

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA**

NATÁLIA ANDRESSA MALACARNE

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE GERADOR A DIESEL E DE UM SISTEMA
SOLAR FOTOVOLTAICO ON-GRID EM AVIÁRIOS DE FRANGO DE CORTE EM
TOLEDO - PARANÁ**

DOURADOS, 2023

NATÁLIA ANDRESSA MALACARNE

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE GERADOR A DIESEL E DE UM SISTEMA
SOLAR FOTOVOLTAICO ON-GRID EM AVIÁRIOS DE FRANGO DE CORTE EM
TOLEDO - PARANÁ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.06-1, Instalações Elétricas Prediais e Industriais, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Aureo Cezar de Lima

DOURADOS, 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M237a Malacarne, Natalia Andressa

ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE GERADOR A DIESEL E DE UM SISTEMA SOLAR FOTVOLTAICO ON-GRID EM AVIÁRIOS DE FRANGO DE CORTE EM TOLEDO - PARANÁ [recurso eletrônico] / Natalia Andressa Malacarne. -- 2023.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Prof. Dr. Aureo Cezar de Lima.

TCC (Graduação em Engenharia de Energia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. geração solar fotovoltaica on-grid. 2. aviário. 3. gerador a diesel. I. Lima, Prof. Dr. Aureo Cezar De. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

NATÁLIA ANDRESSA MALACARNE

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE GERADOR A DIESEL E DE UM SISTEMA
SOLAR FOTOVOLTAICO ON-GRID EM AVIÁRIOS DE FRANGO DE CORTE EM
TOLEDO - PARANÁ**

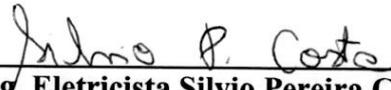
Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.06-1, Instalações Elétricas Prediais e Industriais, pela comissão formada por:



Orientador: Prof. Dr. Aureo Cezar Lima
FAEN – UFGD



Prof. Etienne Biasotto
FAEN – UFGD



Eng. Eletricista Silvio Pereira Costa
PU – UFGD

DOURADOS -MS
08 DE MAIO DE 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai Ademar Malacarne, a minha mãe Andréia Malacarne e aos familiares por estarem presentes em todos os momentos, me apoiando e incentivando em minha trajetória.

Ao meu padrinho Gilmar Malacarne, por me auxiliar no desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Aureo Cesar Lima por me acompanhar e me guiar nas escolhas e desenvolvimento desse projeto.

Aos professores e demais servidores da UFGD que se dedicaram em passar seus conhecimentos ao longo de toda a jornada acadêmica.

E aos meus amigos que colaboraram para a minha formação e que compartilharam todos os momentos no decorrer do curso.

RESUMO

O crescimento da demanda energética e a forte preocupação com a sustentabilidade geram a busca por fontes alternativas de energia elétrica, sendo a principal delas a energia solar fotovoltaica. Dentre os custos dos aviários de frango de corte destaca-se a energia elétrica, que representa 18% do total, devido a climatização controlada e outros sistemas automatizados, de forma que a implantação de um sistema solar fotovoltaico se torna uma solução que deve ser analisada para reduzir os gastos com energia. O gerador a diesel em regime *standby* é uma solução para a não confiabilidade no fornecimento da energia elétrica da concessionária, uma vez que a interrupção pode gerar prejuízos que variam de 100 a 250 mil reais, dependendo da duração, do clima e do período de engorda das aves. Assim, este trabalho foi desenvolvido em um conjunto de três aviários de frango de corte com produção de 32.000 aves por lote, localizados em Vila Nova, distrito de Toledo - Paraná. O estudo apresenta o dimensionamento e a avaliação econômica de um projeto de geração solar fotovoltaico *on-grid* e da implantação de gerador a diesel. O projeto do sistema fotovoltaico *on-grid* analisado apresentou um *payback* descontado de 6 anos e 9 meses, VPL de R\$ 957.302,16 e TIR de 236,81%, um ganho econômico de 8% para os primeiros 10 anos e 26% para os últimos 15 anos, do faturamento dos aviários, além do impacto ambiental positivo, visto que pode evitar a emissão de 12.757,04 kgCO₂/ano. A implementação do gerador a diesel, por sua vez, analisada em seis cenários, resultou para o cenário 1 em VPL de R\$ 4.604.812,56 e TIR de 333,89%; constatando os benefícios financeiros e ambientais, bem como a viabilidade econômica da instalação do gerador a diesel e do sistema de geração de energia solar fotovoltaica em aviários de frango de corte.

Palavras-chave: geração solar fotovoltaica *on-grid*, aviário, gerador a diesel.

ABSTRACT

The growth in energy demand and the strong concern for sustainability generate the search for alternative sources of electricity, the main one being photovoltaic solar energy. Among the costs of broiler aviaries, electricity stands out, which represents 18% of the total, due to controlled climate control and other automated systems, so that the implementation of a photovoltaic solar system becomes a solution that must be analyzed for reduce energy costs. The diesel generator on standby is a solution to the unreliability of the utility's electricity supply, since a failure or interruption can generate losses ranging from 100 to 250 thousand reais, depending on the duration, weather, and period. of poultry fattening. Thus, this work was developed in a set of three poultry aviaries with a production of 32,000 birds per lot, located in Vila Nova, district of Toledo - Paraná. The study presents the design and economic evaluation of an on-grid photovoltaic solar generation project and the implementation of a diesel generator. The analyzed on-grid photovoltaic system project presented a discounted payback of 6 years and 9 months, NPV of 957,302.16 and IRR of 236,81%, an economic gain of 8% for the first 10 years and 26% for the last 15 years, of the revenue of the aviaries, in addition to the positive environmental impact, since it can avoid the emission of 12.757,04 kgCO₂/year. The implementation of the diesel generator, in turn, analyzed in six scenarios, resulted in scenario 1 in NPV of R\$ 4.604.812,56 and IRR of 333,89%; noting the financial and environmental benefits, as well as the economic viability of installing a diesel generator and a photovoltaic solar energy generation system in broiler chicken farms.

Keywords: On-grid photovoltaic solar generation, aviary, diesel generator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Evolução do abate de frangos no Brasil entre 2016 e 2022.....	14
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira 2021.	18
Figura 3 - Esquema representativo dos componentes de uma instalação fotovoltaica <i>on-grid</i> .20	
Figura 4 - Aviários analisados em Toledo PR, 2023.....	27
Figura 5 - Imagem interna do aviário de Toledo - PR.....	28
Figura 6 - Imagem externa dos aviários de Toledo - PR.....	29
Figura 7 - Exaustores dos aviários de Toledo – PR.....	30
Figura 8 - Comedouros dos aviários de Toledo - PR.	30
Figura 9 - Placas evaporativas dos aviários de Toledo - PR.	31
Figura 10 - Demanda (kW) de 1 a 10 dias dos três aviários de Toledo - PR.	32
Figura 11 - Demanda (kW) de 21 a 28 dias dos três aviários de Toledo - PR.	32
Figura 12 - Demanda (kW) de 35 a 45 dias dos três aviários de Toledo - PR.	33
Figura 13 - Inversor Solis 60 kW.	37
Figura 14 - Energia média gerada pelo sistema orçado (kWh/mês).....	38
Figura 15 - Energia média gerada pelo sistema dimensionado (kWh/mês).	38
Figura 16 – Dados de entrada do <i>software</i> de simulação PVWatts (kWh/mês).....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico de Consumo (kWh) dos aviários no ano de 2022.....	34
Tabela 2 - Irradiação Solar em Toledo PR, 2022.	35
Tabela 3 – Rendimentos considerados nos elementos do sistema solar <i>on-grid</i>	36
Tabela 4 - Dados de entrada do <i>software</i> de simulação PVWatts (kWh/mês).....	40
Tabela 5 - Cargas de cada equipamento de um aviário de Toledo - PR.....	41
Tabela 6 - Fluxo de caixa do sistema fotovoltaico <i>on-grid</i>	43
Tabela 7 - Resultados do prejuízo nos três aviários em 2022.	44
Tabela 8 - Fluxo de caixa anual do gerador a diesel.	45
Tabela 9 - Fluxo de caixa mensal do gerador a diesel, cenário 1.....	46
Tabela 10 - Fluxo de caixa para o gerador a diesel descontando a queda de 15 h.	47
Tabela 11 - Resultados da análise do gerador a diesel descontando a queda de 15 h.	47
Tabela 12 – Custo da energia elétrica da COPEL e do financiamento da usina solar fotovoltaica para três aviários em Toledo - PR em 2022.	48
Tabela 13 – Benefício da usina de geração solar fotovoltaica nos primeiros 10 anos e nos últimos 15 anos do projeto para três aviários em Toledo - PR em 2022.....	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
OPEX	Despesas Operacionais
PU	Prefeitura Universitária
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SIN	Sistema Interligado Nacional
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFGD	Universidade Federal da Grande Dourados
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	ENERGIA E A AVICULTURA DE CORTE	16
2.1	CONSUMO ENERGÉTICO	16
2.2	GERADORES DE ENERGIA	16
2.3	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	17
2.4	SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO <i>ON-GRID</i>	19
3	DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA	20
3.1	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO <i>ON-GRID</i>	20
3.2	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR A DIESEL	23
3.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	24
3.3.1	Valor Presente Líquido.....	24
3.3.2	Payback Descontado	25
3.3.3	Taxa Interna de Retorno	25
3.3.4	Análise de lucros	25
3.4	ANÁLISE AMBIENTAL.....	26
4	ESTUDO DE CASO DOS AVIÁRIOS DE TOLEDO – PR.....	27
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AVIÁRIOS EM ESTUDO	27
4.2	CONSUMO ENERGÉTICO	29
4.3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	34
4.3.1	Proposta comercial do sistema fotovoltaico <i>on-grid</i>	37
4.4	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR A DIESEL	41
4.5	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	42
4.5.	Avaliação econômica da usina de geração solar fotovoltaica.....	42
4.5.1	Avaliação econômica do grupo motor gerador a diesel	44
4.5.1	Benefícios da usina de geração solar fotovoltaica.....	48

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
	ANEXOS	55

1 INTRODUÇÃO

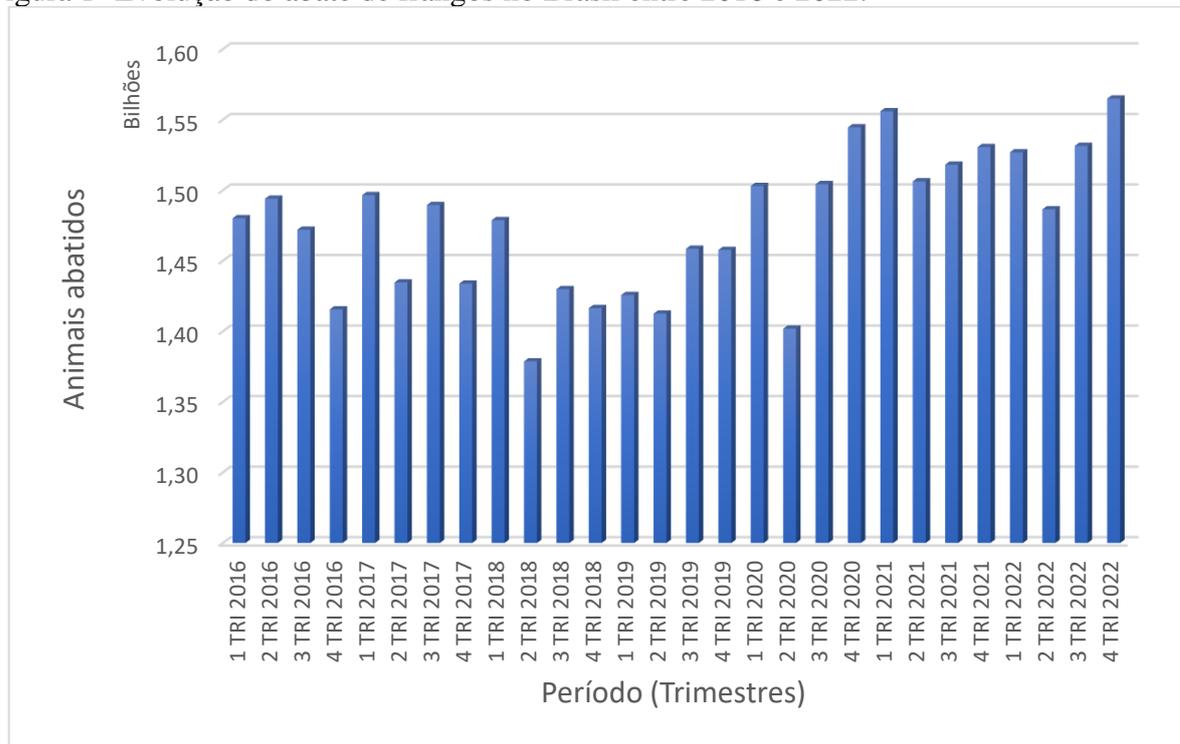
A avicultura brasileira possui grande importância no cenário mundial atualmente, contudo este ramo teve início na década de 30, onde pequenos produtores começaram a criar galinhas caipiras para a subsistência e comercialização. Apenas na década de 70 houve uma profissionalização do segmento, com a implementação de novas técnicas de produção de frango de corte (SANTOS, MIELE, MARTINS & TALAMINI, 2010).

O avanço das tecnologias possibilitou a modificação dos processos produtivos, a criação de novos produtos e maquinários e a evolução genética, surgindo novas linhagens de aves mais produtivas e resistentes a doenças. Isso possibilitou o aumento da produção e a otimização dos processos produtivos para acompanhar o crescimento da demanda por alimento.

A avicultura de frango de corte é um setor lucrativo e em constante crescimento devido à demanda mundial e nacional de alimento, sendo esta última responsável pelo maior consumo da produção do Brasil. A demanda por alimento cresceu muito nos últimos anos e, em especial da carne de frango – o consumo anual per capita aumentou de 2,3 kg em 1970 para 45 kg em 2020, representando um crescimento de 1.856% (O PRESENTE RURAL, 2022).

O grande responsável por impulsionar este mercado foi a parceria entre frigoríficos e produtores, que teve início com o sistema de Integração Vertical no estado de Santa Catarina, onde a indústria fornece insumos e assistência técnica aos produtores, garantindo melhor qualidade e produtividade. Este modelo proporcionou um apoio ao avicultor, visto que a indústria se tornou a responsável por fornecer os principais insumos e assistência técnica. Dessa forma, a avicultura passou de apenas uma pequena atividade familiar de consumo próprio, para uma criação em escala industrial. Em 2022 a avicultura brasileira exportou cerca de 4,8 milhões de toneladas de carne de frango, tornando-se o maior exportador global (ABPA, 2022).

Figura 1- Evolução do abate de frangos no Brasil entre 2016 e 2022.



Fonte: IGBE, adaptado pela autora, 2023.

A Figura 1 apresenta a tendência de crescimento no abate de frangos ao longo dos anos, tendo finalizado o quarto trimestre de 2022 com o maior abate, sendo este de 1.564.983.384 cabeças de frango. Ao se analisar o período de 2016 a 2022, observa-se um aumento de 4,2% no número de aves abatidas no Brasil, uma vez que foi registrado 6.109 milhões de aves em 2022, e 5.861 milhões em 2016.

Para acompanhar esse alto crescimento da produção, se faz necessária a construção de novos aviários. É importante destacar que a operação eficiente do ciclo de criação de frangos de corte requer a utilização de diversos equipamentos específicos, tais como aquecedores, lâmpadas, comedouros, bebedouros e placas evaporativas para resfriamento do ambiente.

O conforto térmico nos aviários ao longo do ciclo de engorda é importante para o desenvolvimento dos frangos, pois as aves são muito sensíveis à mudança de temperatura, podendo facilmente morrer de frio ou de calor. Além disso, a iluminação, os comedouros e os bebedouros são controlados para garantir o crescimento saudável e o peso ideal das aves para o abate. Com isso, a demanda de energia elétrica em um aviário é elevada, sendo o principal responsável pelos custos do aviário, representando cerca de 18% dos custos totais (CERATTO, 2015). Em casos de instabilidade na rede elétrica, toda a produção pode ser prejudicada com a morte das aves, gerando um alto prejuízo para o avicultor. Esse prejuízo

depende do tamanho do aviário, do período em que o lote se encontra, e da temperatura do ambiente, podendo variar de 100 a 250 mil reais (PROPRIETÁRIO DOS AVIÁRIOS EM ESTUDO, 2023).

Com base nisso, observa-se que a redução do custo da energia deve ser tratada com prioridade no ramo avícola, bem como a necessidade da solução à instabilidade no fornecimento da energia elétrica, em especial, por se tratar em área rural. Diante disso, a proposta deste trabalho é dimensionar e analisar a viabilidade econômica da implantação de um gerador a diesel e de uma usina de geração de energia solar fotovoltaica *on-grid* para garantir confiabilidade do fornecimento da energia e suprir a demanda energética de 3 aviários em Vila Nova, distrito de Toledo – Paraná.

2 ENERGIA E A AVICULTURA DE CORTE

Este Capítulo apresenta explicação sobre o consumo energético de aviários, de geradores de energia e de sistema solar fotovoltaico.

2.1 CONSUMO ENERGÉTICO

A avicultura de corte teve um expressivo crescimento ao longo dos anos, principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Segundo o Relatório Anual ABPA, 2022, em 2021, o Paraná é o Estado que lidera o ranking nacional de abate, com 35,5%, seguido por Santa Catarina com 14,9% e Rio Grande do Sul com 13,7%.

Atualmente, devido a modernização e modificações genéticas, é possível obter um lote completo de aves prontas para o consumo em cerca de 45 dias. A velocidade desse processo é impressionante, especialmente quando comparada ao início da avicultura no Brasil, onde levava cerca de seis meses para atingir o peso de abate (IFOPE, 2021).

Nos períodos de frio, a temperatura ambiente se encontra abaixo das condições ideais para as aves, sendo necessária uma fonte de aquecimento suplementar, enquanto no verão, necessita de uma ventilação adequada para resfriar o ambiente. Este segmento necessita de diversos cuidados para garantir o crescimento do frango para o abate, resultando em um alto consumo energético – dentre esses cuidados, destaca-se o controle da climatização, alimentação e bebedouros.

Devido à alta demanda energética e preocupações com a instabilidade das redes elétricas, busca-se diferentes fontes de geração própria, entre elas tem-se os geradores a diesel e sistemas fotovoltaicos *on-grid*.

2.2 GERADORES DE ENERGIA

O pleno funcionamento dos equipamentos que mantêm a temperatura adequada e os comedouros em funcionamento, garantem que o ciclo de engorda ocorra da maneira correta. Visto que a rede de energia pública é suscetível a quedas no fornecimento, é necessário dispor de outra fonte para se evitar a morte, ou redução do ganho de peso das aves. Estes geradores, por sua vez, necessitam de manutenção e, semanalmente devem ser testados para garantir seu funcionamento quando solicitados.

Existem diversos tipos de geradores de energia elétrica – os geradores a diesel e a gás natural são indicados de acordo com a necessidade e a disponibilidade do combustível no local. Os geradores a gás são preferíveis para condomínios e pequenos comércios que

disponham de rede pública de gás, enquanto os geradores a diesel são preferíveis para indústrias e aviários devido ao transporte do combustível. Um grupo gerador a diesel, por exemplo, consiste em um conjunto composto por um motor de combustão a diesel e um gerador de corrente alternada destinado a produzir energia elétrica (ZORZETTO & CAUDURO, 2015).

Os geradores podem operar em três classificações diferentes, sendo elas, regime *standby*, regime *prime* e regime contínuo. O regime *standby* funciona como uma reserva da fonte principal de energia elétrica, dessa forma, é utilizado quando ocorre interrupção no fornecimento principal de energia. Para cargas variáveis, o fornecimento de energia ocorre por um período máximo de 200 horas por ano com fator médio de consumo de 80% da classificação *standby*, como também por um período máximo de 25 horas por ano com consumo de carga de 100% da classificação *standby* (ZORZETTO & CAUDURO, 2015).

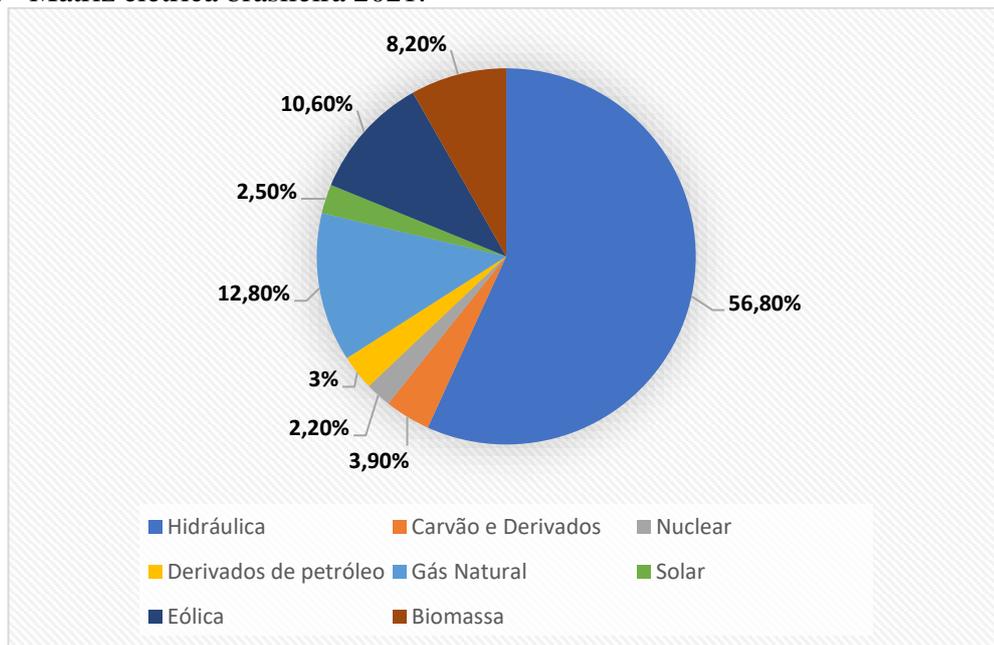
O regime *prime* são situações em que o fornecimento de energia elétrica proveniente do gerador substitui a energia da distribuidora, ou seja, geradores que operam como fonte principal de energia. Pode ser classificado como carga variável, sem limitação nas horas de utilização diária, desde que a média diária das cargas não supere 70% do pico máximo de potência a ser consumida (CUMMINS POWER GENERATION, 2011), indicado para carga constante, sobretudo, com limitação nas horas diárias de uso. Um exemplo desta aplicação é a substituição da concessionária nas três horas de ponta para consumidores do Grupo A.

Por fim, o regime contínuo de operação se refere aos geradores utilizados como fonte principal de fornecimento energético, sem limitação na quantidade de horas diárias de uso e com carga constante.

2.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é a energia gerada através da conversão da radiação solar em eletricidade, e surge como opção de geração para os aviários. É uma forma de gerar energia que vem ganhando espaço na matriz elétrica brasileira por ser não esgotável e por não emitir gases poluentes.

Figura 2 - Matriz elétrica brasileira 2021.



Fonte: EPE, 2021, adaptado pela autora.

No Brasil, a utilização da energia solar fotovoltaica para microgeração e minigeração é regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), atualmente, através da Lei 14.300, publicada em 6 de janeiro de 2022, com revisão da Resolução Normativa 1059 de 2023. Essa regulamentação tem como objetivo aprimorar as regras relativas à conexão e faturamento das centrais de micro e minigeração distribuída no sistema de distribuição de energia elétrica, como também as regras do sistema de compensação de energia elétrica.

A adoção de um sistema solar fotovoltaico traz benefícios ambientais associados ao uso dessa tecnologia e benefícios econômicos, tais como a não necessidade de degradação de áreas para a geração de energia e a economia proveniente da redução do uso da energia elétrica da concessionária, uma vez que pode reduzir em até 95% os gastos com energia elétrica (SEBRAE, 2022).

A geração da energia proveniente do sol ocorre com o chamado efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico consiste na absorção da luz solar, que resulta em uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor do módulo fotovoltaico, ocasionando a conversão direta da radiação solar em energia elétrica (NASCIMENTO, 2004). Os módulos fotovoltaicos são responsáveis pela captura da energia do Sol incidente e a sua transformação em energia elétrica de corrente contínua, enquanto os inversores de frequência transformam a corrente contínua em corrente alternada para ser consumida.

2.4 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO *ON-GRID*

O sistema solar fotovoltaico *on-grid* funciona conectado à rede pública de distribuição de energia elétrica. Neste sistema, os módulos fotovoltaicos geram energia elétrica em corrente contínua, sendo necessário um inversor para transformá-la em corrente alternada para, então, conectar à rede elétrica. Assim, há um consumo instantâneo e, a energia produzida e não consumida, é injetada na rede da concessionária de energia – esse modelo é utilizado quando há acesso à rede de distribuição, de forma que dispensa o uso de baterias.

Denomina-se microgeração distribuída sistemas com potência até 75 kW e minigeração distribuída sistemas acima de 75 kW até 5 MW (ANEEL, 2022). O Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) possibilita que a geração não consumida instantaneamente se transforme em créditos de energia que podem ser utilizados nos momentos em que o sistema não está gerando. Tais créditos podem ser utilizados em até 60 meses após sua inserção na rede elétrica (ANEEL, 2022).

O sistema *on-grid* também é vantajoso para quem possui mais de um imóvel, uma vez que o excedente de energia pode ser consumido em outra unidade, desde que possuam a mesma titularidade e estejam localizadas na mesma concessionária de distribuição (ANEEL, 2012).

Visto que este sistema somente pode funcionar quando há disponibilidade da energia proveniente da concessionária, nos momentos de falta de energia, o inversor desconecta da rede, sendo necessário a utilização de geradores para garantir a continuidade do fornecimento de energia e evitar prejuízos ao produtor.

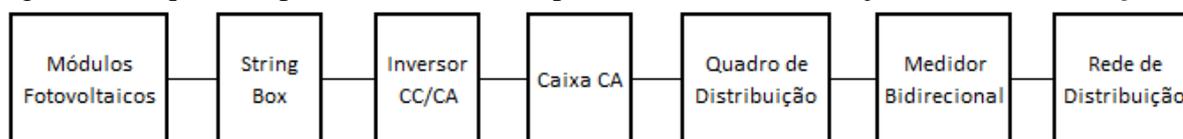
3 DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Este Capítulo apresenta o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico *on-grid*, e do gerador a diesel, bem como a análise de viabilidade econômica.

3.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID*

O sistema de energia solar fotovoltaica é constituído pelos módulos fotovoltaicos, *string box*, inversor, caixa de Corrente Alternada (CA), quadro de distribuição e medidor bidirecional de energia, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Esquema representativo dos componentes de uma instalação fotovoltaica *on-grid*.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os módulos fotovoltaicos captam a radiação solar e a convertem em energia elétrica, o inversor é responsável por converter a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada e, por último, o medidor bidirecional mede a energia consumida da concessionária e a injetada na rede separadamente.

Tanto a *string box* quanto a caixa CA são componentes dos sistemas de proteção. Elas contêm chaves e disjuntores necessários para proteger e isolar os sistemas CC e CA em caso de sobrecarga ou curto-circuito, bem como os DPS (Dispositivo de Proteção de Surtos) que protegem contra sobretensões ocasionadas por manobras ou descargas atmosféricas.

Para dimensionar um sistema solar fotovoltaico, se faz necessário o histórico de consumo da unidade. Com o histórico de consumo, pode-se seguir os seguintes cálculos para dimensionar o sistema: média do consumo mensal, média do consumo diário, irradiação solar média, fator horas de sol pleno (HSP), perdas do sistema, rendimento do sistema, potência total dos módulos, quantidade total de módulos, potência total do sistema e, por fim, escolha do inversor.

O cálculo da média de consumo mensal nos aviários é realizado através da Equação 1.

$$C_{mensal} = \frac{\sum C_m}{n} \quad (1)$$

Sendo:

C_{mensal}	Consumo médio mensal (kWh);
C_m	Consumo de cada mês (kWh);
n	Número de meses analisados, para o caso, 12.

Encontra-se, então, o Consumo médio diário, $C_{diário}$, em kWh/dia. Para isso utiliza-se a Equação 2 e considera-se o mês com 30 dias.

$$C_{diário} = \frac{C_{mensal}}{30} \quad (2)$$

Para se obter a Irradiação solar média do local em kWh/m².dia pode ser utilizado o PVWatts Calculator, a partir da inserção do nome da cidade desejada. Em seguida, é necessário se calcular o fator Horas de Sol Pleno - HSP, para se obter a quantidade de horas por dia em que se tem a Irradiação padrão de 1.000 W/m². O fator HSP é calculado conforme a Equação 3 (PASSOS, 2021).

$$HSP = \frac{\text{Irradiação solar média do local}}{1.000} \quad (3)$$

Para se obter as perdas por temperatura, foi considerada a média dos máximos valores da região, Weather Spark (2023) e, a partir dela, foi adicionado 20°C para considerar a temperatura dos painéis solares (CÉLULA ENERGIA, 2020). Para cada °C de aumento de temperatura do módulo fotovoltaico acima dos 25 °C, que é a condição padrão de testes dos módulos, tem-se uma queda percentual da eficiência, disponível no *datasheet* do módulo.

Para as perdas por sombreamento, estipula-se 0% pois os aviários em estudo se localizam em uma área aberta e sem nenhum elemento que poderia causar sombreamento. Já as perdas por sujeira e poeira podem variar de 0 a 4% em locais com chuvas periódicas e até 25% em locais secos (MODEL, 2021).

As perdas de energia pela influência do rendimento do inversor, conversão de corrente contínua para corrente alternada, estipulam-se 2%, enquanto o *mismatch*, devido a incompatibilidade elétrica ou descasamento da energia gerada entre os módulos do mesmo arranjo fotovoltaico, considera-se 3%.

Há, ainda, perdas de tensão, definida em 2% e perdas nos pontos de conexão, definida em 0,5% – denominadas “outras perdas” (MODEL, 2021).

Por fim, calcula-se o Fator de perda (F_h), onde h_1 é referente à influência da temperatura, h_2 a perdas por sombreamento, h_3 perdas por sujeira e poeira, h_4 perdas do inversor, h_5 perdas por *mismatch* e h_6 , outras perdas. Tais cálculos são realizados com a utilização da Equação 4.

$$F_h = 100 - h_n \quad (4)$$

Sendo:

F_h	Fator de perda (%);
h_n	Perda considerada (%).

Para se obter o rendimento do sistema, multiplica-se os fatores de perda conforme a Equação 5.

$$\eta = F_{h1} * F_{h2} * F_{h3} * F_{h4} * F_{h5} * F_{h6} \quad (5)$$

Sendo:

η	Rendimento do sistema ();
F_{h1}	Fator de perda para h_1 (temperatura) ();
F_{h2}	Fator de perda para h_2 (sombreamento) ();
F_{h3}	Fator de perda para h_3 (sujeira) ();
F_{h4}	Fator de perda para h_4 (no inversor) ();
F_{h5}	Fator de perda para h_5 (<i>mismatch</i>) ();
F_{h6}	Fator de perda para h_6 (outras perdas) ().

Para calcular a Potência total do sistema, P , em kWp, utiliza-se a Equação 6 (ARAÚJO, 2016).

$$P = \frac{C_{diário}}{HSP * \eta} \quad (6)$$

Sendo:

$C_{diário}$	Consumo médio diário (kWh/dia);
HSP	Horas de Sol Pico (h/dia);
η	Rendimento do sistema ().

Com isso, é possível se determinar a quantidade total de módulos fotovoltaicos, que irá variar de acordo com a potência escolhida, a partir da Equação 7 (ARAÚJO, 2016).

$$N_{\text{módulos}} = \frac{P * 1000}{P_{\text{módulo}}} \quad (7)$$

Sendo:

$N_{\text{módulo}}$	Número de módulos fotovoltaico ();
P	Potência total do sistema (kWp);
$P_{\text{módulo}}$	Potência individual dos painéis (Wp).

Por fim, escolhe-se o inversor considerando a Potência total do sistema, o fator de sobrecarga (*overload*) e as potências disponíveis do mercado.

Os inversores trabalham com uma taxa de sobrecarga, chamada de *overload*, definida pela relação entre a potência dos módulos (Wp) pela potência de saída do circuito CA (W). Dessa forma, o inversor escolhido pode apresentar uma potência inferior à dos módulos, gerando uma economia em sua aquisição. O cálculo do *overload* pode ser realizado utilizando a Equação 8.

$$\text{Sobrecarga} = \frac{\text{Potência máxima de entrada recomendada}}{\text{Potência do inversor}} \quad (8)$$

3.2 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR A DIESEL

Diversos fatores podem ser considerados para a correta aquisição de um gerador. Inicialmente, o combustível escolhido foi o diesel, considerando que o projeto em estudo se encontra afastado do centro urbano da cidade de Toledo – PR, justificando, assim, sua escolha pela logística de transporte e armazenamento no local. De acordo com Zorzetto e Cauduro (2015), previamente à aquisição do equipamento, deve ser analisado a região de instalação, as características do local, o regime de operação e tipo de carga.

Condições regionais como a maresia presente no litoral, regulamentações públicas e da empresa, altitude da instalação, devem ser inicialmente consideradas. O regime de funcionamento, por sua vez, deve ser levado em conta, *standby*, *prime* ou contínuo para o seu dimensionamento. A potência do gerador é, então, obtida, pela demanda dos equipamentos,

encontrada a partir do levantamento das cargas, e seus respectivos fatores de simultaneidade – podendo ainda ser considerado pela atividade da empresa (ZORZETTO & CAUDURO, 2015).

3.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise de viabilidade econômica de projeto é uma importante estratégia para auxiliar na tomada de decisões na escolha a diferentes alternativas de investimento. Os indicadores utilizados neste trabalho serão o Valor Presente Líquido (VPL), *Payback* descontado e Taxa Interna de Retorno (TIR) – empregados, aqui, para a análise do investimento em um projeto de geração solar fotovoltaica *on-grid* e na implementação de um gerador a diesel.

3.3.1 Valor Presente Líquido

O Valor Presente Líquido (VPL) é um indicador econômico relacionado à aplicação do dinheiro no tempo, estando diretamente ligado ao fluxo de caixa projetado para um intervalo de tempo específico. Por considerar o valor do dinheiro no tempo, o VPL é considerado um método sofisticado de análise de investimento (Gitman, 2022, como citado em Zago et al. 2009). Segundo Fleischer (1988, como citado em Zago et al. 2009) a característica essencial do método do VPL é o desconto para o valor presente de todos os fluxos de caixa esperados, de forma a auxiliar na decisão de investimento.

O VPL positivo significa retorno ao investidor, negativo, a proposta é economicamente inviável e, zero, as receitas e despesas se anulam. Para o seu cálculo, através da Equação 9, recomenda-se utilizar como Taxa mínima de atratividade – TMA, a taxa para financiamento do banco disponível para o investidor (OLIVEIRA, 2017).

$$VPL = \frac{\text{Fluxo de Caixa}}{(1 + TMA)^n} \quad (9)$$

Sendo:

n Período da análise do investimento (anos).

Dessa forma, para se calcular o VPL, é necessário a realização do fluxo de caixa para os investimentos avaliados: sistema solar fotovoltaico e implementação do gerador.

3.3.2 Payback Descontado

O *payback* é uma ferramenta de projeção de lucro líquido do projeto ao longo dos anos. O *payback* descontado considera a correção do valor do dinheiro no tempo e, dessa forma, proporciona importante relevância na tomada de decisão quanto ao investimento em projetos. Para calcular o *payback* descontado utiliza-se Equação 10, de forma que, quanto menor o tempo de retorno do investimento, melhor é a proposta (OLIVEIRA, 2017).

$$\text{Payback Descontado} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Fluxo de caixa descontado}} \quad (10)$$

3.3.3 Taxa Interna de Retorno

Segundo Veras (2001), como citado em Zago et al. (2009), a Taxa Interna de Retorno (TIR) representa a taxa que zera o Valor Presente Líquido do fluxo de caixa do investimento, portanto, pode ser definida como a taxa de remuneração esperada para o capital investido no projeto. Para que o projeto seja viável do ponto de vista econômico, a TIR deve ser maior do que a TMA. A Taxa Interna de Retorno pode ser calculada através da Equação 11 (OLIVEIRA, 2017).

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC}{(1 + TIR)^i} - \text{Investimento Inicial} = 0 \quad (11)$$

Sendo:

- FC Fluxo de Caixa;
- i Período de cada investimento;
- n Período final do investimento.

3.3.4 Análise de lucros

Como adicional à análise econômica da instalação do sistema solar fotovoltaico, efetua-se a análise dos lucros que o proprietário pode obter com a instalação do sistema solar.

Para se obter a porcentagem do aumento do lucro anual dos aviários com a instalação do sistema solar, utiliza-se a Equação 12.

$$Lucro, ano_{solar} = \frac{Diferença\ receita\ com\ sistema\ solar}{Lucro\ Líquido} * 100 \quad (12)$$

Sendo:

$Lucro, ano_{solar}$ Aumento do lucro anual com sistema solar (%).

3.4 ANÁLISE AMBIENTAL

Além dos benefícios econômicos decorrentes da instalação de sistema de energia solar fotovoltaico, há também benefícios ambientais decorrentes da redução das emissões de dióxido de carbono na atmosfera. A fim de realizar essa análise, é necessário efetuar o cálculo das emissões de carbono (expressas em kgCO₂) durante o período de um ano, seguindo a Equação 13 (QUINTELA, 2020).

$$Emissões = \frac{E_{ger}}{Em_{SIN}} \quad (13)$$

Sendo:

E_{ger} Energia gerada anualmente pelo sistema fotovoltaico dimensionado (kWh);

Em_{SIN} Emissão média do Sistema Interligado Nacional para a produção de energia (kgCO₂/kWh).

Dessa forma, torna-se possível calcular a quantidade de árvores equivalentes, com base na aplicação da Equação 14 (QUINTELA, 2020).

$$Q_a = \frac{Emissões}{G_r} \quad (14)$$

Sendo:

Q_a Quantidade de árvores equivalente;

G_r Quantidade de CO₂ retirada da atmosfera anualmente por uma árvore (kgCO₂).

4 ESTUDO DE CASO DOS AVIÁRIOS DE TOLEDO – PR

Este Capítulo apresenta as características dos aviários de Toledo – PR, as cargas e seus funcionamento ao longo do ciclo de engorda, o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico *on-grid*, sua proposta comercial, e o dimensionamento do gerador a diesel com sua proposta. Também é apresentada a avaliação econômica para os dois projetos e a análise de impacto ambiental do sistema solar fotovoltaico *on-grid*.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AVIÁRIOS EM ESTUDO

Os aviários estão localizados em Vila Nova, distrito de Toledo - PR. A área é composta por 8 aviários de frango de corte, sendo seis aviários com dimensões de 15x150 m, e dois aviários com dimensões de 16x150 m.

O local é dividido em três unidades consumidoras, sendo duas compostas por três aviários cada, e uma, por dois. Para este trabalho foi considerada a unidade consumidora com três aviários de 15x150 m, que totaliza 2.250 m², indicado na Figura 4.

Figura 4 - Aviários analisados em Toledo PR, 2023.



Fonte: Google Earth, coordenadas -24.589224501567514, -53.789369588703764.
adaptado pela autora.

Atualmente, os aviários possuem gerador a diesel Cummins, controle automático de temperatura, aquecedores a gás, bebedouros e comedouros automatizados – os três aviários funcionam de forma idêntica. Normalmente há seis alojamentos por ano com 32.000 aves por

aviário e cada ciclo, que dura, em média 45 dias até as aves atingirem o peso ideal para abate, 3,3 kg.

A partir das informações disponibilizadas pelo proprietário, no ano 2022 ocorreram 12 interrupções de energia, com duração média de 22 minutos, sendo que uma alcançou 15 horas, devido a um temporal na região. Ressalta-se, sobretudo, que, dependendo da idade do frango, 30 minutos sem energia, e sem a manutenção da temperatura adequada, pode ser fatal, de forma que, um aviário com lote de 32.000 aves, o prejuízo estimado pode variar entre 100 a 250 mil reais.

Com o recebimento das aves, inicia-se do ciclo, o aviário fica com o tamanho reduzido utilizando-se barreiras de lona para o melhor controle da temperatura. A partir do crescimento das aves, a lona vai sendo deslocada, aumentando, assim, o espaço conforme a necessidade.

Figura 5 - Imagem interna do aviário de Toledo - PR.



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 - Imagem externa dos aviários de Toledo - PR.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o proprietário, na primeira semana do ciclo de engorda a temperatura adequada para o aviário é de 30 a 32°C, na segunda e terceira semana é de 26 a 29°C, na quarta de 24°C, quinta 19 a 21°C, e por fim, na sexta semana até o abate é de 18°C. Assim, com a engorda e o crescimento das aves, torna-se mais crítica a falta de energia, devido a necessidade de menores temperaturas no barracão.

4.2 CONSUMO ENERGÉTICO

O conjunto dos três aviários é alimentando em tensão primária através de um transformador de 75 kVA, 13800/220-127 V com faturamento no Grupo B (baixa tensão). As cargas elétricas de cada aviário são: 200 lâmpadas LED de 10 W, 10 exaustores com motor WEG de 1,5 cv, comedouros com 4 motores WEG de 0,5 cv e 2 placas evaporativas com bomba WEG de 1 cv.

Figura 7 - Exaustores dos aviários de Toledo – PR.



Fonte: Autoria própria.

Figura 8 - Comedouros dos aviários de Toledo - PR.



Fonte: Autoria própria.

Os sistemas de resfriamento e controle da temperatura dos aviários são através de exaustores e placas evaporativas, diminuindo, assim, os efeitos prejudiciais ao crescimento e engorda das aves. O sistema de placas evaporativas funciona através de uma ventilação

mecânica que move o ar pelos painéis umedecidos pela bomba d'água, de forma a reduzir até 5°C a temperatura do galpão (HENKES, 2017). A água é bombeada até atingir a parte superior da parede de evaporação, sendo então, distribuída por um sistema de tubos ou placas perfuradas, mantendo-a úmida (HENKES, 2017).

Figura 9 - Placas evaporativas dos aviários de Toledo - PR.

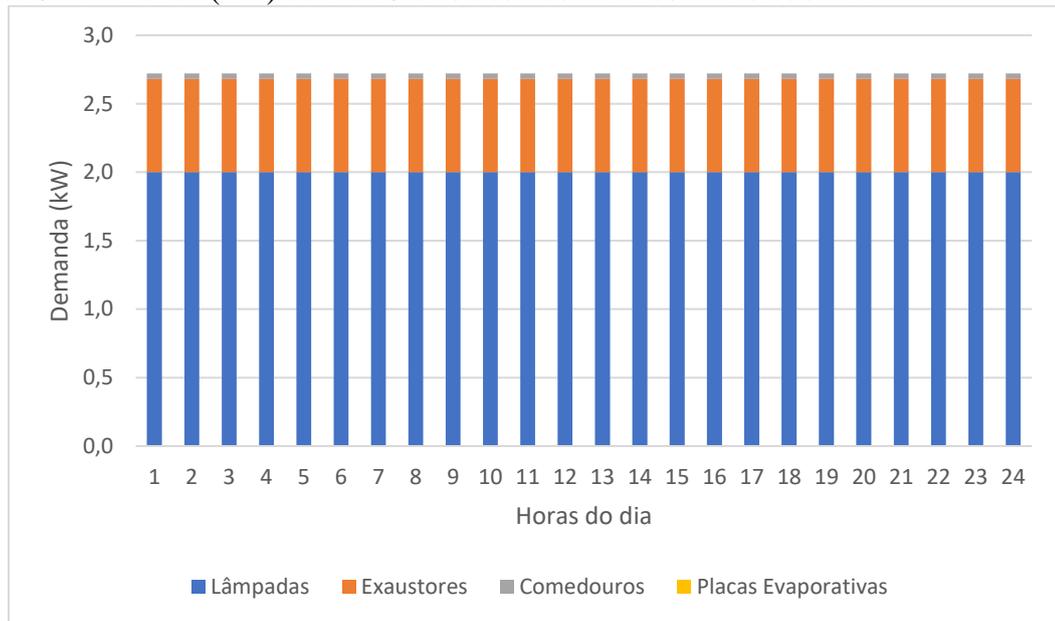


Fonte: Autoria própria.

Para se obter uma curva do consumo elétrico dos aviários foi dividida a análise em três períodos, uma vez que a fase de crescimento e engorda determinam consumos energéticos diferentes – período inicial de 1 a 10 dias, intermediário de 21 a 28 dias e final de 35 a 45 dias.

Para o primeiro ciclo, 1º ao 10º dia, o consumo energético dos três aviários ao longo do dia pode ser representado pela (Figura 10).

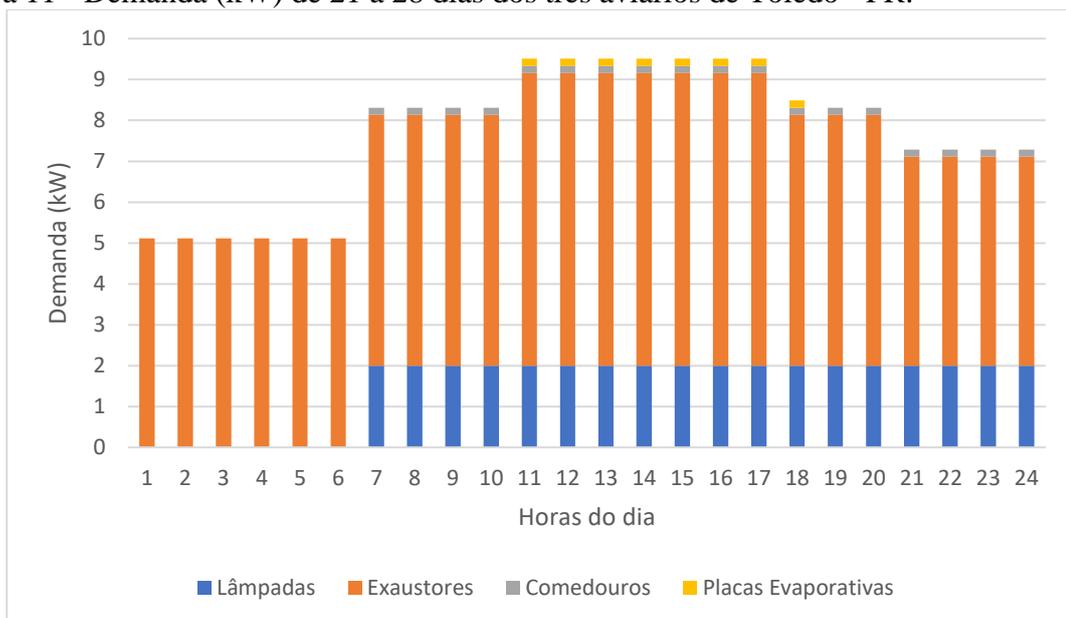
Figura 10 - Demanda (kW) de 1 a 10 dias dos três aviários de Toledo - PR.



Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que o consumo energético no ciclo inicial se comporta de maneira constante ao longo das 24 horas – com o funcionamento de 200 lâmpadas, quatro comedouros e dois exaustores, garantindo a iluminação, alimentação e a exaustão mínima do aviário. O período intermediário, do 21º ao 28º dia, apresenta o consumo diário representado na Figura 11.

Figura 11 - Demanda (kW) de 21 a 28 dias dos três aviários de Toledo - PR.

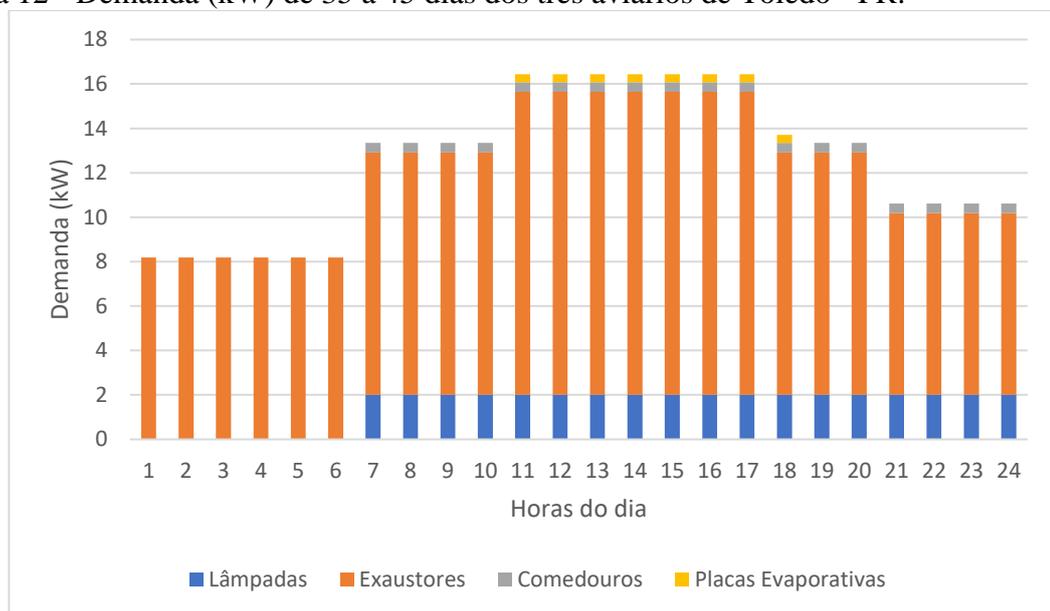


Fonte: Elaborado pela autora.

Para o período intermediário, observa-se o pico de demanda entre as 10 e 17 horas, uma vez que se verificam as horas mais quente do dia. Nesse horário permanecem ligados sete exaustores e as duas placas evaporativas para a retirada do calor do aviário em um ciclo de funcionamento com 30 s ligadas e 270 s desligada – representando a maior demanda diária de energia.

A menor demanda se dá, por sua vez, entre 0 e 6 horas, uma vez que as lâmpadas e os comedouros são desligadas. A Figura 12 representa a curva de demanda diária para o período entre o 35° ao 45° dia do ciclo de engorda.

Figura 12 - Demanda (kW) de 35 a 45 dias dos três aviários de Toledo - PR.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da Figura 12 observa-se que o comportamento da curva de demanda é similar ao período anterior, sobretudo, os 10 exaustores são utilizados e o ciclo das placas evaporativas aumenta para 12 minutos por hora, caracterizando uma maior demanda de energia. Trata-se, então, como apresentado, do período mais crítico quanto a disponibilidade da energia, de forma que a interrupção do fornecimento propiciará a morte das aves, em especial devida a elevação ou queda da temperatura no aviário.

A partir das curvas de demanda diárias por ciclo de engorda, será desenvolvido o projeto e dimensionamento do sistema de geração de energia solar fotovoltaico *on-grid* e da geração a diesel, bem como, apresentadas as suas propostas comerciais.

4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Diante dos problemas que podem ocorrer nos aviários pela falta de energia e pelo alto custo para o avicultor, nota-se a necessidade de implementação de outras fontes de geração. Sendo assim, o presente item trata-se do dimensionamento de um sistema de geração de energia solar fotovoltaico *on-grid*, visto que o local em estudo possui acesso à rede elétrica da concessionária.

A geração de energia solar fotovoltaica foi dimensionada considerando o consumo de energia dos aviários obtido da fatura da Companhia Paranaense de Energia - COPEL, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Histórico de Consumo (kWh) dos aviários no ano de 2022.

Mês	Consumo Faturado
Janeiro	18.595
Fevereiro	1.196
Março	15.136
Abril	10.612
Mai	11.869
Junho	8.845
Julho	8.627
Agosto	10.128
Setembro	1.050
Outubro	6.066
Novembro	3.491
Dezembro	9.537
Média	8.763
Consumo Total	105.152

Fonte: Copel Distribuições S.A, 2022, adaptado pela autora, 2023.

A partir da Tabela 1, obtém-se o consumo médio mensal, 8.762,67 kWh, e o consumo médio diário igual a 292,1 kWh, utilizando-se as Equações 1 e 2, respectivamente.

A irradiação solar média, obtida através do PVWatts Calculator para o local, no anos 2022, foi de 5,82 kWh/m²/dia, como mostra a Tabela 2. O fator HSP, por sua vez, obtido pela Equação 3, é igual a 5,82 h/dia.

Tabela 2 - Irradiação Solar em Toledo PR, 2022.

Mês	Radiação Solar (kWh/m²/dia)
Janeiro	6.04
Fevereiro	5.82
Março	6.02
Abril	6.13
Maio	5.40
Junho	5.06
Julho	5.67
Agosto	6.23
Setembro	5.97
Outubro	5.79
Novembro	5.88
Dezembro	5.85
Anual	5.82

Fonte: PVWatts Calculator.

As perdas por temperatura, são determinadas considerando a média das máximas temperaturas da região que, de acordo com Weather Spark, é igual a 30°C. Assim, obtém-se a temperatura dos módulos com o acréscimo de 20°C, devido ao seu aquecimento e a exposição ao sol – de forma que chega a 50°C. Como a temperatura padrão de ensaio dos módulos é de 25°C, considera-se um aumento de 25°C para o cálculo das perdas. Por fim, de acordo com o *datasheet* do módulo fotovoltaico, tem-se uma queda de 0,35% para cada °C de aumento de temperatura acima da condição de ensaio, de forma que, obtém-se uma perda de 8,75% devido ao aumento da temperatura.

Para as perdas por sombreamento, estipula-se 0%, uma vez que os aviários se localizam em uma região sem a presença de elementos causadores de sombreamento. As perdas por sujeira e poeira, por sua vez, estipula-se 3% pelos aviários se localizarem em uma região que apresenta períodos de chuva, sobretudo com maior tendência a poeira, quando comparado a regiões urbanas.

Adota-se como rendimento do inversor 98%, ou ainda, 2% de perdas. As perdas por *mismatch* consideradas são de 3%, pois a região apresenta períodos ao longo do ano com nuvens. Para as Outras perdas do sistema, atribui-se 2% relativa a tensão e 0,5% para os pontos de conexão (MODEL, 2021), totalizando 2,5%. As perdas do sistema, calculadas através da Equação 4, estão apresentadas na Tabela 3, resultando em um rendimento do de 82%, através da Equação 5.

Tabela 3 – Rendimentos considerados nos elementos do sistema solar *on-grid*.

Temperatura (Fh1)	91%
Sombreamento (Fh2)	100%
Sujeira e Poeira (Fh3)	97%
Inversor (Fh4)	98%
Mismatch (Fh5)	97%
Outras perdas (Fh6)	98%
Rendimento Final	82%

Fonte: Elaborado pela autora.

Para encontrar a Potência total do sistema, foi utilizada a Equação 6, sendo o Consumo diário de 292,09 kWh/dia, HSP de 5,82 h/dia e o Rendimento do sistema 0,82, resultando em 61,18 kWp. A partir da Potência total dos módulos e da potência de cada módulos definidos, de 550 Wp, determina-se a quantidade total de módulos fotovoltaicos, através da Equação 7, o que resulta em 111.

O inversor escolhido foi o de marca Solis com potência nominal de 60 kW (Figura 13), como *datasheet* apresentado no Anexo A. Destaca-se, sobretudo, a potência máxima de saída de 66 kW (10% acima na nominal) e 66 kVA (uma vez que considera o fator de potência igual a 1), e potência máxima de entrada CC recomendada de 112 kW, possuindo um *overload* permitido de 86,6%, mas definido em 1,96%.

Os módulos solar fotovoltaico escolhidos foram de potência igual a 550 Wp da DAH Solar, modelo DHM-72X10-520-550W, considerando a disponibilidade do mercado, e por necessitar de uma menor área para instalação, trazendo como vantagem, ainda, a redução da estrutura de sustentação.

Figura 13 - Inversor Solis 60 kW.



Fonte: Datasheet Solis.

Quadro 1 - Resultados do dimensionamento do sistema solar fotovoltaico on-grid.

Média Consumo Mensal (kWh)	8.762,67
Média Consumo Diário (kWh/dia)	292,09
Média Anual Irradiação Solar (kWh/m²/dia)	5,82
HSP (hr/dia)	5,82
Rendimento do Sistema (%)	82,0
Potência do Sistema (kWp)	61,18
Quantidade de Módulos	111

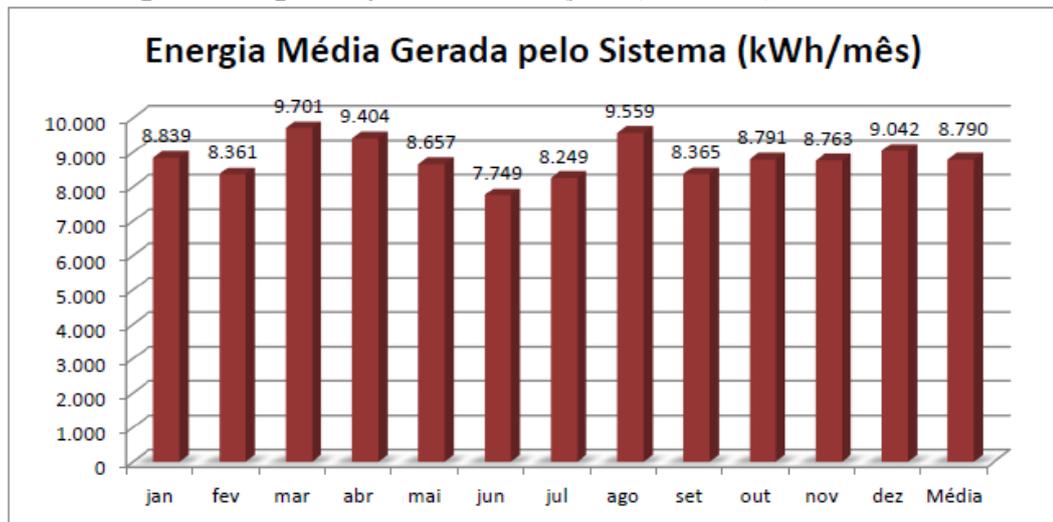
Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.1 Proposta comercial do sistema fotovoltaico *on-grid*

Com a finalidade de analisar a viabilidade econômica, buscou-se no mercado local uma proposta de orçamento para o sistema dimensionado, que foi atendido por Bionova, Cianorte - PR.

A proposta do sistema de geração de energia solar fotovoltaico apresentada é constituída por uma potência 70,1 kWp, a partir de 129 módulos de 550 Wp para serem instalados em telhas de zinco, e um inversor Solis 60 kW, modelo 60K-LV-5G 220V, com o valor de R\$ 234.423,03. A proposta apresentada requer área de instalação de 366 m², voltado para a orientação Norte, cuja média de geração mensal estimada é de 8.790 kWh. conforme Figura 14.

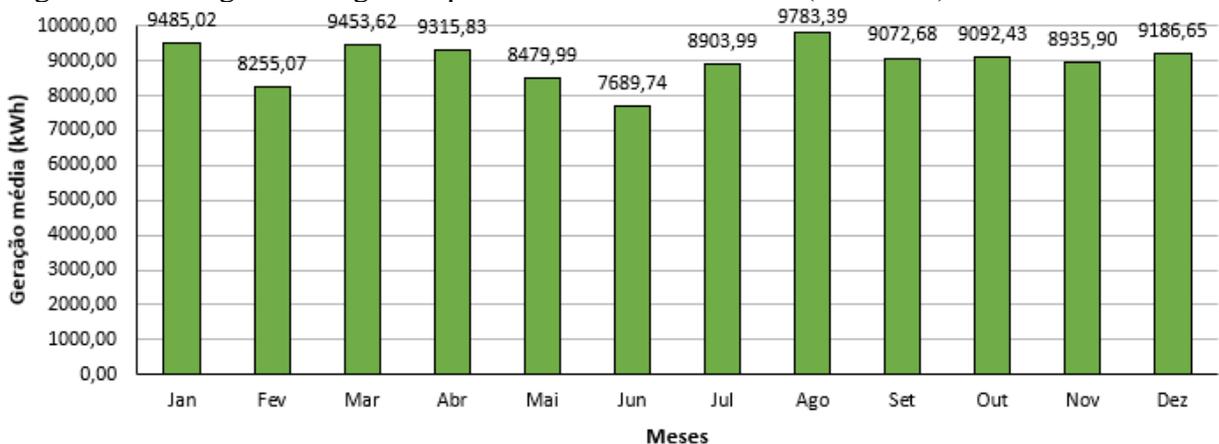
Figura 14 - Energia média gerada pelo sistema orçado (kWh/mês).



Fonte: (BIONOVA, 2023).

A fim de propiciar a comparação entre o sistema orçado pela Bionova e o sistema dimensionado, foi desenvolvido o gráfico da energia média gerada pelo sistema dimensionado (Figura 15).

Figura 15 - Energia média gerada pelo sistema dimensionado (kWh/mês).



Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando as Figura 14 e Figura 15, observa-se que houve uma proximidade em relação a geração do sistema orçado para o sistema dimensionado, visto que a média de geração apresentada pela Bionova é de 8.790 kWh/mês, enquanto que a média gerada pelo sistema dimensionado é de 8.971,19 kWh/mês. Portanto, observa-se que as considerações feitas pela empresa Bionova e no dimensionamento são semelhantes, visto que a diferença dos resultados varia em apenas 2,02%.

Sobretudo, ao se comparar com o dimensionamento realizado, observa-se maior divergência entre os resultados, visto que o dimensionamento resultou em 111 módulos fotovoltaicos com potência de 550 Wp e totalizando a potência 61,18 kWp enquanto o orçamento propõe 70,1 kWp com 129 módulos de mesma potência.

Considerando, assim, a diferença no número de módulos entre o calculado e o orçado, entendendo que tal condição se deve a fatores de perda utilizados pela empresa deferentes do adotado neste trabalho, buscou-se a simulação utilizando o Software PVWatts. Possuindo uma metodologia de cálculo diferente da apresentada, o simulador separa as perdas por temperatura, no inversor, caracterizando as demais conforme a Figura 16.

Figura 16 – Dados de entrada do *software* de simulação PVWatts (kWh/mês).

SYSTEM INFO

Modify the inputs below to run the simulation.

DC System Size (kW):	<input type="text" value="70.1"/>	i
Module Type:	<input type="text" value="Premium"/>	i
Array Type:	<input type="text" value="Fixed (roof mount)"/>	i
System Losses (%):	<input type="text" value="14.08"/>	i
Tilt (deg):	<input type="text" value="11"/>	i
Azimuth (deg):	<input type="text" value="354"/>	i

Advanced Parameters

DC to AC Size Ratio:	<input type="text" value="1.17"/>	i
Inverter Efficiency (%):	<input type="text" value="98"/>	i
Ground Coverage Ratio:	<input type="text" value="0.4"/>	i

Calculate System Losses Breakdown

Modify the parameters below to change the overall System Losses percentage for your system.

Soiling (%):	<input type="text" value="2"/>	i
Shading (%):	<input type="text" value="3"/>	i
Snow (%):	<input type="text" value="0"/>	i
Mismatch (%):	<input type="text" value="2"/>	i
Wiring (%):	<input type="text" value="2"/>	i
Connections (%):	<input type="text" value="0.5"/>	i
Light-Induced Degradation (%):	<input type="text" value="1.5"/>	i
Nameplate Rating (%):	<input type="text" value="1"/>	i
Age (%):	<input type="text" value="0"/>	i
Availability (%):	<input type="text" value="3"/>	i

Estimated System Losses:

14.08%

Fonte: PVWatts Calculator, 2023.

Observa-se a inserção da potência dos módulos conforme a proposta BIONOVA, 2023 e a entrada do tipo do módulo (prêmio: silício monocristalino com rendimento igual a 21%), fixado no telhado, com 14,08% de perdas (composição apresentada na Figura 16), ângulo de inclinação 11° e azimute 354°, ou ainda 6° a oeste, encontrados a partir da foto apresentada na Figura 6 e da imagem de satélite disposta na Figura 4. Os resultados podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados de entrada do *software* de simulação PVWatts (kWh/mês).

Meses	Radiação Solar (kWh / m2 / dia)	Energia CA (kWh)
Janeiro	5,90	9.425
Fevereiro	5,59	8.073
Março	5,98	9.638
Abril	5,77	9.072
Maiο	4,93	8.206
Junho	4,52	7.373
Julho	4,73	7.926
Agosto	5,85	9.667
Setembro	5,70	9.094
Outubro	5,81	9.401
Novembro	6,15	9.557
Dezembro	6,05	9.573
Média	5,58	8.917
Annual		107.005

Fonte: PVWatts, adaptado pela autora.

Observa-se que a utilização do Software de simulação permite considerar o ângulo de inclinação, o azimute e outras perdas que, influenciando no desempenho do sistema permite maior precisão nos resultados. Assim, enquanto a proposta BIONOVA, estima 8.790 kWh mensal, a simulação obteve 8.917 kWh, com os 129 módulos (70,1 kWp), uma variação de 1,4 %.

Por fim, o projeto indicado, é a proposta BIANOVA, 2023, um sistema de geração solar fotovoltaico *on-grid* composto por 129 módulos DAH, modelo DHM-72X10-520-550W, totalizando R\$ 182.584,62, um inversor Solis 60 kW de R\$ 38.176,88, estrutura de fixação do sistema em alumínio para o telhado de zinco de R\$ 11.907,69, cabeamento necessário para a instalação de R\$ 1.753,85, incluindo a mão de obra para instalação, totalizando em R\$ 234.423,03.

4.4 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR A DIESEL

O gerador a diesel deverá atender falta de energia ou instabilidade no fornecimento, de forma que será considerado o regime *standby*. As cargas de cada aviário que deverão ser supridas pelo gerador são apresentadas na

Tabela 5.

Tabela 5 - Cargas de cada equipamento de um aviário de Toledo - PR.

Equipamento	Quantidade	Carga	Potência (W)	Rendimento ()	Potência de Entrada (kW)
Lâmpadas LED	200	10 W	10	1,000	2,00
Motor exaustores	10	1,5 cv	1.103	0,820	13,45
Motor comedouros	4	0,5 cv	368	0,627	2,35
Bomba placas evaporativas	2	1,0 cv	736	0,830	1,77
Total =	216				19,57

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a somatória das cargas presentes em cada aviário, visto que 1 cv equivale a 735,5 W, a potência necessária para as lâmpadas é de 2,00 kW, para os motores dos exaustores, considerando um rendimento de 82% (catálogo motor 1,5 cv) é de 13,45 kW, para os motores dos comedouros, com rendimento de 62,7% (catálogo motor 0,5 cv) 2,35 kW e para as bombas das placas evaporativas, com rendimento de 83% (catálogo bomba 1 cv), 1,77 kW, totalizando 19,57 kW para um aviário e 58,71 kW para três aviários.

Considerando que o gerador deve garantir o fornecimento da potência dos três aviários em caso de falta ou instabilidade da rede elétrica, em regime *standby* (100% por 25 horas ano), escolheu-se o gerador a diesel trifásico da Bambozzi, modelo B85DTA-P com potência de 84 kVA para regime *standby*, ou ainda, 67,2 kW para o fator de potência de 0,8 definido pelo fabricante. Ressalta-se, sobretudo, que o valor encontrado de 12,6% abaixo, entre as potências calculadas e do gerador, refere-se ao fator de simultaneidade das cargas dos aviários.

A partir de uma proposta comercial, obteve-se um equipamento de marca Bambozzi, modelo BA85DTA-P no valor de R\$ 77.000,00, como mostra o Quadro 2. Tal modelo apresenta fator de potência de 0,8, tanque com capacidade de armazenamento de 60 litros e consumo de 13,5 l/h. A proposta apresentada não inclui o material e os serviços de instalação necessários, de forma que foi considerado 30% do valor do equipamento, resultando em um adicional de R\$ 23.100,00, com valor final do investimento de R\$ 100.100,00.

Quadro 2 - Orçamento do gerador a diesel da Bambozzi.

Item	Valor Total (R\$)
Grupo Gerador 84 / 76 kVA - 220/127V Trifásico	77.000,00
Serviços de Instalação	23.100,00
Total	100.100,00

Fonte: BAMBOZZI, 2023.

4.5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A taxa proposta pelo banco para o investimento em geração de energia solar fotovoltaica e para instalação da geração a diesel foi de 10,5% ao ano, em uma linha especial de crédito agrícola do BNDES disponibilizada pelo Banco do Brasil da cidade de Toledo – PR.

A avaliação econômica da implantação do sistema de geração de energia solar fotovoltaico *on-grid* considera o custo da energia elétrica paga à concessionária local, enquanto a implantação do gerador a diesel, ao prejuízo devido a interrupção da rede elétrica – utilizando como ano base 2022. Para a avaliação do sistema solar fotovoltaico *on-grid*, foi considerado um período de análise de 25 anos e para o gerador a diesel, 15 anos.

4.5.1 Avaliação econômica da usina de geração solar fotovoltaica

As despesas consideradas nos fluxos de caixa do sistema solar foram os custos com limpeza das placas, sendo considerado um valor de R\$10,00 por placa, a partir de uma análise realizada no mercado local e considerando que serão feitas duas limpezas por ano, visto que o local apresenta muita poeira.

A partir do *datasheet* do módulo obteve-se a degradação no 1º ano e nos anos seguintes, sendo de 2 e 0,55% respectivamente. Considera-se uma taxa de reajuste tarifário anual de 6,15%, sendo este composta pelo IPCA acumulado dos últimos 12 meses, de 4,65%, e o aumento médio da energia acima do IPCA entre 2015 e 2022, de 1,5% (ABRACEEL, 2023). Foi considerado, ainda, no ano 15, a troca do inversor como despesa adicional, que aparece na coluna de Despesas totais, como mostra a Tabela 6.

Para o sistema solar fotovoltaico, foi realizada uma proposta de financiamento com parcelas fixas para o período de 10 anos, com a taxa de juros a 10,50% ao ano, como mostra a coluna de Parcelas fixas na seção de Despesas do fluxo de caixa, Tabela 6.

Tabela 6 - Fluxo de caixa do sistema fotovoltaico *on-grid*.

Geração			Receitas		Despesas			Fluxo de Caixa		
Ano	Geração útil (kWh)	Tarifa (R\$/kW)	Reembolso (R\$)	Financeira Parc. Fixas (R\$)	OPEX	TOTAL	FC anual	FC Descontado	FC Acumulado	
0	0,00	0,57	-		0,00	0,00	-234.423,03	-234.423,03	-234.423,03	
1	83.324,25	0,61	50.415,75	-38.974,54	-2580,00	-41.554,54	8.861,21	8.467,47	-202.570,83	
2	81.657,76	0,64	52.445,99	-38.974,54	-2580,00	-41.554,54	10.891,45	9.945,06	-169.241,05	
3	81.208,64	0,68	55.365,23	-38.974,54	-2580,00	-41.554,54	13.810,69	12.050,29	-133.806,03	
4	80.762,00	0,72	58.446,96	-38.974,54	-2580,00	-41.554,54	16.892,41	14.084,28	-96.337,03	
5	80.317,81	0,77	61.700,22	-38.974,54	-2580,00	-41.554,54	20.145,67	16.050,39	-56.901,91	
6	79.876,06	0,82	65.134,56	-38.974,54	-2580,00	-41.554,54	23.580,01	17.951,83	-15.565,36	
7	79.436,74	0,87	68.760,06	-38.974,54	-2580,00	-41.554,54	27.205,52	19.791,67	27.611,04	
8	78.999,84	0,92	72.587,37	-38.974,54	-2580,00	-41.554,54	31.032,82	21.572,84	72.568,61	
9	78.565,34	0,98	76.627,71	-38.974,54	-2580,00	-41.554,54	35.073,16	23.298,17	119.251,50	
10	78.133,23	1,04	80.892,94	-38.974,54	-2580,00	-41.554,54	39.338,39	24.970,33	167.606,56	
11	77.703,50	1,10	85.395,58	0,00	-2580,00	-2.580,00	82.815,58	50.232,00	217.838,56	
12	77.276,13	1,17	90.148,85	0,00	-2580,00	-2.580,00	87.568,85	50.755,00	268.593,56	
13	76.851,11	1,24	95.166,69	0,00	-2580,00	-2.580,00	92.586,69	51.278,88	319.872,45	
14	76.428,43	1,31	100.463,84	0,00	-2580,00	-2.580,00	97.883,84	51.803,81	371.676,26	
15	76.008,07	1,40	106.055,83	0,00	-2580,00	-40.780,00	65.275,83	33.011,40	404.687,65	
16	75.590,03	1,48	111.959,08	0,00	-2580,00	-2.580,00	109.379,08	52.857,49	457.545,15	
17	75.174,28	1,57	118.190,92	0,00	-2580,00	-2.580,00	115.610,92	53.386,56	510.931,70	
18	74.760,82	1,67	124.769,63	0,00	-2580,00	-2.580,00	122.189,63	53.917,30	564.849,01	
19	74.349,64	1,77	131.714,53	0,00	-2580,00	-2.580,00	129.134,53	54.449,88	619.298,89	
20	73.940,71	1,88	139.045,99	0,00	-2580,00	-2.580,00	136.465,99	54.984,44	674.283,33	
21	73.534,04	2,00	146.785,53	0,00	-2580,00	-2.580,00	144.205,53	55.521,10	729.804,42	
22	73.129,60	2,12	154.955,87	0,00	-2580,00	-2.580,00	152.375,87	56.060,00	785.864,42	
23	72.727,39	2,25	163.580,99	0,00	-2580,00	-2.580,00	161.000,99	56.601,27	842.465,69	
24	72.327,39	2,39	172.686,19	0,00	-2580,00	-2.580,00	170.106,19	57.145,04	899.610,73	
25	71.929,59	2,53	182.298,21	0,00	-2580,00	-2.580,00	179.718,21	57.691,42	957.302,16	

Fonte: Elaborado pela autora.

A seção de Geração na Tabela 6, é composta pela geração útil do sistema considerando a degradação ao longo dos anos e pela tarifa de energia, considerando o reajuste tarifário de 6,15% ao ano. A geração do sistema diminui ao longo dos anos devido a perda de eficiência do sistema. A seção de Receitas, composta pela coluna de Reembolso, é referente ao custo do consumo em cada período, que seria pago à concessionária local em caso de não instalação do sistema solar. A seção de Despesas é composta pela coluna Financeira Parcelas Fixas, a qual refere-se às parcelas do financiamento, coluna OPEX (Despesas operacionais) a qual considera os custos de limpeza das placas considerando um reajuste ao longo dos anos, e a coluna Total, a qual apresenta no 15º a despesa adicional de troca do inversor. Por fim, tem-se os fluxos de caixa que consideram todas as receitas e despesas em cada período.

Para o cálculo do Valor Presente Líquido, tem-se o fluxo de caixa do sistema solar apresentado na Tabela 6 anteriormente.

Para o sistema solar fotovoltaico *on-grid*, obteve-se um VPL de R\$ 957.302,16. Nota-se que resultou em um valor positivo, o que possibilita retornos econômicos ao produtor.

No cálculo do *payback* descontado, para o sistema solar fotovoltaico, obteve-se um resultado de 6 anos e 9 meses o que se mostra favorável visto que a vida útil do sistema é de no mínimo 25 anos. Com base nesse resultado, o proprietário tem ciência de que, ao optar por um financiamento com prazo de 10 anos, não será necessário realizar desembolso monetário, uma vez que o sistema se autossustenta.

Por fim, para o cálculo da Taxa Interna de Retorno, obteve-se uma TIR de 236,81% para o sistema solar fotovoltaico *on-grid*. O resultado positivo obtido mostra que sua instalação é viável para o investidor, visto que a TIR está acima da TMA de 10,5%.

4.5.1 Avaliação econômica do grupo motor gerador a diesel

No ano de 2022, ocorreram 12 interrupções de energia com duração que variam, em média, entre 15 e 30 minutos e uma de 15 horas. Para fins da análise, considera-se um tempo médio de duração das 12 quedas de energia como sendo 22 minutos.

Sabe-se que o prejuízo com a perda de um lote completo de um aviário no período final do ciclo pode chegar a 250 mil reais, considerando que são três aviários analisados, o prejuízo poderia chegar a 750 mil reais para a queda de energia com duração de 15 horas. Para o início do ciclo, a perda de um lote completo gira em torno de 100 mil reais por aviário, totalizando 300 mil reais e para o meio do ciclo, o prejuízo pode chegar a 200 mil reais por aviário, totalizando 600 mil reais. Para as quedas de energia de 22 minutos, foram considerados diversos cenários, sendo estes, variáveis de acordo com o período do ciclo em que as aves se encontram (início, meio e final) e com a temperatura ambiente (abaixo e acima de 22°C). Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados do prejuízo nos três aviários em 2022.

	Mortalidade das Aves (12)			Prejuízo total das 12 quedas (22 min)			Prejuízo total em 2022 (15 h)		
	Início de Ciclo	Meio de ciclo	Final de ciclo	Início de Ciclo	Meio de ciclo	Final de ciclo	Início de Ciclo	Meio de ciclo	Final de ciclo
Abaixo de 22 °C	270	2.700	27.000	R\$ 24.232,8	R\$ 253.125,0	R\$ 2.531.250,0	R\$ 324.232,8	R\$ 853.125,0	R\$ 3.281.250,0
Acima de 22 °C	600	6.000	60.000	R\$ 56.250,0	R\$ 562.500,0	R\$ 5.625.000,0	R\$ 356.250,0	R\$ 1.162.500,0	R\$ 6.375.000,0

Fonte: Elaborado pela autora.

As despesas com o gerador a diesel consideradas foram os custos de operação – a aquisição do óleo diesel, óleo lubrificante e manutenção periódica a cada 6 meses. A partir de uma análise em três postos de combustível de Toledo, obteve-se um preço médio de R\$ 5,39 por litro para o óleo diesel. Para as despesas com óleo lubrificante, manutenção e troca de

filtros, o custo é em média R\$ 2.000 a cada seis meses. Como reajuste anual para os fluxos de caixa do gerador a diesel, foi considerada a inflação acumulada dos últimos 12 meses (março de 2023).

Definiu-se, então, cenário 1 o início de ciclo com temperatura abaixo de 22°C, cenário 2 o início de ciclo acima de 22°C, cenário 3 o meio de ciclo abaixo de 22°C, cenário 4 o meio de ciclo acima de 22°C, cenário 5 o final de ciclo abaixo de 22°C e cenário 6 o final de ciclo acima de 22°C.

Para o fluxo de caixa da implementação do gerador a diesel, a Tabela 8 refere-se ao cenário 1, sendo que os demais cenários foram realizados da mesma maneira.

Tabela 8 - Fluxo de caixa anual do gerador a diesel.

Ano	Receitas	Despesas	Fluxo de Caixa		
	Reembolso (R\$)	OPEX	FC anual	FC Descontado	FC Acumulado
0	-	0,00	-100.100,00	-100.100,00	-100.100,00
1	324.232,80	5411,67	329.644,47	314.997,10	214.897,10
2	339.309,63	5411,67	344.721,30	314.767,33	529.664,43
3	355.087,52	5411,67	360.499,19	314.547,76	844.212,19
4	371.599,09	5411,67	377.010,76	314.337,95	1.158.550,15
5	388.878,45	5411,67	394.290,12	314.137,46	1.472.687,61
6	406.961,30	5411,67	412.372,97	313.945,88	1.786.633,49
7	425.885,00	5411,67	431.296,67	313.762,82	2.100.396,31
8	445.688,65	5411,67	451.100,32	313.587,88	2.413.984,19
9	466.413,17	5411,67	471.824,84	313.420,72	2.727.404,92
10	488.101,39	5411,67	493.513,06	313.260,99	3.040.665,91
11	510.798,10	5411,67	516.209,77	313.108,36	3.353.774,27
12	534.550,21	5411,67	539.961,88	312.962,51	3.666.736,77
13	559.406,80	5411,67	564.818,47	312.823,13	3.979.559,91
14	585.419,21	5411,67	590.830,88	312.689,96	4.292.249,86
15	612.641,21	5411,67	618.052,88	312.562,69	4.604.812,56

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a análise dos aviários com gerador a diesel, obteve-se para o cenário 1 um VPL de R\$ 4.604.812,56. Visto que este resultado é extremamente elevado, não foi realizado os cálculos para os demais cenários, uma vez que os resultados seriam maiores, entrando em uma análise irreal. Conclui-se que a aquisição do gerador a diesel possibilitará altos retornos ao investidor, visto que o prejuízo com a falta de energia é extremamente alto no primeiro cenário, que possui os menores valores em relação aos demais.

Para a análise dos aviários com gerador a diesel, foi necessário realizar um fluxo de caixa mensal, visto que o *payback* não chega a resultar em um ano, se fazendo necessária uma análise mais específica. A Tabela 9 apresenta o cenário 1, sendo que para os demais cenários foram realizados da mesma maneira.

Tabela 9 - Fluxo de caixa mensal do gerador a diesel, cenário 1.

Meses	Receitas		Despesas	Fluxo de Caixa		
	Reembolso (R\$)	Financeira (R\$)	OPEX	FC anual	FC Descontado	FC Acumulado
0	-	0,00	0,00	-100.100,00	-100.100,00	-100.100,00
1	2.019,40	300000,00	450,97	302.470,37	301.302,82	201.202,82
2	2.027,23	0,00	450,97	2.478,20	2.459,10	203.661,93
3	2.035,08	0,00	450,97	2.486,05	2.457,38	206.119,30
4	2.042,97	0,00	450,97	2.493,94	2.455,65	208.574,96
5	2.050,88	0,00	450,97	2.501,86	2.453,94	211.028,90
6	2.058,83	0,00	450,97	2.509,80	2.452,23	213.481,13
7	2.066,81	0,00	450,97	2.517,78	2.450,53	215.931,66
8	2.074,82	0,00	450,97	2.525,79	2.448,84	218.380,50
9	2.082,86	0,00	450,97	2.533,83	2.447,15	220.827,65
10	2.090,93	0,00	450,97	2.541,90	2.445,47	223.273,12
11	2.099,03	0,00	450,97	2.550,00	2.443,79	225.716,91
12	2.107,16	0,00	450,97	2.558,14	2.442,13	228.159,04
13	2.115,33	0,00	450,97	2.566,30	2.440,46	230.599,51
14	2.123,53	0,00	450,97	2.574,50	2.438,81	233.038,31
15	2.131,76	0,00	450,97	2.582,73	2.437,16	235.475,47

Fonte: Elaborado pela autora.

No mês 1, o custo da queda de energia com duração de 15 horas foi considerado na coluna Financeira da seção de Receitas, a fim de não prejudicar os reembolsos nos meses seguintes. As despesas com óleo diesel, manutenção, troca de óleo lubrificante e troca de filtros, foram adicionadas na coluna OPEX da seção de Despesas. A partir do fluxo de caixa acumulado, pode-se observar que não resulta um *payback*, visto que o prejuízo com a perda das aves, considerando a queda de energia com duração de 15 horas, é muito maior em relação ao custo de investimento no gerador a diesel. Sendo assim, não se obteve resultados de *payback* descontado para a implantação do gerador a diesel.

Para os aviários com gerador a diesel, obteve-se uma TIR para o cenário 1 de 333,89%. Da mesma maneira, não foi realizado cálculos para os demais cenários visto que este resultado é extremamente elevado.

Nota-se que os valores de TIR para o gerador a diesel, independente do cenário, são extremamente elevados, o que mostra que o investimento é altamente viável e de suma importância para os aviários.

Para fins de análise da viabilidade do gerador a diesel, realiza-se um novo fluxo de caixa descontando a queda de energia anormal de 15 horas e mantendo as 12 quedas de 22 minutos, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 - Fluxo de caixa para o gerador a diesel descontando a queda de 15 h.

Ano	Receitas	Despesas	Fluxo de Caixa		
	Reembolso (R\$)	OPEX	FC anual	FC Descontado	FC Acumulado
0	-	0,00	-100.100,00	-100.100,00	-100.100,00
1	24.232,80	5411,67	29.644,47	28.327,25	-71.772,75
2	25.359,63	5411,67	30.771,30	28.097,48	-43.675,27
3	26.538,85	5411,67	31.950,52	27.877,91	-15.797,36
4	27.772,90	5411,67	33.184,57	27.668,10	11.870,74
5	29.064,34	5411,67	34.476,01	27.467,61	39.338,35
6	30.415,84	5411,67	35.827,51	27.276,03	66.614,38
7	31.830,17	5411,67	37.241,84	27.092,96	93.707,35
8	33.310,28	5411,67	38.721,95	26.918,03	120.625,38
9	34.859,20	5411,67	40.270,87	26.750,87	147.376,25
10	36.480,16	5411,67	41.891,83	26.591,14	173.967,39
11	38.176,48	5411,67	43.588,15	26.438,51	200.405,90
12	39.951,69	5411,67	45.363,36	26.292,65	226.698,55
13	41.809,44	5411,67	47.221,11	26.153,28	252.851,83
14	43.753,58	5411,67	49.165,25	26.020,10	278.871,94
15	45.788,12	5411,67	51.199,79	25.892,84	304.764,78

Fonte: Elaborado pela autora.

Mesmo desconsiderando o risco de queda de energia com longa duração, os resultados obtidos são favoráveis a implementação do gerador, estando apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados da análise do gerador a diesel descontando a queda de 15 h.

VPL	TIR	Payack descontado
304.764,78	32,75%	3 anos e 7 meses

Fonte: Elaborado pela autora.

4.5.1 Benefícios da usina de geração solar fotovoltaica

Para calcular a porcentagem de custo dos aviários com energia solar, analisa-se a receita dos aviários no período de 2022, fornecido pelo proprietário e o custo com energia no mesmo período, apresentado na Tabela 12 e Tabela 13.

Tabela 12 – Custo da energia elétrica da COPEL e do financiamento da usina solar fotovoltaica para três aviários em Toledo - PR em 2022.

Consumo (kWh)	Preço médio Copel (R\$/kWh)	Primeiros 10 anos			Últimos 15 anos		
		Preço médio UFV (R\$/kWh)	Preço médio Benefício (R\$/kWh)	Benefício Total (R\$)	Preço médio UFV (R\$/kWh)	Preço médio Benefício (R\$/kWh)	Benefício Total (R\$)
19.791	0,57	0,41	0,16	3.187,12	0,016	0,554	10.972,77
25.748	0,57	0,41	0,16	4.146,43	0,016	0,554	14.275,52
20.714	0,57	0,41	0,16	3.335,76	0,016	0,554	11.484,51
18.755	0,57	0,41	0,16	3.020,28	0,016	0,554	10.398,37
7.116	0,57	0,41	0,16	1.145,95	0,016	0,554	3.945,34
13.028	0,57	0,41	0,16	2.098,01	0,016	0,554	7.223,14
Média	0,57	0,41	0,16	2.822,26	0,016	0,554	9.716,61
Total				16.933,55			58.299,65

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 13 – Benefício da usina de geração solar fotovoltaica nos primeiros 10 anos e nos últimos 15 anos do projeto para três aviários em Toledo - PR em 2022.

Lotes de aves	Aviário 1 (R\$)	Aviário 2 (R\$)	Aviário 3 (R\$)	Total (R\$)	Primeiros 10 anos		Últimos 15 anos	
					Receita Bruta (R\$)	Receita Bruta (%)	Receita Bruta (R\$)	Receita Bruta (%)
Lote 1 (Mês 1 e 2)	23.191,80	33.631,88	26.835,92	83.659,60	86.846,72	3,81%	94.632,37	13,12%
Lote 2 (Mês 3 e 4)	18.908,23	25.398,94	27.985,86	72.293,03	76.439,46	5,74%	86.568,55	19,75%
Lote 3 (Mês 5 e 6)	23.806,50	27.656,58	31.092,75	82.555,83	85.891,59	4,04%	94.040,34	13,91%
Lote 4 (Mês 7 e 8)	42.182,21	34.406,49	35.850,65	112.439,35	115.459,63	2,69%	122.837,72	9,25%
Lote 5 (Mês 9 e 10)	33.066,19	31.133,62	31.162,29	95.362,10	96.508,05	1,20%	99.307,44	4,14%
Lote 6 (Mês 11 e 12)	42.950,83	36.315,10	36.880,61	116.146,54	118.244,55	1,81%	123.369,68	6,22%
Média	30.684,29	31.423,77	31.634,68	93.742,74	96.565,00	3,01%	103.459,35	10,37%
Total	184.105,76	188.542,61	189.808,08	562.456,45	579.390,00		620.756,10	

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da Tabela 13, sabe-se a Receita bruta anual nos três aviários, e os custos com as operacionais: mão-de-obra, energia elétrica e gás, e outros. Os demais custos de aquisição dos pintinhos, ração e vacinas necessárias ao longo de todo o período de engorda são fornecidos pela empresa integradora, que, neste caso, é a cooperativa C. Vale. Dessa forma, em caso de perda de um lote, o proprietário perde não somente o lucro esperado, como

também deve arcar com os demais custos fornecidos previamente pela integradora. Diante disso, pode-se ocorrer um prejuízo que varia de 100 a 250 mil reais por lote.

A porcentagem do aumento do lucro anual dos aviários com a instalação do sistema solar, a partir da Equação 12, onde a diferença da receita com o sistema solar é R\$ 2.822,26 e R\$ 9.716,61 nos 10 primeiros anos e nos 15 últimos, respectivamente, e o lucro líquido por lote é R\$ 37.497,10, resulta em 8 e 25% de aumento do lucro respectivamente.

Além dos impactos econômicos, há também benefícios ambientais decorrentes da redução das emissões de dióxido de carbono na atmosfera. De acordo com o relatório BEN 2022, a emissão média de carbono do Sistema Interligado Nacional (SIN) para a geração de energia elétrica é de 118,5 kg por MWh produzido. Com isso, através da Equação 13, tem-se que o sistema solar fotovoltaico evita a emissão de 12.757,04 kgCO₂/ano. Adicionalmente, considerando que cada árvore é capaz de retirar cerca de 8,16 kgCO₂ da atmosfera anualmente (ESALQ, 2013), a instalação do sistema solar fotovoltaico dos aviários equivale a 1.564 árvores plantadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi desenvolvido a fim de dimensionar e analisar a viabilidade econômica para a implantação de um sistema solar fotovoltaico *on-grid* e a aquisição de um gerador a diesel. O sistema fotovoltaico tem como finalidade a redução dos custos com energia elétrica em um conjunto de três aviários localizados em Vila Nova, distrito de Toledo – PR, o qual representa atualmente 18% dos custos totais para o funcionamento do local. O gerador a diesel tem como finalidade garantir segurança no fornecimento de energia, evitando altos prejuízos em situações de instabilidade da rede.

A atividade agrícola no Brasil tem apresentado um crescimento expressivo e demonstra ser de extrema importância para o país. Esta atividade proporciona geração de empregos e contribui para o abastecimento do constante crescimento do mercado interno, tendo em vista que o consumo per capita de carne de frango cresceu 1.856% no país entre os anos de 1970 e 2020.

Após diversas conversas com o proprietário dos aviários, foram coletadas todas as informações necessárias para a realização desta análise. Com base nestes dados, foi possível dimensionar um sistema solar fotovoltaico *on-grid* com potência de 61,18 kWp e 111 módulos fotovoltaicos de 550 Wp, capaz de produzir 107.654,32 kWh/ano. Além disso, foi dimensionado um gerador a diesel com potência de 58,71 kW para operar em regime *standby*.

O investimento inicial proposto para a instalação do sistema solar fotovoltaico *on-grid* é de R\$ 234.423,03, o estudo do *payback* descontado mostra que o capital investido será resgatado em 6 anos e 9 meses, enquanto o VPL de R\$ 957.302,16 e a TIR de 236,81% mostram-se favoráveis para a implantação do sistema. Adicionalmente, o sistema contribui para a maximização dos lucros do proprietário, uma vez que os mesmos aumentam em 8 e 25% no período de um ano, para os primeiros 10 anos e últimos 15 anos do sistema, respectivamente.

Além do aspecto econômico, a geração de energia solar contribui positivamente para o meio ambiente, uma vez que reduz o consumo de energia fornecida pela concessionária, não gera ruídos, não necessita de uma área apenas para a geração elétrica, é de baixa manutenção e evita a emissão de gases do efeito estufa. O sistema solar dimensionado evita anualmente a emissão de 12.757,04 kgCO₂/ano, o equivalente a 1.564 árvores plantadas. Por fim, verifica-se que há condições favoráveis para a realização do sistema dimensionado em caso de interesse do proprietário.

O investimento inicial proposto para a aquisição do gerador a diesel é de R\$ 100.100,00. Este valor é considerado baixo em comparação com o prejuízo causado pela perda de aves. Seis cenários foram analisados, que levaram em conta as fases iniciais, intermediárias e finais do ciclo de produção, bem como a temperatura ambiente, acima e abaixo de 22°C. O *payback* descontado resultou em menos de 1 mês para todas as análises, o que mostra o alto retorno financeiro do investimento, podendo ser considerado instantâneo. O VPL para o primeiro cenário analisado, o qual apresenta os menores valores, foi de R\$ 4.604.812,56 e a TIR encontrada foi de 333,89%, resultando em valores muito elevados, o que exclui a necessidade de análise dos demais cenários, afirmando a viabilidade e a necessidade de utilização.

Diante dos problemas expostos, a análise econômica sugerida no presente estudo apresenta-se como meio de auxílio para tomada de decisão sob a ótica de investimentos. As duas soluções analisadas se mostraram excelentes para o conjunto de três aviários de Toledo – PR. Conclui-se que tanto a implantação do sistema solar fotovoltaico *on-grid*, quanto a aquisição do gerador a diesel são estratégias que beneficiam o produtor, maximizando seus lucros, visto que o sistema solar soluciona o problema de alto custo com energia elétrica e o gerador assegura um fornecimento elétrico sem interrupções.

Além do objetivo deste trabalho, ele visa ser um referencial teórico para que novos projetos se estabeleçam neste setor e para que produtores entendam a importância das soluções apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2022 RELATÓRIO ANUAL. **Associação Brasileira de Proteína Animal**, p. 144, 2022.

ABRACEEL. **Redução tributária em 2022 alivia, mas tarifa elétrica segue mais alta que a inflação em 8 anos** • ABRACEEL. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/press-releases/2023/03/reducao-tributaria-em-2022-alivia-mas-tarifa-eletrica-segue-mais-alta-que-a-inflacao-em-8-anos/>>. Acesso em: 24 abr. 2023.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA-ANEEL. 2012.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída — Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: 29 mar. 2023.

ARAÚJO, R. V. M. Dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede aplicado a uma fábrica de polpas de fruta. 2016.

BAMBOZZI. Proposta de Fornecimento. 2023.

BIONOVA. **Bionova Solar – Especialistas em Energia Solar**. Disponível em: <<https://bionovasolar.com.br/>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BIONOVA. Proposta Comercial Gerador Solar - ON GRID. 2023.

CAMILA AVOZANI ZAGO, ANDREAS DITTMAR WEISE, R. A. H. A importância do estudo de viabilidade econômica de projetos nas organizações contemporâneas. **Angewandte Chemie International Edition**, 6(11), 951–952., p. 2013–2015, 2009.

CERATTO, V. **Custo da Energia para os Avicultores: 12 Dicas Práticas de Economia - por Valmor Ceratto**. Disponível em: <<https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/custoda-energia-para-os-avicultores-12-dicas-praticas-de-economia-porvalmor/20150622-124444-V961>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

Clima, condições meteorológicas e temperatura média por mês de Toledo (Brasil) - Weather Spark. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29580/Clima-caracteristico-em-Toledo-Brasil-durante-o-ano#Sections-BestTime>>. Acesso em: 21 fev. 2023.

CUMMINS POWER GENERATION. **Manual de aplicações para Grupos Geradores arrefecidos a água**. Disponível em: <<https://vdocuments.mx/manual-grupo-gerador-cummins.html?page=19>>. Acesso em: 9 abr. 2023.

DAH SOLAR. **Datasheet DAH Solar DHM-72X10(BW) 540-555W**. Disponível em: <[https://pt.dahsolarpv.com/uploadfile/downloads/EN-DHM-72X10\(BW\)-540-555W.pdf](https://pt.dahsolarpv.com/uploadfile/downloads/EN-DHM-72X10(BW)-540-555W.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2021. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2021**, p. 1–67, 2022.

ENERGIA, C. **Influência das Altas Temperaturas nos Painéis Fotovoltaicos**. Disponível em: <<https://celulaenergia.com/influencia-das-altas-temperaturas-nos-paineis-fotovoltaicos/>>.

Acesso em: 21 fev. 2023.

EPE. **MATRIZ ENERGÉTICA.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

ESALQ, U. Cada árvore da mata atlântica chega a retirar 163 kg de CO₂ da atmosfera. **Www.Ciclovivo.Com.Br**, p. 1, 2013.

Estatísticas Setoriais - ABPA. Disponível em: <<https://abpa-br.org/estatisticas-setoriais/>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

ESTUDO, P. DOS AVIÁRIOS EM. Entrevista com o proprietário dos aviários de Toledo - PR. p. 10–11, 2023.

HENKES, A. O correto uso dos painéis evaporativos para melhorar o ambiente das aves. 2017.

IFOPE. **Avicultura: qual sua importância.** Disponível em: <<https://blog.ifopecom.br/avicultura/>>. Acesso em: 18 fev. 2023.

JONAS IRINEU DOS SANTOS FILHO, MARCELO MIELE, FRANCO MULLER MARTINS, D. J. D. T. **Aves - capítulo 2.pdf.** , 2010.

MARQUES, R. J. **Segunda Via.** Toledo PR, 2022.

MODEL, D. A. **ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA : VALORES DE PROJETO VERSUS VALORES REAIS.**

NASCIMENTO, C. A. DO. Cássio Araújo do Nascimento **PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CÉLULA FOTOVOLTAICA.** 2004.

OLIVEIRA, V. M. DE. **Gestão Energética Em Um Clube Recreativo.** p. 140, 2017.

PASSOS, A. D. S. **O USO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EM RESIDÊNCIAS DE MÉDIO PADRÃO NA CIDADE DE LAGARTO (SE).** **Site.Ufvjm.Edu.Br**, 2021.

PVWatts Calculator. Disponível em: <<https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>>. Acesso em: 21 fev. 2023.

QUINTELA, L. B. T. **ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS.** p. 1–15, 2020.

RICARDO ZORZETTO, C. R. C. **PREMISSAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO DE UM MOTOR GERADOR A DIESEL.** 2015.

RURAL, O. P. **Com recordes históricos, ABPA analisa cenário de aves e prevê crescimento de 4% em 2022 – O Presente Rural.** Disponível em: <<https://opresenterural.com.br/com-recordes-historicos-abpa-analisa-cenario-de-aves-e-preve-crescimento-de-4-em-2022/>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SEBRAE. **Por que investir em energia solar no seu negócio em 2022 - Sebrae SC.** Disponível em: <<https://www.sebrae-sc.com.br/blog/por-que-investir-em-energia-solar-no-seu-negocio-em-2022>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

SOLIS. Fabricante Global de inversores strig. 2023.

Tabela 1094: Número de informantes, Quantidade e Peso total das carcaças dos frangos abatidos, no mês e no trimestre, por tipo de inspeção. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1094#resultado>>. Acesso em: 1 abr. 2023.

WEG. **Redutores Lilo - Motor Elétrico Weg de 1,5cv, 3415 RPM, 220/380v Trifásico.** Disponível em: <<https://www.liloredutores.com.br/Motor-Eletrico-Weg-de-1-5cv--3415-RPM--220-380v-Trifasico-/prod-1734291/>>. Acesso em: 30 mar. 2023a.

WEG. **Motor 0.5 cv 2P C56C 1F 127/220 V 60 Hz IC01 - ODP - Com pés | Motor de Chapa Aberto (IP21) | Uso Geral | Monofásico | Motores Elétricos | WEG - Produtos.** Disponível em: <<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-Elétricos/Monofásico/Uso-Geral/Motor-de-Chapa-Aberto-%28IP21%29/Motor-0-5-cv-2P-C56C-1F-127-220-V-60-Hz-IC01---ODP---Com-pés/p/13027566>>. Acesso em: 30 mar. 2023b.

WEG. **W22 Bomba Monobloco JM IR3 Premium 1 cv 4P 90S 3F 220/380 V 60 Hz IC411 - TFVE - B34D | W22 Bomba Monobloco JM | Bomba Monobloco | Bombas | Trifásico - Baixa Tensão | Motores Elétricos | WEG - Produtos.** Disponível em: <<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-Elétricos/Trifásico---Baixa-Tensão/Bombas/Bomba-Monobloco/W22-Bomba-Monobloco-JM/W22-Bomba-Monobloco-JM-IR3-Premium-1-cv-4P-90S-3F-220-380-V-60-Hz-IC411---TFVE---B34D/p/12352881>>. Acesso em: 30 mar. 2023c.

ANEXOS

Anexo A - Datasheet inversor Solis 60K-LV-5G

Folha de Dados

Modelo	Solis-50K-LV-5G	Solis-60K-LV-5G
Entrada CC		
Potência máxima de entrada recomendada	84 kW	112 kW
Tensão máx de entrada	1100 V	
Tensão nominal	450 V	
Tensão de partida	195 V	
Intervalo de tensão MPPT	180-1000 V	
Corrente máx de entrada	6*26 A	8*26 A
Corrente máx. do conector de entrada	13 A	13 A
Corrente máx de curto-circuito	6*40 A	8*40 A
MPPTs / Número de Entradas	6/12	8/16
Saída CA		
Potência nominal de saída	50 kW	60 kW
Potência máx de saída aparente	55 kVA	66 kVA
Potência máx de saída	55 kW	66 kW

Fonte: (SOLIS, 2023).