação, acionando assim as fontes secundárias, moto-gerador ou banco de baterias, de modo a manter o sistema consumidor operante até que ocorra o restabelecimento dos sistemas de fornecimento primários.

Atualmente são encontrados no mercado integradores de diferentes fabricantes. Para este estudo de caso o modelo adotado foi o MATE3s fornecido pela OutBack Power. O integrador permite o equilíbrio entre o uso de energia armazenada, gerada pelos módulos fotovoltaicos ou moto-gerador e a energia fornecida pela rede, de modo a superar oscilações e picos de carga. Em conjunto com a utilização do integrador é necessária a utilização de um inversor híbrido, desenvolvido para atuar na falta da energia elétrica fornecida pela rede da concessionária.

A partir da utilização de tais tecnologias torna-se viável a instalação do sistema híbrido de geração para manutenção dos processos de produção e redução do custo com a energia elétrica.

2.5 Cenários de estudo

Para a realização da análise da viabilidade econômica foram considerados diferentes cenários com base nos indicadores de continuidade do fornecimento apresentados pela distribuidora local. Além destes indicadores, os cenários propostos seguiram o valor tarifário estipulado pela distribuidora para a classe consumidora.

Foram considerado dois cenários, referência (CR) e pessimista (CP), sendo que o primeiro segue os indicadores apresentados na fatura de energia da unidade consumidora (Tabela 2) e o segundo considera o indicador médio para o conjunto elétrico que a unidade consumidora se enquadra (Tabela 3).

Tabela 2. Indicadores apresentados na fatura de energia (agosto de 2019).

Conjunto Elétrico	Pirassununga Dois
Duração da Interrupção Individual por Unidade Consumidora Mensal (DIC)	4,90 h
Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora Mensal (FIC)	2 Interrupções
Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora Mensal (DMIC)	4,33 h

Fonte: Autores.

Tabela 3. Indicadores de continuidade por unidade consumidora disponibilizados pela ANEEL (2018).

Conjunto Elétrico	Pirassununga Dois
Duração da Interrupção Individual por Unidade Consumidora Mensal (DIC)	9,72 h
Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora Mensal (FIC)	7,37 Interrupções
Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora Mensal (DMIC)	5,07 h
Duração da Interrupção Individual em um dia Crítico por Unidade Consumidora Mensal (DICRI)	16,60 h

Fonte: ANEEL, [s.d.].

2.6 Análise econômica

Os principais fatores que influenciam a análise econômica considerando o escopo do estudo são a tarifa de energia, a radiação solar, o custo dos equipamentos, os serviços e o preço do combustível.

Para a análise da viabilidade econômica do estudo de caso, se fez necessária a comparação entre o custo da energia (R\$/kWh) consumido na propriedade e o valor total do investimento no sistema de geração.

Dentre os parâmetros adotados para realizar a análise considerou-se:

- *Payback* simples ($PB_{simples}$): o indicador mais utilizado para a análise de um investimento, também conhecido como taxa de amortização. Tal parâmetro indica o tempo necessário para que os investimentos iniciais e os rendimentos acumulados tornem-se iguais, isto é, o tempo necessário para que o investimento se pague.

$$PB_{simples} = \frac{\text{Investimento (Custos)}}{\sum \text{Retorno fixo anual (Benefício)}} \quad (2)$$

- Taxa mínima de atratividade (TMA): a mínima taxa de juros que um investidor exige para aceitar realizar um investimento. Utilizada principalmente para definir se um investimento é viável considerando algum ativo livre de riscos como a taxa do sistema especial de liquidação e de custódia (SELIC), poupança, índice de preços ao consumidor amplo (IPCA) ou o certificado de depósito interbancário CDI.

- *Payback* descontado ($PB_{descontado}$): apresenta o mesmo princípio do *payback* simples, entretanto, considera uma taxa de desconto referente ao custo do capital. Geralmente a TMA é adotada para realização desta prospecção.

$$PB_{descontado} = \frac{\text{Investimento (Custos)}}{\sum \text{Retorno descontado anual (Benefício descontado)}} \quad (3)$$

- Valor presente líquido (VPL): o valor presente dos lucros futuros descontado taxa de juros no valor investido. Se positivo indica um investimento saudável.

$$VPL = \frac{\text{Benefício}}{(1 + TMA)^{ano}} \quad (4)$$

- Taxa interna de retorno (TIR): indica em termos percentuais a rentabilidade do investimento em estudo, comparando-a com a TMA, que representa a taxa mínima de retorno desejável para que o projeto seja aceito (Kikumoto, 2019).

3. Resultados e Discussão

Para o correto dimensionamento do sistema de abastecimento de energia elétrica, é primordial conhecer quais são os equipamentos necessários para a manutenção da produção leiteira. Ou seja, é necessário realizar o levantamento de modo que o consumo seja o mais preciso para cada equipamento (potência e tempo de funcionamento mensal).

O levantamento dos equipamentos foi realizado através de uma visita presencial na propriedade, onde foram verificadas as placas de cada equipamento, seus parâmetros elétricos com o auxílio de um multímetro, além de uma minuciosa entrevista com o proprietário averiguando de maneira geral todos os processos que demandam energia.

No decorrer da visita também houve o acompanhamento da ordenha, coleta e armazenamento do leite, bem como processo de higienização dos equipamentos e alimentação dos animais.

3.1 Descrição das atividades da propriedade

O processo de ordenha da propriedade é do tipo canalizada (*Speedline*), sendo esta tecnologia caracterizada pelo fato do trajeto percorrido pelo leite ser totalmente automatizado a partir de sua coleta até o tanque onde será armazenado.

Com o funcionamento do sistema de vácuo, movido por uma bomba de vácuo (Figura 1), este sistema é conectado ao sistema de coleta do leite, equipamentos de sucção (teteiras) que tem como objetivo retirar o leite do ubre dos animais. Após a ordenha o leite é direcionado ao tanque de expansão ou tanque de refrigeração (Figura 2) através de um sistema de bombeamento de leite, sendo movido por uma bomba.

Figura 1. Bomba de vácuo.



Fonte: Autores.

Figura 2. Armazenamento e refrigeração.



Fonte: Autores.

Além dos processos de ordenha e armazenamento do leite, existem outros três equipamentos que consomem energia elétrica e que fazem parte do sistema de produção, sendo eles o moedor de grãos, o misturador e a resistência utilizada para o aquecimento de água para higienização.

3.2 Levantamento do consumo

Após a vistoria e análise de todo o processo de produção do leite na propriedade, foram levantados todos os equipamentos elétricos e suas respectivas unidades de potência e tempo de funcionamento.

Os valores obtidos para cada equipamento são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Levantamento do Consumo.

Atividade	Equipamento Elétrico	Potência (kW)	Funcionamento mensal (h)	Energia consumida (kWh)
Ordenha	Bomba de vácuo	2,24	100,0	224,00
	Bomba	1,49	33,3	49,62
Armazenamento	Motor	1,49	216,0	321,84
	Ventilador	0,34	216,0	73,44
	Misturador	0,19	216,0	41,04
Higienização	Resistência	1,00	100,0	100,00
Alimentação	Moedor	7,46	8,0	59,68
	Misturador	2,24	1,0	2,24

Fonte: Autores.

Foi verificado que o tempo médio de uma ordenha é 1 hora e 40 minutos, resultando em 3 horas e 20 minutos diários e uma média mensal de aproximadamente 100 horas. O bombeamento do leite não é um processo contínuo, de modo que durante a visita foi possível observar que no decorrer da ordenha o fator de utilização aproximado da bomba é de um terço do período da ordenha resultando em aproximadamente 33,3 horas mensais.

Para o sistema de armazenamento (sistema de refrigeração) foi adotado o fator de utilização de 0,30 pois os equipamentos de refrigeração não operam durante as 24 horas por dia. Empregando este fator o tempo aproximado diário é de 7 horas e 12 minutos resultando em 216 horas mensais. A resistência utilizada para higienização é necessária no decorrer da ordenha, sendo posta em funcionamento pelo mesmo período de 3 horas e 20 minutos diários e 100 horas mensais.

Os equipamentos empregados para a atividade de alimentação dos animais, são utilizados em períodos semanais de 2 horas para o moedor e 15 minutos para o misturador, resultando respectivamente em 8 e 1 horas mensais.

3.3 Adoção dos cenários de falha no abastecimento da rede elétrica

Com relação aos períodos de interrupção do fornecimento de energia, foi adotado certo grau de conservadorismo no levantamento dos períodos diários de ocorrência das falhas.

Considerou-se que a probabilidade da interrupção ocorrer no horário das ordenhas é inferior à probabilidade da ocorrência fora do horário, assim, através de suposições e análises dos horários das ordenhas foram consideradas as quantidades de interrupções anuais no período da ordenha e no período de refrigeração e assim determinadas as horas sem o fornecimento de energia elétrica para as atividades (Tabela 5).

Tabela 5. Horas sem fornecimento de energia elétrica por ano.

Atividade	CR (h/ano)	CP (h/ano)
Ordenha	5,47	13,59
Armazenamento	14,70	35,78

Fonte: Autores.

A partir de tais valores é possível calcular os custos com combustível e banco de baterias para alimentar o sistema nos períodos de interrupção. Para o sistema de armazenamento do leite também é necessário apresentar quantas ocorrências de interrupções de máxima duração podem acontecer no decorrer de um ano.

Os valores considerados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Acontecimentos anuais de interrupções de máxima duração.

Atividade	CR - 4,33h	CP - 5,07
Armazenamento	3 vezes ao ano	4 vezes ao ano

Fonte: Autores.

Adotando texto do Decreto nº 9013, de 29 de março de 2017, que discorre sobre o regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal, entende-se:

Art. 240. § 2º O leite cru mantido na propriedade rural deve ser conservado sob temperatura e período definidos em norma complementar.

Art. 258. Na conservação do leite devem ser atendidos os seguintes limites máximos de conservação e temperatura:

I - Conservação e expedição no posto de refrigeração: 4º C (quatro graus Celsius);

II - Conservação na usina de beneficiamento ou fábrica de laticínios antes da pasteurização: 4º C (quatro graus Celsius);

A necessidade da observação das interrupções anuais ocorre devido a diferença entre estocar o leite à 4ºC, 7ºC ou 10ºC:

“O leite é uma matéria-prima muito perecível, rica em nutrientes que facilitam o desenvolvimento de microrganismos patogênicos naturalmente presentes e a manutenção de temperaturas baixas ajuda na redução do desenvolvimento microbológico” (Castanheira *et al.*, 2018).

Assim, qualquer alteração na temperatura de armazenamento interfere exponencialmente no crescimento microbológico, podendo resultar em níveis acima dos estabelecidos pela norma e causar a não coleta da produção. Para que o período de armazenamento do leite seja superior a 24 horas no produtor primário é essencial a manutenção da temperatura a 4ºC contínuo e no máximo até 3 horas após a ordenha. Mantendo o conservadorismo adotado para toda a estimativa de interrupções e duração destas, será adotado que no decorrer de um ano para o CR ocorrerá 1 interrupção com duração máxima (DMIC) e para o CP ocorrerão 2 interrupções com duração máxima.

Assumindo os valores médios de venda da produção pela unidade analisada (70% a R\$1,30 e 30% R\$1,65), os níveis de produção atuais e os cenários, o prejuízo anual causado pelas interrupções são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Acontecimentos anuais de interrupções de máxima duração.

Produção diária	CR	CP
500L	R\$ 702,50 ano	R\$ 1.405,00 ano

Fonte: Autores.

3.4 Aspectos técnicos do sistema fotovoltaico

A partir dos dados demonstrados na Tabela 4, foi realizado o somatório dos resultados do consumo de energia elétrica pelos equipamentos relacionados às atividades leiteiras, resultando em um consumo médio mensal de 871,86 kWh. Cabe ressaltar que as atividades relacionadas à alimentação (moedor e misturador) são processos complementares na produção, uma vez que são utilizados quando não há disponibilidade de pasto, mas podem ser considerados para o cálculo potencial do gerador fotovoltaico.

A energia produzida por um módulo fotovoltaico é dependente de fatores tais como o ângulo de inclinação dos módulos, o ângulo da orientação do módulo em relação ao norte geográfico (ângulo azimutal), a eficiência do módulo, a eficiência do inversor, as perdas por temperatura (efeito joule) na operação dos equipamentos. É possível estimar a energia (E) produzida em uma usina fotovoltaica a partir da equação (Kikumoto, 2019):

$$E = A \times I_{rr} \times \eta \times FP \quad (5)$$

sendo A a área do painel FV [m^2], I_{rr} a irradiação solar [$kWh/m^2.dia$], η a eficiência do módulo fotovoltaico e FP o fator de performance do sistema.

Os parâmetros da área e da eficiência do módulo são encontrados na folha de dados (datasheet) do equipamento. O dado referente à irradiação solar foi retirado da base de dados da CRESESB (Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito) em que irradiação adotada para os cálculos é a média igual a latitude para a cidade de Pirassununga-SP equivalente a 5,25 $kWh/m^2.dia$ (CRESESB, 2019). Foram consideradas as perdas no sistema fotovoltaico (perdas por temperatura, inclinação, azimute, efeito Joule, eficiência dos inversores, acúmulo de sujeira nos módulos, etc.), cujos valores variam entre 15% a 25% (Kikumoto, 2019), bem como o valor médio entre os coeficientes, de modo que o fator de performance é 0,8. A área (A) e a eficiência (η) do módulo fotovoltaico são respectivamente, 1,976 m^2 e 17%, desse modo, utilizando a Equação 2 a energia diária produzida por cada módulo no sistema é de:

$$E = 1,976 (m^2) \times 5,25 (kWh/m^2.dia) \times 0,17 \times 0,8 = 1,41 kWh/dia$$

Transformando o resultado em valores mensais (multiplicando por 30) e efetuando a razão entre a energia mensal necessária e a energia produzida tem-se que a quantidade mínima de módulos fotovoltaicos será:

$$Módulos = 871,86 (kWh/mês) / (1,41 (kWh/dia) \times 30) = 20,60 módulos$$

Logo, a quantidade mínima de módulos fotovoltaicos do gerador estabelecido é de 20 módulos de 335 Wp, resultando em uma potência total de 6,7 kWp.

Haja vista que o enfoque do presente trabalho é apresentar uma comparação da viabilidade econômica dos sistemas abordados, os cálculos das configurações elétricas do sistema serão suprimidos, porém o inversor fotovoltaico calculado é de 5 kW, o que permite o sobredimensionamento de módulos (*oversizing*), além disso o arranjo das séries fotovoltaicas (*strings*) respeita os seus limites de operação, estando em condições ótimas de orientação e inclinação, sem a incidência de sombreamento.

3.5 Aspectos técnicos do sistema de baterias

Para o dimensionamento do banco de baterias devem ser consideradas características específicas desta tecnologia de armazenamento de energia, tais como, a eficiência das baterias, o consumo das baterias (Ah/dia), os dias de armazenamento, a profundidade de descarga, a quantidade de baterias que serão necessárias, a capacidade das baterias (Ah), a tensão nominal das baterias, e o número de baterias em série e em paralelo (Jucá et al., 2013). A seguinte equação foi utilizada para determinar a capacidade nominal do banco de baterias:

$$C_{banco} = \frac{E \cdot (D_{aut} + 1)}{V_{nom} \cdot P_d \cdot \eta_b \cdot \eta_{inv}} \quad (5)$$

sendo E a energia dos equipamentos que serão alimentados [Wh/dia], Daut os dias de autonomia do banco de bateria [dias], Vnom a tensão nominal das baterias [Vcc], Pd a profundidade de descarga das baterias [%], ηb a eficiência de conversão das baterias, energia química em elétrica [%], ηinv e a eficiência de conversão dos parâmetros contínuos em alternado [%].

A Tabela 8 apresenta a potência dos equipamentos essenciais para atividade da produção leiteira, ou seja, que não podem ficar sem o atendimento da energia elétrica.

Tabela 8. Equipamentos essenciais à atividade de extração de leite na propriedade.

Atividade	Equipamento elétrico	Potência (W)
Ordena	Bomba de vácuo	2240
	Bomba	1490
Higienização	Resistência	1000
Armazenamento	Motor	1490
	Ventilador	340
	Misturador	190

Fonte: Autores.

Conforme os cenários apresentados, o banco de baterias deverá ser capaz de suprir, no mínimo, uma potência total de 6750 W, com um dia de autonomia, pelo período de uma ordenha (1 hora e 45 minutos ou 1,75 horas), o que resulta em um montante de 11,81 kWh/dia. Para determinar a capacidade nominal do banco de baterias considera-se: Daut: 1 dia; Vnom: 24V; Pd: 80%; ηb: 98%; ηinv: 95 %, resultando em:

$$C_{banco} = \frac{1.1812,5 \cdot (1 + 1)}{24 \cdot 0,8 \cdot 0,98 \cdot 0,95} = 1.321,66 \text{ Ah}$$

Assim, considerando a capacidade nominal unitária da bateria de 240 Ah, para a composição do banco de baterias será necessária a utilização de 6 baterias, em um arranjo de 3 baterias em série em paralelo, com outro grupo de 3 baterias em série.

3.6 Aspectos técnicos do motogerador

A Tabela 8 foi utilizada como base para o dimensionamento do sistema moto-gerador, de modo que a potência total a ser considerada é de 6.750 W ou 6,75 kW. Nominalmente os geradores são dimensionados pela potência aparente, e para tanto será considerado um fator de potência (FP) embasado na média da instalação (FP=0,8). A determinação da potência aparente (S) é determinada com base no triângulo de potências, desta forma, basta dividir a potência dos equipamentos pelo FP, logo a potência aparente (S) mínima é:

$$S = \frac{6,75}{0,8} = 8,43 \text{ kVA}$$

Para suportar a potência de pico dos equipamentos foi considerado um aumento de 30% na potência aparente encontrada, uma vez que os sistemas não entram em operação ao mesmo instante, sendo assim, o equipamento deve suportar a corrente de pico do equipamento de maior porte em conjunto com a potência dos demais:

$$S = (8,43) \cdot (1,3) = 10,96 \text{ kVA}$$

Desse modo, o gerador a ser escolhido deve ter potência nominal superior a 10,96kVA. O valor comercial mais próximo encontrado é de 12 kVA.

3.7 Levantamento do custo

Os equipamentos de geração fotovoltaica possuem uma vida estimada em 25 anos (Byd Solar, [s.d.]). A fim de adotar uma hipótese mais conservadora, será admitida uma vida útil de 20 anos, assim como para moto-gerador. Para as baterias, será considerada uma vida útil de 5 anos em virtude da baixa utilização e profundidade de descarga elevada (Freedom, [s.d.]).

Não será considerado custos de projeto e insumos de instalação, pois estes são variáveis. Todos os custos de aquisição de equipamentos serão no modal “a vista”. Os valores considerados para os sistemas de geração e armazenamento a serem analisados são apresentados na Tabela 9.

Além dos custos de aquisição também é necessário considerar o consumo de combustível do gerador de energia, para isso foi considerado um fator de utilização para o mesmo de 65% das horas consideradas para cada um dos cenários de estudo. Os valores do custo para a operação do gerador de energia são apresentados na Tabela 10.

Tabela 9. Custo dos sistemas considerados.

Sistema	Especificações mínimas	Custo
Usina Fotovoltaica / Inversor	6,7 kWp (módulos 335W) / 5 kW	R\$ 21.479,00
Banco de Baterias	240Ah / 220Ah	R\$ 6.690,42
Gerador de Energia	12 kVA / 220V / Gasolina	R\$ 9.261,13
Integrador	MATE3S	R\$ 1.819,28

Fonte: Autores.

Tabela 10. Custo para operação do gerador de energia.

Cenário	Horas/ano	Combustível	Custo/ano
Referência	13,11h	Gasolina Aditivada	R\$ 256,40
Pessimista	32,10h	Gasolina Aditivada	R\$ 627,56

Fonte: Autores.

3.8 Economia mensal estimada com a geração de energia

A fim de conhecer as receitas do projeto e elaborar a análise econômica é necessário definir a economia mensal. O produto entre a produção estimada e a tarifa (R\$ 0,42 / kWh) de energia determina aproximadamente as receitas (R) do projeto.

$$Receita = (871,86) \times (0,42) \times (12 \text{ meses}) = R\$ 4.394,16/ano$$

Por se tratar de um sistema conectado à rede, deve ser descontada das receitas os custos referentes à disponibilidade no sistema (DS), sendo que para a modalidade rural-trifásico é o custo é de 100 kWh/mês.

$$DS = (100 \text{ kWh/mês}) \times (R\$ 0,42/kWh) \times 12 \text{ meses} = R\$ 504,00/ano$$

Desse modo, a receita total (RT) anual a ser implementada na análise econômica é de:

$$RT = Receita - DS = R\$ 4.394,16 - R\$ 504,00 = R\$ 3.890,16/ano$$

A inflação (não considerada na economia) nas tarifas de energia elétrica já acumula uma alta de 11,55% no período de fevereiro a setembro de 2019 (IBGE, 2019), e estima-se que tal taxa permaneça aumentando no decorrer do período. As bandeiras tarifárias também não serão consideradas devido ao fato de serem critérios de difícil predição.

Os tributos, encargos e perdas também não serão analisados. Sendo assim, pode-se concluir que o cálculo das receitas é conservador. A economia real seria ao menos 10% maior do que a calculada.

3.9 Análise econômica

Os parâmetros financeiros, *payback* simples, TMA, *payback* descontado, VPL e TIR podem ser facilmente calculados utilizando as equações internas do MS Excel (2019). Para tanto, é necessário considerar um investimento de baixo risco como preceito para comparação ao investimento total. Logo, foi selecionada a taxa SELIC acumulada referente ao ano de 2018 (6,24%) para ser acrescida no projeto por ser a taxa base da economia nacional.

A Tabela 11 define o investimento inicial do projeto para as duas configurações estabelecidas: geração solar com armazenamento em baterias e geração solar com backup no moto-gerador.

Tabela 11. Custo inicial das configurações.

Configuração	Investimento inicial
Geração Fotovoltaica / Baterias	R\$ 29.988,70
Geração Fotovoltaica / Moto-gerador	R\$ 32.559,41

Fonte: Autores.

Os custos com o combustível no moto-gerador constituem uma despesa fixa anual, enquanto a substituição dos bancos de bateria é uma despesa quinquenal. Cabe ressaltar que a estimativa da vida útil do projeto é de 20 anos, e este será o tempo de duração total considerado para a viabilidade econômica. A perda da produção leiteira também é adicionada ao fluxo de caixa, uma vez que se não existisse o sistema alternativo de geração própria de energia, ela representaria um prejuízo.

O Quadro 1 apresenta todas as despesas e receitas para o cenário pessimista (CP) e referência (CR) para as configurações de geração solar e baterias. A coluna do fluxo de caixa é o “movimento” entre as entradas (receitas) e saídas (despesas), a partir do momento em que o fluxo se torna positivo, é interpretado que o projeto apresentou retorno, ou seja, possui certa viabilidade econômica.

Em resumo, para o Cenário Pessimista (CP), por relacionar uma maior receita, o projeto apresenta retorno em um menor período, entre 6 e 7 anos. Já para o Cenário Referência (CR), por relacionar uma menor receita, o projeto apresenta retorno em um maior período, entre 7 e 8 anos.

A análise do *payback* Simples referente à configuração, Geração Fotovoltaica e moto-gerador, seguiu o mesmo modelo apresentado no Quadro 1, e assim, para o Cenário Pessimista (CP), por esse relacionar uma maior receita, o projeto apresentou retorno em um menor período, entre 6 e 7 anos. Já para o Cenário Referência (CR) por relacionar uma menor receita, o projeto apresentou retorno em um maior período, entre 7 e 8 anos.

Comparando os sistemas em ambas as configurações, o sistema moto-gerador demonstrou ser mais viável, tanto no CP quanto no CR em relação ao sistema de baterias. Entretanto, há grande proximidade entre ambos, demonstrando que com relação ao parâmetro do *payback* simples os arranjos são equivalentes.

O *payback* descontado é um método semelhante ao simples, mas com adicional de taxa depreciativa nas receitas, equivalente ao valor perdido do capital a cada ano do projeto, correlacionando a taxa SELIC de 6,24% aa (2018) no estudo de caso, torna-se um método mais preciso de análise. O dinheiro perde valor naturalmente pela dinâmica do mercado, pelos juros e inflação.

O Quadro 2 apresenta as receitas descontadas e o fluxo de caixa descontado (fluxo de caixa aplicado a TMA para cada ano) para a configuração solar e baterias.

Quadro 1. Payback Simples - Configuração Geração Fotovoltaica e baterias para ambos os cenários.

CP				CR			
Ano	Despesas	Receitas	Fluxo de Caixa	Ano	Despesas	Receitas	Fluxo de Caixa
0	-R\$ 29.988,70	R\$ -	-R\$ 29.988,70	0	-R\$ 29.988,70	R\$ -	-R\$ 29.966,70
1	R\$ -	R\$ 5.295,16	-R\$ 24.693,54	1	R\$ -	R\$ 4.592,66	-R\$ 25.374,04
2	R\$ -	R\$ 5.295,16	-R\$ 19.398,38	2	R\$ -	R\$ 4.592,66	-R\$ 20.781,38
3	R\$ -	R\$ 5.295,16	-R\$ 14.103,22	3	R\$ -	R\$ 4.592,66	-R\$ 16.188,72
4	R\$ -	R\$ 5.295,16	-R\$ 8.808,06	4	R\$ -	R\$ 4.592,66	-R\$ 11.596,06
5	-6690,42	R\$ 5.295,16	-R\$ 10.203,32	5	-R\$ 6.690,42	R\$ 4.592,66	-R\$ 13.693,82
6	R\$ -	R\$ 5.295,16	-R\$ 4.908,16	6	R\$ -	R\$ 4.592,66	-R\$ 9.101,16
7	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 387,00	7	R\$ -	R\$ 4.592,66	-R\$ 4.508,50
8	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 5.682,16	8	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 84,16
9	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 10.977,32	9	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 4.676,82
10	-6690,42	R\$ 5.295,16	R\$ 9.582,06	10	-R\$ 6.690,42	R\$ 4.592,66	R\$ 2.579,06
11	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 14.877,22	11	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 7.171,72
12	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 20.172,38	12	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 11.764,38
13	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 25.467,54	13	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 16.357,04
14	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 30.762,70	14	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 20.949,70
15	-6690,42	R\$ 5.295,16	R\$ 29.367,44	15	-R\$ 6.690,42	R\$ 4.592,66	R\$ 18.851,94
16	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 34.662,60	16	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 23.444,60
17	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 39.957,76	17	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 28.037,26
18	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 45.252,92	18	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 32.629,92
19	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 50.548,08	19	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 37.222,58
20	R\$ -	R\$ 5.295,16	R\$ 55.843,24	20	R\$ -	R\$ 4.592,66	R\$ 41.815,24

Fonte: Autores.

Quadro 2. Payback Descontado - configuração solar e baterias para ambos cenários.

CP			CR		
Ano	Fluxo descontado	Receitas descontadas	Ano	Fluxo descontado	Receitas descontadas
0	-R\$ 29.988,70	R\$ 0,00	0	-R\$ 29.988,70	R\$ 0,00
1	-R\$ 25.004,55	R\$ 4.984,15	1	-R\$ 25.665,79	R\$ 4.322,91
2	-R\$ 20.313,15	R\$ 4.691,41	2	-R\$ 21.596,79	R\$ 4.069,00
3	-R\$ 15.897,29	R\$ 4.415,86	3	-R\$ 17.766,77	R\$ 3.830,01
4	-R\$ 11.740,80	R\$ 4.156,49	4	-R\$ 14.161,72	R\$ 3.605,06
5	-R\$ 7.828,44	R\$ 3.912,36	5	-R\$ 10.768,40	R\$ 3.393,31
6	-R\$ 4.145,87	R\$ 3.682,57	6	-R\$ 7.574,40	R\$ 3.194,01
7	-R\$ 679,60	R\$ 3.466,27	7	-R\$ 4.567,99	R\$ 3.006,41
8	R\$ 2.583,08	R\$ 3.262,68	8	-R\$ 1.738,16	R\$ 2.829,83
9	R\$ 5.654,13	R\$ 3.071,05	9	R\$ 925,45	R\$ 2.663,62
10	R\$ 8.544,80	R\$ 2.890,67	10	R\$ 3.432,62	R\$ 2.507,17
11	R\$ 11.265,69	R\$ 2.720,89	11	R\$ 5.792,53	R\$ 2.359,91
12	R\$ 13.826,76	R\$ 2.561,08	12	R\$ 8.013,84	R\$ 2.221,30
13	R\$ 16.237,41	R\$ 2.410,65	13	R\$ 10.104,67	R\$ 2.090,83
14	R\$ 18.506,47	R\$ 2.269,06	14	R\$ 12.072,70	R\$ 1.968,03
15	R\$ 20.642,26	R\$ 2.135,79	15	R\$ 13.925,14	R\$ 1.852,44
16	R\$ 22.652,60	R\$ 2.010,34	16	R\$ 15.668,77	R\$ 1.743,63
17	R\$ 24.544,87	R\$ 1.892,27	17	R\$ 17.309,99	R\$ 1.641,22
18	R\$ 26.325,99	R\$ 1.781,12	18	R\$ 18.854,82	R\$ 1.544,82
19	R\$ 28.002,50	R\$ 1.676,51	19	R\$ 20.308,91	R\$ 1.454,09
20	R\$ 29.580,54	R\$ 1.578,04	20	R\$ 21.677,59	R\$ 1.368,68

Fonte: Autores.

O cenário pessimista é menos afetado por apresentar receitas com valores maiores, enquanto o cenário referência sofre influência de tais taxas e tem um aumento significativo no custo total do projeto.

Em resumo, o Cenário pessimista (CP) por relacionar uma maior receita, o projeto apresenta retorno em um menor período, entre 7 e 8 anos. Já o Cenário referência (CR) por relacionar uma menor receita, o projeto apresenta retorno em um maior período, entre 8 e 9 anos.

Apesar da TMA aplicada a análise do *payback* descontado, os resultados obtidos são similares aos resultados do *payback* simples, contudo, há uma maior separação entre o tempo de amortização dos investimentos. O cenário pessimista continua sendo o mais atrativo em virtude da maior receita apresentada.

A análise do *payback* descontado referente a configuração, Geração Fotovoltaica e moto-gerador, seguiu o mesmo modelo apresentado no Quadro 2, e assim para o Cenário Pessimista (CP) o projeto apresenta retorno em um menor período, entre 7 e 8 anos, entretanto para o Cenário Referência (CR) o projeto apresenta retorno em um maior período, entre 9 e 10 anos.

O sistema de energia solar e moto-gerador foi o mais afetado no cenário referência pela depreciação do capital, aumentado em mais de 1 ano o tempo de retorno do investimento. O cenário pessimista continua a ser mais atrativo e o cenário referência sofre com um aumento significativo de tempo.

Verifica-se que o retorno de investimento através da metodologia do *Payback* Simples resulta em valores muito próximos para ambas as configurações propostas. Entretanto, ao analisar o método do Valor presente líquido (VPL) a configuração que emprega baterias resulta em valores superiores para ambos os cenários, pessimista e referência, sendo R\$ 29.580,54 e R\$ 21.667,59 respectivamente, enquanto que os valores referentes à configuração que emprega o moto-gerador são R\$ 27.009,83 e R\$ 19.106,88 para os cenários pessimista e referência, respectivamente.

Desse modo, o sistema que apresenta maior retorno para o investidor após finalização do projeto é a configuração composta pela geração fotovoltaica e o banco de baterias independente do cenário. Ademais, ao finalizar o projeto, no cenário pessimista, o investidor teria um capital com defasagem de R\$ 418,16 para reinvestir em um projeto de mesma magnitude. Pela premissa da inflação da energia, aumento da tecnologia solar e de armazenamento, no período de 20 anos, o projeto poderia ser reinvestido de maneira integral.

Referente a Taxa interna de retorno (TIR), a TIR resultante do investimento deve ser maior que a TMA ($TIR > TMA$), caso contrário, é mais atrativo realizar o investimento em outras áreas que considerem a lucratividade da TMA. A TIR para a configuração solar e baterias foi de 9% para o cenário pessimista e 5% para o cenário referência, enquanto a TIR para a configuração solar e moto-gerador foi de 9% e 7% para os cenários pessimista e referência, respectivamente. Por tanto, o único projeto viável, de acordo com a variável TIR, em todos os cenários é a configuração solar e moto-gerador, sendo a configuração solar e banco de baterias viável apenas no cenário pessimista.

A taxa de lucratividade é outra variável a ser considerada na análise econômica, haja vista que ela demonstra a relação entre o lucro líquido em um determinado período de tempo e a receita total no mesmo período de tempo. Ou seja, a taxa de lucratividade demonstra o quanto de capital o investidor terá em valores presentes (término do projeto) em relação ao dinheiro investido (início do projeto).

A TMA para a configuração solar e baterias foi de 1,99% para o cenário pessimista e 1,72% para o cenário referência, enquanto a TMA para a configuração solar e moto-gerador foi de 1,83% e 1,59% para os cenários pessimista e referência, respectivamente. Desse modo, a partir da taxa de lucratividade, verifica-se que há retorno em todas as configurações e cenários.

4. Conclusão

O presente trabalho apresentou uma solução de geração de energia elétrica viável em âmbito técnico e econômico para pequenos e médios produtores de leite. O sistema proposto tem como objetivo proporcionar maior confiabilidade no fornecimento de energia elétrica em períodos de interrupção da rede de distribuição, assegurando assim a manutenção dos processos de produção e o armazenamento do leite.

O emprego do agente integrador MATE3s garante a viabilidade técnica do conjunto de tecnologias de fornecimento de energia elétrica propostas. O integrador oferece o equilíbrio entre o uso de energia armazenada, gerada pelos painéis fotovoltaicos ou moto-gerador e fornecida pela rede, controlando de modo automatizado as fontes para superar oscilações, picos de carga e interrupções.

Do ponto de vista econômico, ambos os sistemas são viáveis, apresentando retorno do investimento entre 6 e 8 anos no parâmetro do payback simples e retorno entre 7 e 9 anos na variável do payback descontado. Comparando ambos os sistemas, o sistema fotovoltaico com uso de banco de baterias em análise descontada apresentou um retorno anterior ao sistema fotovoltaico com moto-gerador, no entanto em análise simples o sistema com moto-gerador apresentou o retorno do investimento em um período de tempo inferior.

Em análise comparativa entre os indicadores financeiros, o sistema fotovoltaico com uso de banco de baterias apresentou maior retorno no término do período em análise tanto no cenário de referência quanto no cenário pessimista. Com relação à taxa de retorno do investimento (TIR), ambos os sistemas mostraram-se atrativos em relação ao cenário pessimista, apresentando valores acima da TMA, no entanto sob as características do cenário de referências, apenas o sistema de baterias apresentou um resultado acima da taxa mínima de atratividade.

Quanto à lucratividade, ambos os sistemas apresentam lucro sobre o investimento inicial em ambos os cenários, entretanto, os sistemas podem ser caracterizados como investimento em uma possível faixa de risco.

Adotando um caráter mais conservador em relação aos períodos de interrupção e ao sistema de geração fotovoltaico, uma vez que esse foi dimensionado para o consumo da produção de leite da propriedade, os resultados obtidos estão dentro do esperado. Entende-se também que a pior qualidade do fornecimento de energia elétrica proveniente da distribuidora resulta em indicadores financeiros melhores, diminuindo assim o risco do investimento em sistemas auxiliares de geração.

Como trabalho futuro sugere-se analisar a viabilidade técnica e econômica de um sistema de biodigestão utilizando resíduos agropecuários da propriedade a fim de produzir biogás para ser empregado como combustível alternativo em um moto-gerador.

Referências

- Alves, H. J., Melchhiades, F. G. & Boschi, A. O. (2007). Levantamento Inicial do Consumo de Energias Térmica e Elétrica na Indústria Brasileira de Revestimentos Cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, 12 (1/2), 17–21.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. (2018). *Qualidade da energia elétrica: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional* – PRODIST, Módulo 8.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. (2016). *Qualidade na distribuição*. 2016. <http://www.aneel.gov.br/qualidade-na-distribuicao>.
- Bernardi, A. C. C., Junior, A. L., Perez, N. B., & Inamasu, R. Y. (2017). *Potencial de uso das tecnologias de agricultura e pecuária de precisão e automação*. Embrapa Pecuária Sudeste, 25p.
- Byd Solar. PHK-36-SERIES-5BB (325-340W), Datasheet, [s.d.].
- Castanheira, A. C. G., & Neves, K. C. L. (2018). *A importância da temperatura no armazenamento do leite*. <https://brqualityconsultoria.com.br/a-importancia-da-temperatura-no-armazenamento-do-leite/>.
- CRESESB. (2019). *Irradiação solar no plano inclinado – Pirassununga-SP*. <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>.
- Diário dos Campos. (2019). *Energia elétrica ainda se impõe como gargalo no campo*. <https://www.diariodoscampos.com.br/noticia/energia-eletrica-ainda-se-impoe-como-gargalo-no-campo>.

- Dias, E. B. (2002). *Avaliação de indicadores de continuidade e seu impacto no planejamento de sistemas de distribuição*. Dissertação Departamento de Energia e Automação Elétricas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. (2017). *Balanço Energético Nacional 2017: Ano base 2016*. p. 291.
- EVO, Efficiency Valuation Organization, IPMVP, International Performance Measurement and Verification Protocol. (2012). www.evo-world.org.
- FAESC. (2019). *Falta de energia elétrica causa prejuízos à agropecuária em Santa Catarina*. <https://canalrural.uol.com.br/noticias/falta-energia-eletrica-causa-prejuizos-agropecuaria-santa-catarina-24800>.
- Ferreira, F. C., Siqueira, K. B., & Pereira, L. G. R. (2015). A pecuária leiteira de precisão sob a ótica econômica. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, 79, 137–145.
- Freedom. Bateria Estacionária Freedom, Datasheet. [s.d.].
- G1. (2013). *Produtores de leite alegam prejuízos com falta de energia elétrica*. <http://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2013/03/produtores-de-leite-alegam-prejuizos-com-falta-de-energia-eletrica.html>.
- G1. (2018). *Produtores perdem mil litros de leite em apagão causado por chuvas, em distrito de Paranavaí*. <https://g1.globo.com/pr/norte-noroeste/noticia/2018/10/20/produtores-perdem-mil-litros-de-leite-em-apagao-causado-por-chuvas-em-distrito-de-paranavai.ghtml>.
- Gil, A. C. (2007). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. (5ª ed.), Atlas.
- IBDC, Instituto Brasileiro de Defesa ao Consumidor. (2018). *Avaliação da qualidade do serviço de fornecimento de energia das concessionárias e permissionárias brasileiras: Programa de Energia e Sustentabilidade*. São Paulo.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). *IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo*. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?edicao=20932&t=series-historicas>.
- Instituto Acende Brasil. (2014). *Qualidade no fornecimento de energia elétrica: confiabilidade, conformidade e prestação*. White Paper 14, São Paulo, 36 p.
- Jornal do Comercio. (2019). *Mecanização da atividade leiteira avança no campo*. https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/2018/03/especiais/expodireto_2018/614446-mecanizacao-da-atividade-leiteira-avanca-no-campo.
- Jucá, S. C., De Carvalho, P. C. Marques. (2013). *Métodos de dimensionamento de sistema fotovoltaicos: aplicações em dessalinização*. Espaço Científico Livre.
- Kikumoto, B. (2019). *Sistemas Fotovoltaicos - Módulo Comercial - Vendas*.
- Lamin, H. (2015). *Qualidade da energia elétrica fornecida ao meio rural brasileiro: ANEEL*.
- Oliveira, A. (2011). *Setor elétrico: desafios e oportunidades*. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA.
- Outback Power. MATE3s. (2017). *Advanced System Display and Communications*, Datasheet.
- Richardson, R. J. (2017). *Pesquisa social: métodos e técnicas*. (4a ed.), Atlas.
- Szyska, E., & Americo, M. (2004). *Metodologia de realização de diagnóstico energético: guia avançado*. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 51 p. (Eficiência Energética Industrial).