

ERIC VALERO CARVALHO DA SILVA

AVALIAÇÃO ECONÔMICA ENTRE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA *ON-GRID* E *OFF-GRID* EM UM AVIÁRIO
DE UMA PROPRIEDADE RURAL

CASCABEL
PARANÁ – BRASIL
NOVEMBRO - 2021

ERIC VALERO CARVALHO DA SILVA

AVALIAÇÃO ECONÔMICA ENTRE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA *ON-GRID* E *OFF-GRID* EM UM AVIÁRIO
DE UMA PROPRIEDADE RURAL

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura.

Professor Orientador: Dr. Jair Antonio Cruz
Siqueira

Professor Coorientador: Dr. Carlos Eduardo
Camargo Nogueira

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
NOVEMBRO - 2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Valero Carvalho da Silva, Eric
AVALIAÇÃO ECONÔMICA ENTRE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA ON-GRID E OFF-GRID EM UM AVIÁRIO DE UMA
PROPRIEDADE RURAL / Eric Valero Carvalho da Silva;
orientador Jair Antonio Cruz Siqueira ; coorientador Carlos
Eduardo Camargo Nogueira. -- Cascavel, 2021.
48 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) --
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências
Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Energia na Agricultura, 2021.

1. Energia solar. 2. Sistema conectado à rede. 3. Sistema
isolado. 4. Viabilidade econômica. I. Antonio Cruz Siqueira
, Jair, orient. II. Eduardo Camargo Nogueira, Carlos,
coorient. III. Título.

ERIC VALERO CARVALHO DA SILVA

Avaliação comparativa econômica entre sistemas de geração de energia fotovoltaico *on-grid* e *off-grid* em um aviário de uma propriedade rural

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Jair Antonio Cruz Siqueira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Maritane Prior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Paula Pinheiro Padovese Peixoto

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

Cascavel, 09 de dezembro de 2021

Dedico este trabalho aos meus pais Mônica e Claudio, por todo apoio e amor que me deram nos momentos mais difíceis que vivi.

*"Quando você menos espera, em uma noite
fria e escura, aparecerá uma aurora para
brilhar sua noite."*

(Rodrigo Lamengo)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por todas as oportunidades que tive em vida.

Aos meus pais, Claudio e Mônica, por investirem nos meus estudos e me apoiarem nas minhas decisões; e à minha tia Evelina, por ser uma segunda mãe para mim e conselheira particular. Obrigado por fazerem de mim o que sou hoje. Não existem palavras para explicar o que sinto por vocês.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, pelo direcionamento que tive para a realização neste trabalho e a Luciene Kazue Tokura, pelo suporte dado na escrita e publicação de artigos científicos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura (PPGEA) bem como a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) pela estrutura e suporte técnico para a execução deste trabalho

Aos amigos que caminharam comigo esta jornada, espero profissionalmente poder contar com cada um de vocês, e que a amizade permaneça pelo resto da vida.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

Enfim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste estudo.

Muito obrigado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz Energética Global.....	6
Figura 2 – Matriz Energética Brasileira	6
Figura 3 – Matriz energética brasileira e a matriz energética do mundo.....	7
Figura 4 – Tipos de Radiação Solar.....	8
Figura 5 – Silício dopado	9
Figura 6 – Células de silício monocristalino e policristalino	11
Figura 7 – Célula fotovoltaica de filme fino	11
Figura 8 – Camadas de um módulo fotovoltaico típico	12
Figura 9 – Inversor para sistemas on-grid	14
Figura 10 – Controlador de carga do tipo PWM.....	15
Figura 11 – Bateria estacionária	16
Figura 12 – Funcionamento de um Sistema <i>off-grid</i>	17
Figura 13 – Funcionamento de um Sistema <i>on-grid</i>	19
Figura 14 – Localização do aviário com a indicação de Norte verdadeiro.	21
Figura 15 – Valores de irradiação solar anual	22
Figura 16 – Gráfico da Irradiação Solar em relação ao Ângulo igual a latitude 25° N .	22
Figura 17 – Atlas indicando as horas equivalentes de Sol no Brasil.....	26
Figura 18 – Comparação da Geração de energia prevista no projeto com o consumo da unidade.....	34
Figura 19 – Previsão de Geração de Energia no Projeto.....	34
Figura 20 – Fluxo de Caixa do Projeto <i>On-Grid</i>	35
Figura 21 – Gráfico do Balanço Energético dos Painéis.....	37
Figura 22 – Balanço Energético do Banco de Bateria	39
Figura 23 – Fluxo de Caixa do Projeto <i>Off-Grid</i>	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações do Módulo CS3W-395P	24
Tabela 2– Especificações do inversor CSI-20K.....	24
Tabela 3 – Especificações do Módulo SS-550-72-MDH	28
Tabela 4 – Especificações da Bateria Estacionária DF4100 (240 Ah/220 Ah)	28
Tabela 5 – Especificações do Inversor/ Controlador Upower-HI 5000.....	29
Tabela 6 – Equipamentos Instalados na unidade levantada (aviário).....	31
Tabela 7 – Consumo de Energia Elétrica na propriedade	31
Tabela 8 – Levantamento do Consumo Abatido em kWh.....	32
Tabela 9 – Dimensionamento do Projeto <i>On-Grid</i> : Análise geral do projeto.....	32
Tabela 10 – Dimensionamento do Projeto <i>On-Grid</i> : Detalhamento da quantidade de módulos e inversores.....	33
Tabela 11 – Estimativa de produção de energia anual do projeto	33
Tabela 12 – Análise de Viabilidade Econômica do Projeto <i>On-Grid</i>	35
Tabela 13 – Informações iniciais	36
Tabela 14 – Modelo do painel e quantidade em série em paralelo.....	36
Tabela 15 – Informações complementares do dimensionamento do painel	36
Tabela 16 – Parâmetros de Operação Obtidos num Único Painel e o Arranjo do Projeto	37
Tabela 17 – Balanço Energético dos Painéis	37
Tabela 18 – Modelo das baterias e quantidade associadas em série e paralelo	38
Tabela 19 – Parâmetros Obtidos numa Única Bateria e no Banco de Baterias do Projeto	38
Tabela 20 – Balanço Energético do Banco de Baterias com 3 dias de Autonomia	38
Tabela 21 – Modelo do Controlador/Inversor e a quantidade calculada.....	39
Tabela 22 – Validação dos Parâmetros obtidos com o Arranjo dos Controladores de Carga.....	39
Tabela 23 – Total de carga dos inversores do Projeto.....	40
Tabela 24 – Validação do Inversor com o Arranjo do projeto	40
Tabela 25 – Custo dos Equipamentos mais custo para implementação.....	40
Tabela 26 – Análise de Viabilidade Econômica do Projeto Off-Grid	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tecnologias empregadas na avicultura.....	4
--	---

SILVA, Eric Valero Carvalho. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, novembro, 2021. **Avaliação econômica entre sistemas de geração de energia fotovoltaico *on-grid* e *off-grid* em um aviário de uma propriedade rural.** Orientador: Jair Antonio Cruz Siqueira. Coorientador: Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

RESUMO

A procura por novas maneiras de sustentabilidade energética e utilização de fontes alternativas de energias renováveis se tornaram um grande desafio para a humanidade nas últimas décadas. Nesse contexto, a utilização de sistemas renováveis de energia pode ser de grande importância para o setor agrícola. O presente trabalho teve como objetivo dimensionar e avaliar técnico-economicamente dois sistemas de energia fotovoltaico (*on-grid* e *off-grid*), para um aviário tendo dimensões de 14 m x 150 m localizado numa propriedade rural na região do Oeste do Paraná no município de Cascavel. Com a utilização do histórico de consumo de energia elétrica num período de 12 meses da propriedade rural, além da irradiação solar média para o local 4,94 kWh/m²/dia, foi realizado o dimensionamento para os sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid*. Ao final do trabalho, foi possível constatar que o sistema *on-grid* apresentou parâmetros de viabilidade econômica mais vantajosos do que o sistema *off-grid*.

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, Sistema conectado à rede, Sistema isolado, Viabilidade econômica.

SILVA, Eric Valero Carvalho. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, november, 2021. **Comparative economic evaluation between on-grid and off-grid photovoltaic power generation systems in an aviary on a rural property.** Orientador: Jair Antonio Cruz Siqueira. Coorientador: Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

ABSTRACT

The search for new ways of energy sustainability and the use of alternative sources of renewable energy has become a major challenge for humanity in recent decades. In this context, the use of renewable energy systems can be of great importance for the agricultural sector. The present work aimed to dimension and technically-economically evaluate two photovoltaic energy systems (on-grid and off-grid), for an aviary with dimensions of 14 mx 150 m located in a rural property in the western region of Paraná, in the municipality of Rattlesnake. With the use of the history of electricity consumption over a 12-month period of the rural property, in addition to the average solar irradiation for the location of 4.94 kWh/m²/day, the dimensioning was carried out for the on-grid and off-grid photovoltaic systems. grid. At the end of the work, it was possible to verify that the on-grid system presented more advantageous economic viability parameters than the off-grid system.

This work was carried out with the support of CNPq, National Council for Scientific and Technological Development – Brazil

KEYWORDS: Solar energy, Grid connected system, Isolated system, Economic viability

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO	1
1.2 Objetivo Geral	2
1.3 Objetivos Específicos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Avicultura no Brasil.....	3
2.1.1 Custos da avicultura	4
2.2 Matriz Energética Brasileira.....	5
2.3 Energia Solar.....	7
2.4 Energia Solar Fotovoltaica	8
2.5 Componentes de um Sistema Fotovoltaico.....	9
2.5.1 Células Fotovoltaicas.....	10
2.5.2 Painéis Fotovoltaicos.....	12
2.5.3 Inversor.....	13
2.5.4 Controlador de Carga.....	14
2.5.5 Baterias.....	16
2.6 Sistema <i>off-grid</i>	16
2.7 Sistema <i>on-grid</i>	18
2.8 Análise de Viabilidade Econômica para Sistemas Fotovoltaicos	19
2.9 Energia Solar Fotovoltaica na Avicultura	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Caracterização do Local	21
3.2 Irradiação Solar média anual em Cascavel-PR	22
3.3 Dimensionamento do Sistema On-grid para os Aviários da Propriedade Rural	22

3.4 Dimensionamento do Sistema <i>Off-grid</i> para os Aviários da Propriedade Rural	26
3.5 Determinação dos custos dos sistemas fotovoltaicos <i>on-grid</i> e <i>off-grid</i> dimensionados para os aviários da propriedade rural	29
3.6 Avaliação da Viabilidade Econômica para os Sistemas <i>On-grid</i> e <i>Off-grid</i>	29
3.7 Avaliação econômica comparativa entre os sistemas fotovoltaicos <i>off-grid</i> e <i>on-grid</i> para os aviários da propriedade rural	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1 Análise do Consumo Energético no Local	31
4.2 Projeto <i>on-grid</i>	32
4.3 Projeto <i>off-grid</i>	36
5. CONCLUSÃO	42
5.1 Dificuldades Encontradas	42
5.2 Trabalhos Futuros	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o agronegócio tem participação significativa na economia do país. De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), no ano de 2017 o agronegócio teve uma participação de 23,5% no Produto Interno Bruto (PIB) e ainda contribuiu significativamente na criação de empregos (ABAG, 2017).

Dentre os segmentos que fazem parte do agronegócio encontra-se a avicultura, que emprega mais de 3,6 milhões de pessoas, direta e indiretamente, e responde por quase 1,5% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional; sendo que, desde 2004, o Brasil encontra-se como líder mundial em exportação de carne de frango (BRAZILIAN CHICKEN, 2019).

Uma análise feita pela Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) mostrou que, entre os meses de janeiro e agosto de 2019, o Brasil exportou 2,758 mil toneladas de carne de frango, volume 2,3% superior ao registrado no mesmo período em comparação com o ano de 2018, quando foram embarcadas 2,696 mil toneladas. Em receita, o desempenho é ainda mais expressivo: saldo de US\$ 4,625 bilhões, número 7,4% acima dos US\$ 4,3 bilhões obtidos nos oito primeiros meses de 2018 (ABAPA, 2019). De acordo com Primieri (2019), o estado do Paraná é líder nacional no setor, contribuindo com 33,46% dos abates e 35,85% das exportações de carne de frango.

Entretanto, quando é avaliada a sustentabilidade dos aviários levando em conta as questões ambientais, observa-se que essa atividade requer grande quantidade de energia elétrica durante o processo produtivo; e considerando que a origem dessa energia provém de fontes não renováveis como as termoelétricas, nota-se que essa atividade causa forte impacto ambiental (PRIMIERY, 2019). Além disso, o alto consumo de energia elétrica faz com que o produtor de frangos de corte tenha um gasto elevado com a fatura de energia elétrica.

Antevendo a esse problema, faz-se necessária a substituição da matriz energética que abastece os aviários, especialmente, àquelas baseadas na utilização de fontes renováveis e que preservem o meio ambiente, como a energia eólica e a energia solar. Em especial, a energia solar pode ser aproveitada de duas maneiras, sendo elas: energia solar fotovoltaica, para produção de energia elétrica e energia

solar térmica, para o aquecimento (POMPELLI, 2011).

Uma vez que o Sol é uma fonte de energia renovável presente em todo o planeta, combinado com o fato do Brasil ser um país tropical com elevada incidência de radiação solar em todo ano, torna-se fundamental que se obtenha melhor aproveitamento da energia proveniente desta fonte (MENEZES, 2018).

Assim sendo, esse trabalho teve por objetivo apresentar uma forma de otimizar o aproveitamento da energia solar fotovoltaica, por meio de estudo comparativo entre sistemas fotovoltaicos off-grid com on-grid aplicado a um aviário na região oeste no Paraná.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma avaliação econômica entre sistemas de geração de energia fotovoltaico on-grid e off-grid em um aviário de uma propriedade rural na Região Oeste do Estado do Paraná no município de Cascavel.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Dimensionar um sistema fotovoltaico *on-grid* para o aviário da propriedade rural;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico *off-grid* para o aviário da propriedade rural;
- Determinar os custos com a instalação dos sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid* no aviário da propriedade rural; e
- Analisar a viabilidade econômica do projeto usando as técnicas de VPL, TIR e *Payback* descontado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Avicultura no Brasil

No Brasil, o agronegócio é o setor que mais tem contribuído para o saldo positivo da balança comercial do país, correspondendo a aproximadamente 24% do total do PIB (Produto Interno Bruto) nacional. Movimentando a economia como um todo e propiciando o desenvolvimento da condição de vida para a população, o setor de aves de postura vem em crescente evolução devido ao aumento contínuo do consumo de ovos (VEIGA, 2019).

A avicultura corresponde 1,5% do PIB brasileiro, gerando 5 milhões de empregos diretos e indiretos sendo a área específica de postura baseada em produtores independentes, pequenos, médios e grandes; esses exportam ovos in natura e industrializados e apostam em aumentos significativos devido ao custo de produção ser menor do que o de países grandes produtores como Europa e Ásia (VEIGA, 2019).

O Brasil é o nono maior exportador de ovos e este alimento já é a quinta proteína mais consumida do mundo, estando a frente das carnes bovinas. De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), as exportações de ovos in natura e processados foram de 7,329 mil toneladas entre janeiro até setembro de 2021, sendo 137,7% superior ao mesmo período do ano passado com 3,083 mil toneladas (ABPA, 2021).

De acordo com os dados do Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná - Sindiavipar (2018), pode-se confirmar que o estado do Paraná representa cerca de 27% da exportação nacional de carne de frango, mesmo com a queda na exportação, ocorrida a partir de meados do ano de 2016 (VEIGA, 2019).

Registros da EMBRAPA, em 2018, apresentam variação na representatividade do custo da eletricidade no sistema produtivo, que pode ser atribuído por conta das mudanças nas tarifas de energia elétrica, assim como, na diferenciação dos valores em horários de pico, com média de custo de 2,05% do total, em 2018 (VEIGA, 2019).

2.1.1 Custos da avicultura

De acordo com Simões et al. (2015) na avicultura os investimentos dos produtores podem variar dependendo do nível de mercado em que eles pretendem atuar e o tipo de tecnologia que se pretende implementar, para tanto pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 – Tecnologias empregadas na avicultura

Classificação	Requisitos
Convencional	Área de 1680 m ² , piso sólido, alimentador automático de 20 ton., bebedouros, aquecedor a lenha, ventiladores de pressão negativa, névoa de resfriamento, forro de cortina externa na cor amarela e azul, capacidade de 26 mil frangos por lote. Investimento necessário: R\$ 158.557,29
Climatizado de Pressão Positiva	Área de 2100 m ² , piso sólido, alimentador automático de 21 ton., bebedouros, aquecimento à lenha, exaustores de pressão positiva, névoa de resfriamento, teto e cortina na cor azul, capacidade de 32 mil frangos por lote. Investimento necessário: R\$ 177.589,29
Climatizado de Pressão Negativa	Área de 2100 m ² , piso sólido, 2 silos alimentadores automático de 21 ton., bebedouros, aquecimento à lenha, exaustores de pressão negativa, névoa de resfriamento, <i>Pad Cooling</i> , forro na cor preta, gerador de energia, armadilha de luz na entrada e na saída teto, <i>dimmer</i> para controlar o brilho e cortina na cor azul, capacidade de 32 mil frangos por lote. Investimento necessário: R\$ 597.198,50

Fonte: Adaptado de SIMÕES (2015).

Além disso, é importante ressaltar que para atingir níveis adequados de conforto térmico no interior dos aviários, a climatização torna-se uma ferramenta de suma importância. Contudo, gera-se como consequência um incremento no consumo

de energia elétrica, por conta do uso de ventiladores, exaustores e nebulizadores, o que proporciona aumento considerável nos custos de produção (SILVA, 2020). Fora isso, as instalações avícolas também são equipadas com comedouros e bebedouros automáticos e iluminação dimerizada que são contabilizadas no preço final da conta do consumo de energia elétrica (NASCIMENTO, 2011). De acordo com SILVA (2020), os aviários consomem em média 10.345 kWh de energia elétrica, tendo como pico de consumo os meses de fevereiro, abril e dezembro.

2.2 Matriz Energética Brasileira

Percebe-se a iminência de uma crise energética mundial, devido ao aumento da população e o esgotamento dos recursos naturais não renováveis; principalmente, os combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão mineral (POMPELLI, 2011). Além disso, os combustíveis fósseis contribuem para o agravamento do aquecimento global, visto que eles emitem altas quantidades de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera.

Por conta disso, é fundamental que os países diversifiquem as suas respectivas matrizes energéticas, que é um conjunto de fontes disponíveis em um país para suprir a necessidade (demanda) de energia, visto que, no presente momento a matriz energética global é constituída predominantemente por fontes não renováveis de energia como está explicitado na Figura 1.

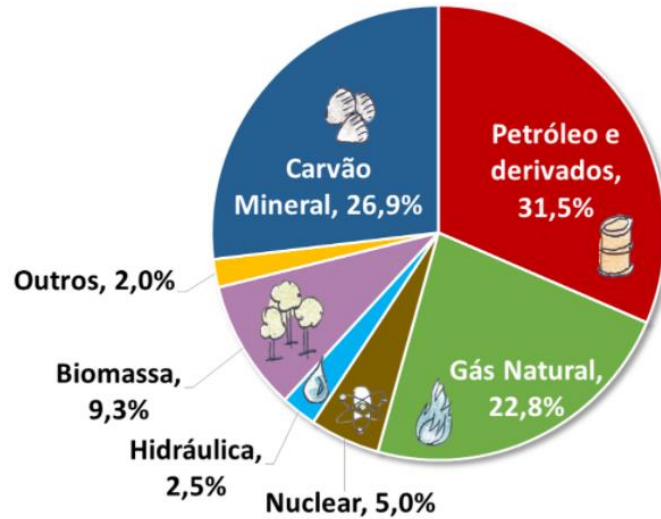


Figura 1 – Matriz Energética Global
Fonte: EPE (2021).

O Brasil é um país em desenvolvimento que vem apresentando mudanças na sua estrutura econômica e de produção de energia (NASCIMENTO, 2019). No que tange a questão energética, o Brasil apresenta uma composição diversificada, conforme a Figura 2; e em sua maioria renovável quando comparado com outros países desenvolvidos (Figura 3).

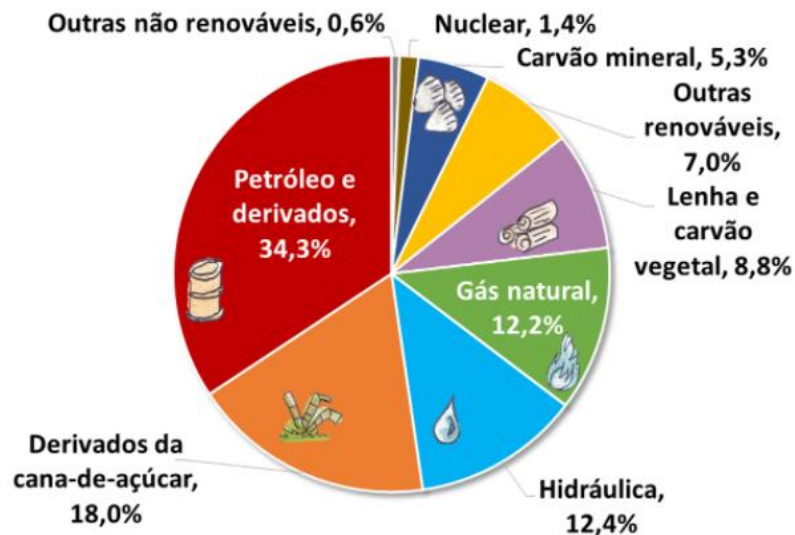


Figura 2 – Matriz Energética Brasileira
Fonte: EPE (2021).

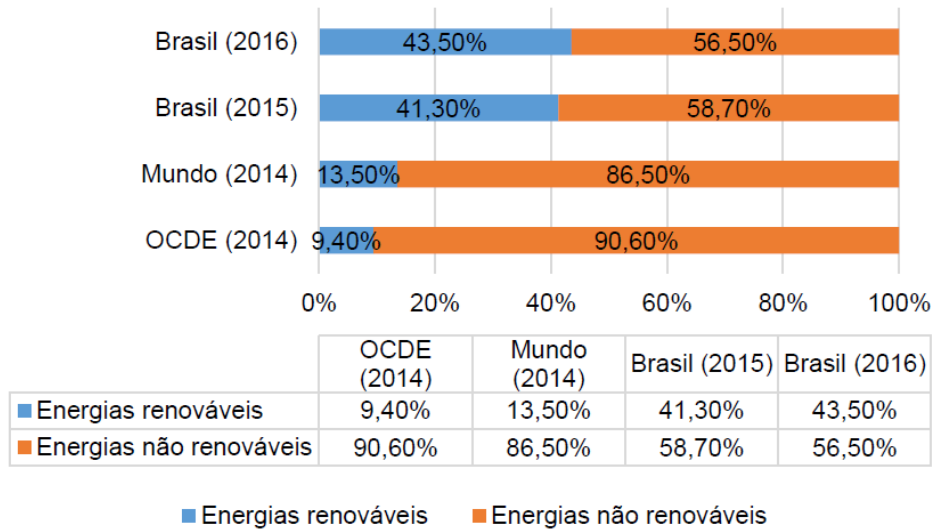


Figura 3 – Matriz energética brasileira e a matriz energética do mundo
Fonte: Nascimento (2019).

2.3 Energia Solar

A energia solar é a luz e o calor do Sol que é aproveitado usando uma gama de tecnologias em constante evolução, como o aquecimento solar, a energia fotovoltaica, energia solar térmica, arquitetura solar, plantas de energia de sal fundido e fotossíntese artificial. É uma importante fonte de energia renovável e suas tecnologias são amplamente caracterizadas como solar passiva ou solar ativa dependendo de como elas capturam e distribuem a energia ou a convertem em energia elétrica (BETINI, 2012).

A Terra recebe 174.000 terawatts (TW) de radiação solar, que é a energia emitida pelo Sol na forma de onda eletromagnética, aproximadamente 30% da radiação é refletida de volta ao espaço, enquanto, o resto é absorvido por nuvens, oceanos e massas terrestres (BETINI, 2012). Na Figura 4 encontra-se a representação dos 3 tipos de radiação solar, sendo elas: Radiação Difusa, que alcança a superfície da Terra a partir de todas as direções, após ter sido dispersada pelas moléculas e partículas presentes na atmosfera; Radiação Direta, que é a parte da radiação solar total que não sofre nenhum desvio causado pela atmosfera, vindo diretamente do Sol; e a Radiação Refletida (ou Albedo), que é a energia recebida sobre a superfície terrestre que é reenviada para o espaço sob a forma de energia refletida (TOLMASQUIM, 2016).

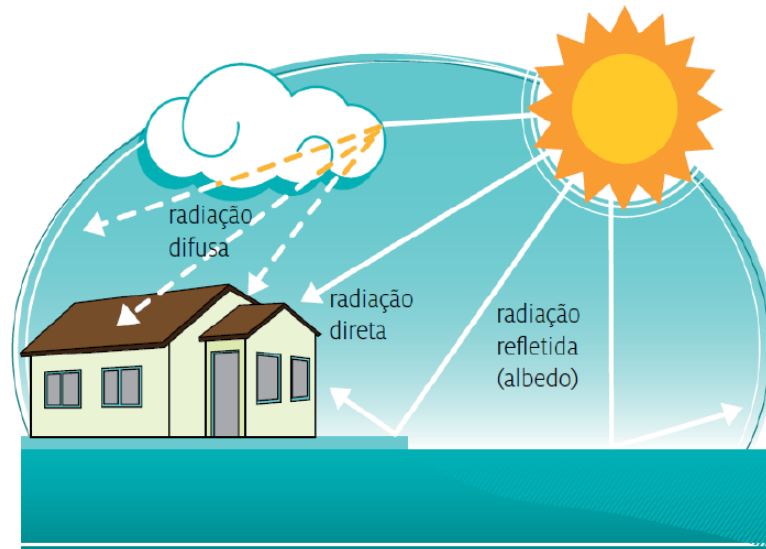


Figura 4 – Tipos de Radiação Solar
Fonte: Tolmasquim (2016).

2.4 Energia Solar Fotovoltaica

Um sistema de produção fotovoltaica é uma fonte de energia que, através da utilização de células fotovoltaicas, converte diretamente a energia luminosa em eletricidade (TIEPOLO, 2015).

Geralmente é utilizado em zonas afastadas da rede de distribuição elétrica, podendo trabalhar de forma independente ou conectada à rede (CRESESB, 2018).

Tiepolo (2015) aponta que os módulos são compostos de células fotovoltaicas de silício (Si), que é um material semicondutor de eletricidade. Mediante um processo de dopagem, o silício obtém um material com portadores de carga negativa (silício tipo N) e outro com cargas positivas livres (silício tipo P), com isso cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P (Figura 5).

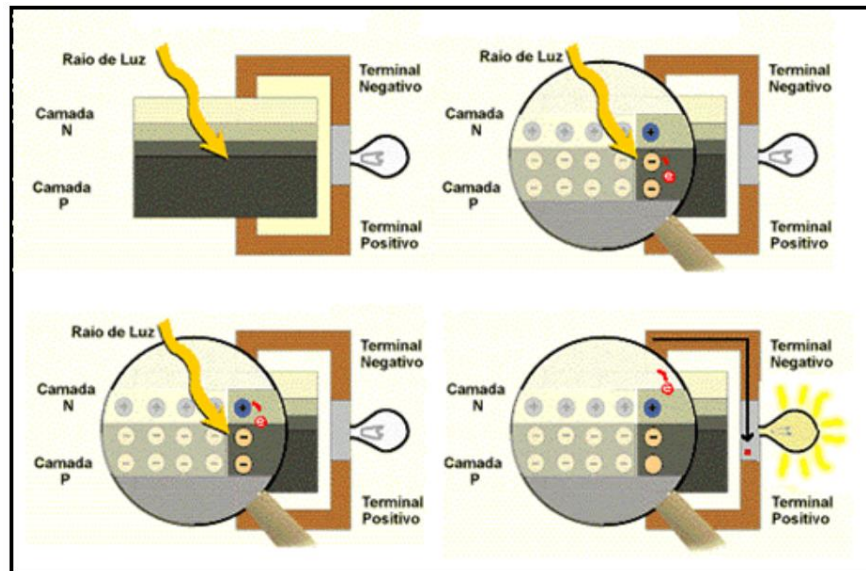


Figura 5 – Silício dopado
Fonte: CRESESB (2018)

Quando há luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons que compõe a célula chocam-se com os elétrons da estrutura do silício dando-lhes energia. Devido ao campo elétrico gerado na união P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada "P" para a camada "N" (CRESESB, 2018).

Cada módulo fotovoltaico é formado por uma determinada quantidade de células conectadas em série. Como se viu anteriormente, ao unir-se a camada negativa de uma célula com a positiva da seguinte, os elétrons fluem através dos condutores de uma célula para a outra (FADIGAS, 2020).

2.5 Componentes de um Sistema Fotovoltaico

Os sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid* possuem equipamentos que podem ser específicos para cada aplicação como, por exemplo, o controlador de carga e as baterias no sistema off grid, porém, independentemente da configuração do sistema, os módulos fotovoltaicos e os inversores são utilizações comuns em ambos os sistemas (PAZUCH, 2017).

2.5.1 Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas podem ser definidas como a menor unidade de um sistema fotovoltaico, sendo uma unidade básica, responsável pela conversão direta da energia solar em energia elétrica. Uma única célula produz pouco energia, então é comum associar vários conjuntos de células no intuito de aumentar a quantidade de energia gerada. A eficiência dos módulos fotovoltaicas está ligada as características das células, ou seja, do material semicondutor empregado e a qualidade das suas conexões elétricas (ALVES, 2016).

O silício é o material semicondutor mais utilizado atualmente para confecção das células fotovoltaicas, sendo o segundo elemento mais abundante do planeta Terra. O silício é explorado de diversas formas: monocristalino, policristalino e amorfo. Entretanto, outros materiais estão sendo testados para esta aplicação, as células de filmes finos são um exemplo disso, as quais possuem eficiência energética menor, se comparadas as de silício convencional, porém o seu custo no processo de fabricação é menor (NASCIMETO, 2004).

Os principais tipos de células fotovoltaicas são apresentados a seguir:

- **Silício Monocristalino:** são denominados assim devido a estrutura homogênea em toda sua extensão. Para fabricação de célula fotovoltaica é essencial que o silício apresente elevado grau de pureza, na ordem de 99,99% (MME, 2012).

As células monocristalinas costumam ter aparência azul escura ou preta, dependendo do tipo de tratamento antirreflexivo que a mesma recebeu. São o tipo de célula mais eficiente disponível comercialmente, atingindo eficiências na faixa de 15 a 18%, porém, possuem custos maiores de produção se comparadas a outros tipos de células. Estas células são rígidas e quebradiças, para que possam ser utilizadas elas devem ser montadas em módulos para que adquiram resistência mecânica (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

- **Silício policristalino:** diferente das células monocristalinas, estas são produzidas através de moldes especiais por fusão de silício. O processo formará uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais, desta forma, os átomos não se organizam em um único cristal (NASCIMETO, 2004).

Em termos de eficiência de conversão da luz solar em eletricidade, comparada as células monocristalinas, é ligeiramente menor (NASCIMETO, 2004). As células policristalinas têm eficiências comerciais em torno de 13 a 15%, porém seu custo de fabricação é menor que o das células monocristalinas o que acaba compensando essa redução de eficiência (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Na Figura 6 é mostrado a diferença visual entre a célula monocristalina e policristalina.

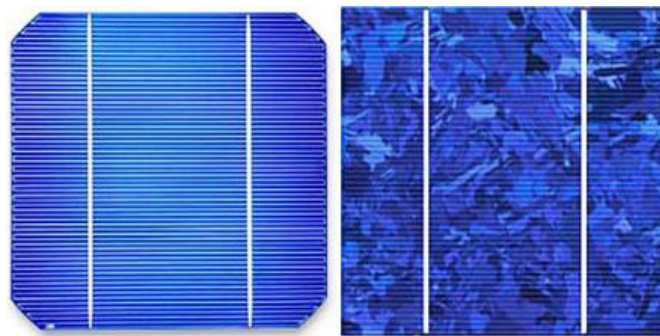


Figura 6 – Células de silício monocristalino e policristalino
Fonte: MME (2012).

- **Filme fino:** Camada de material semicondutor na forma de plasma sobre uma superfície flexível ou rígida (vidro), a qual servirá como base ou apoio para o material semicondutor. O acabamento é feito com a cobertura de vidro ou outro material transparente. Essa configuração corresponde ao módulo de filme fino. Na Figura 7 é mostrado um exemplo de filme fino.

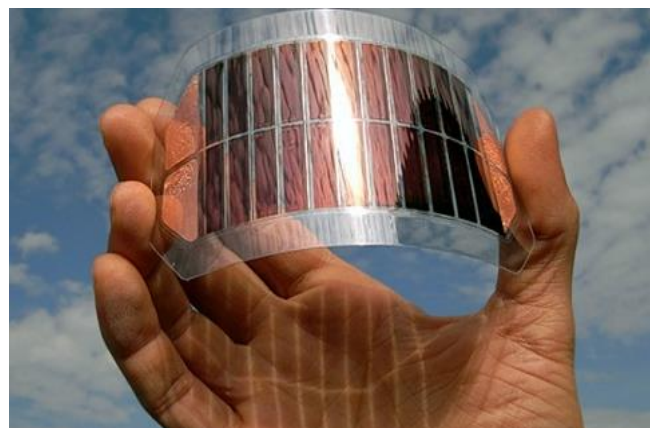


Figura 7 – Célula fotovoltaica de filme fino
Fonte: ITSOLAR (2019).

2.5.2 Painéis Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são formados por um conjunto de células fotovoltaicas e podem ser interconectados de forma a permitir arranjos modulares que, em conjunto, aumentam a capacidade de geração de energia elétrica. Cerca de 80% das células fotovoltaicas são fabricadas a partir do silício cristalino e 20% utilizam filmes finos (SILVA, 2015). A estrutura básica do módulo fotovoltaico é apresentada na Figura 8 (TOLMASQUIM, 2016).

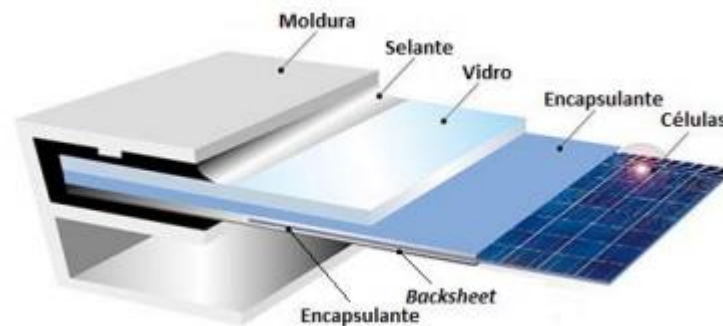


Figura 8 – Camadas de um módulo fotovoltaico típico
Fonte: Tolmasquim (2016).

- **Moldura:** geralmente constituída de alumínio, corresponde a parte externa do modulo, sendo responsável pela fixação do mesmo.
- **Selante:** composto adesivo utilizado para adesão entre as camadas internas do modulo e a moldura. Tem como finalidade impedir a entrada de umidade e gases, bem como proteger o interior de choques mecânicos e vibrações.
- **Vidro:** destina-se a proteger as células e condutos do ambiente através de uma camada rígida externa, simultaneamente permite a entrada de luz que será convertida em eletricidade. É empregado um vidro do tipo especial, o qual possui um baixo teor de ferro, superfície texturizada e camada antirreflexiva, evitando assim a reflexão pelo vidro da luz incidente.
- **Encapsulante:** corresponde ao filme que envolve as células, que além de otimizar a condução elétrica, também as protege dos materiais externos e umidade. O material mais utilizado para esta finalidade é o Etil Vinil Acetato (EVA).

- **Células Fotovoltaicas:** componente eletrônico responsável pela conversão direta da energia eletromagnética em energia elétrica.

Backsheet: protege as células de elementos externos e a entrada de umidade, implantado na parte inferior do módulo, também propicia isolamento elétrico adicional.

A inclinação ideal dos painéis fotovoltaicos pode ser determinada em função da latitude do local do projeto, sendo que a configuração do sistema fotovoltaico (*on-grid* ou *off-grid*) interfere no método de cálculo da inclinação. Para sistemas *on-grid*, as inclinações menores que a latitude proporciona maior absorção da radiação solar nos períodos próximos ao solstício de verão, o que eleva a geração de energia (FADIGAS, 2020).

2.5.3 Inversor

No sistema fotovoltaico, o inversor é o dispositivo eletrônico responsável por fornecer energia elétrica em corrente alternada – CA, a partir da energia elétrica, gerada pelos módulos solares fotovoltaicos, em corrente contínua – CC. A energia CC pode ser proveniente, como por exemplo, dos módulos fotovoltaicos, baterias ou células a combustível. As cargas a serem alimentadas devem receber tensão CA de saída em frequência, conteúdo harmônico e amplitude adequadas. Os sistemas conectados à rede elétrica deverão sincronizar a tensão de saída do inversor com a tensão da rede elétrica (CEPEL – CRESESB, 2014).

Existem inversores específicos para cada função, para aplicação nos sistemas fotovoltaicos os inversores podem ser classificados para duas finalidades: sistemas fotovoltaicos conectados à rede - SFCRs, sistemas fotovoltaicos isolados – SFIs. Apesar dos inversores para SFCRs apresentar os mesmos princípios de funcionamento que os inversores para SFIs, é necessário que eles atendam as certas características exigidas pelas concessionárias de distribuição, com relação a questões de segurança e qualidade de energia injetada na rede (CEPEL – CRESESB, 2014).

Os inversores do sistema *off-grid* funcionam retirando energia do banco de baterias, e através deles a corrente contínua fornecida pelas baterias convertida em corrente alternada, fornecendo a potência elétrica diretamente aos aparelhos consumidores. Estes inversores não podem ser utilizados em sistemas *on-grid*, visto

que eles não foram feitos para receber corrente alternada que está presente na rede de distribuição (TONIN, 2017).

Os inversores *on-grid*, são feitos para trabalhar conectados permanentemente com a rede, por conta disso devem ser capazes de fornecer a corrente alternada, além de detectar qualquer anomalia que apareça na rede, como flutuações de tensão ou de frequência, e principalmente as quedas de tensão. Em casos de ausência de energia da rede o equipamento desliga automaticamente, evitando pôr em risco o serviço de manutenção (TONIN,2017). Na Figura 9 é apresentado um modelo de inversor para sistemas *on-grid*.



Figura 9 – Inversor para sistemas on-grid
Fonte: ECOSOLYS (2018).

Usualmente, inversores com potência individuais com até cerca de 5 kW tem saída monofásica, para conexões à rede. Em potencias mais elevadas é comum a aplicação de inversores com saída trifásica, ou ainda inversores monofásicos em associação trifásica (PINHO, 2021).

2.5.4 Controlador de Carga

Os sistemas fotovoltaicos com baterias devem empregar obrigatoriamente um controlador/regulador de carga. O controlador de carga é um dispositivo que faz a conexão correta entre o painel fotovoltaico e a bateria, evitando que a bateria seja sobrecarregada ou descarregada excessivamente (TIEPOLO, 2015).

Uma das principais funções do controlador de carga é impedir que a bateria seja sobrecarregada, sendo responsável por monitorar o valor da tensão nos terminais da bateria impedindo que continue sendo carregada quando a tensão de carga é atingida. Para evitar a sobrecarga, o controlador de carga desconecta o painel solar do sistema quando a bateria atinge seu nível máximo (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Os controladores de carga podem ser de 2 tipos, sendo eles: PWM (*pulse width modulation*) e MPPT (*maximum power point tracking*) (TONIN, 2017).

Em sistemas fotovoltaicos *off-grid* quando é feito o dimensionamento do controlador de mesma tensão, a principal preocupação é observar se a corrente que fornece máxima potência ao módulo fotovoltaico não excede a corrente de máxima potência do controlador de carga (FERNANDES, 2018).

Entretanto, os controladores PWM não alimentam o banco de baterias a partir do ponto de máxima potência dos módulos fotovoltaicos, dessa forma, o rendimento do sistema é comprometido, ao contrário do tipo MPPT que buscam atingir o ponto de máxima potência, o que resulta em uma eficiência quase total do sistema. Por conta disso, os modelos MPPT são mais caros que os controladores PWM (FERNANDES, 2018). Na Figura 10 pode ser observado um controlador de carga do tipo PWM.



Figura 10 – Controlador de carga do tipo PWM
Fonte: VICTRON ENERGY (2019).

2.5.5 Baterias

As baterias são necessárias para oferecer um fornecimento constante de energia para o consumidor evitando o desperdício da energia gerada quando o consumo é baixo, permitindo o armazenamento para utilização posterior, nos momentos em que há pouca ou nenhuma radiação, no período da noite ou em dias nublados e/ou chuvosos (BHATIA, 2016).

Se agrupadas as baterias podem formar um banco. A associação em série permite maiores tensões e a associação em paralelo acumular mais energia ou fornecer mais corrente elétrica com a mesma tensão (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Atualmente existem muitos tipos de baterias elétricas, sendo que as mais recomendadas são as baterias estacionárias. Entende-se por bateria estacionária aquelas que são tipicamente aplicadas a funções que demandam por longos períodos de corrente elétrica moderada, ao invés de sobrecargas por poucos segundos. Além disso, esta categoria de bateria é projetada para suportar períodos maiores de descarga, por isso duram muito mais tempo e são adequadas para o uso em sistemas solares fotovoltaicos. (BHATIA, 2016). Na Figura 11 pode ser observado um modelo de bateria estacionária.



Figura 11 – Bateria estacionária
Fonte: FREEDOM (2020).

2.6 Sistema *off-grid*

O sistema *off-grid*, ou sistema não-conectado, abastece diretamente os aparelhos que utilizam a energia e são geralmente construídos com um propósito local e específico, nesse sistema a energia produzida é armazenada em baterias que garantem o abastecimento em períodos sem sol. Esta solução é bastante utilizada em locais remotos já que muitas vezes é o modo mais econômico e prático de se obter energia elétrica nestes lugares (NASCIMENTO, 2019).

Alguns exemplos do uso desse sistema são: sistemas de bombeamento de água, eletrificação de cercas, geladeiras para armazenar vacinas, postes de luz, estações replicadoras de sinal, etc.

Os sistemas isolados de geração de energia solar fotovoltaica, de maneira simplificada, são compostos de quatro componentes, sendo eles: placa solar; controlador de carga, inversor e bateria (NASCIMENTO, 2019). Nesse sistema, os painéis solares geram a energia elétrica em corrente contínua (CC) que abastece as baterias que armazenam a energia elétrica para ser utilizada nos momentos em que o sol não esteja presente e não haja outras fontes de energia; para garantir o correto abastecimento das baterias evitando sobrecargas e descargas profundas é necessário utilizar os controladores de carga e os inversores que irão transformar corrente contínua (CC) em corrente alternada (AC) (LIMA JUNIOR, 2019). O sistema está esquematizado na Figura 12.

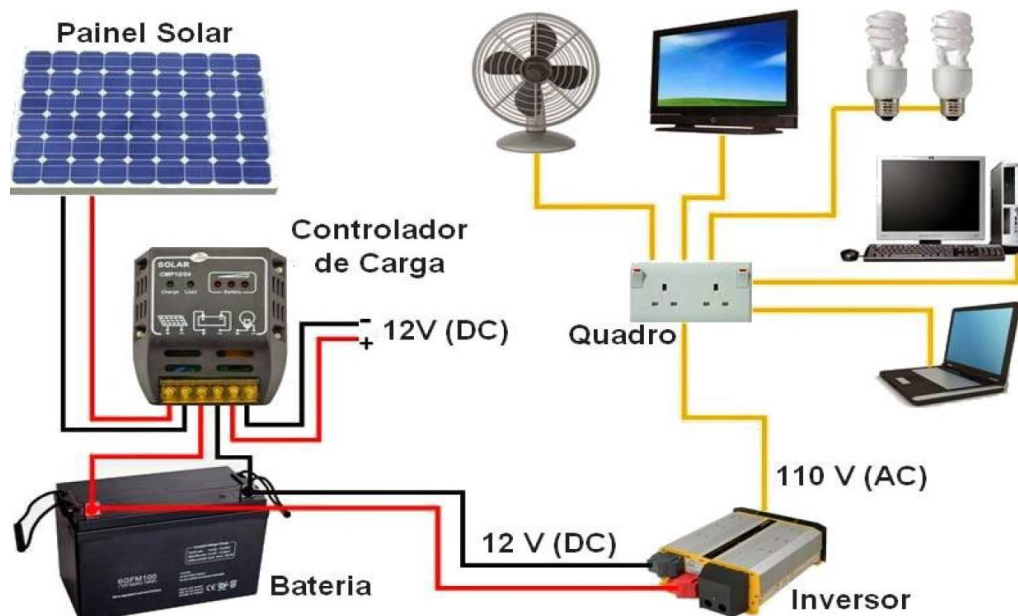


Figura 12 – Funcionamento de um Sistema *off-grid*
Fonte: Acervo pessoal.

2.7 Sistema *on-grid*

O sistema fotovoltaico *on-grid*, também chamado de *grid-tie*, precisa, necessariamente, estar conectado à rede de distribuição de energia dispensando assim a utilização das baterias e dos controladores de carga. Nesse sistema, os inversores terão, além da função tradicional de converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), a função de sincronizar o sistema com a rede pública (BOHN, 2019).

No sistema *on-grid*, por não possuir dispositivo de armazenamento (Baterias), toda a energia excedente produzida (aquela que não é utilizada pela residência ou pela empresa) é enviada de volta à rede convencional de energia elétrica (BOHN, 2019).

Com isso, o relógio medidor de energia elétrica gira no sentido contrário e esse excedente é convertido em créditos de energia, que podem ser utilizados em momentos em que a demanda é maior que a produção, dentro de um período de até 36 meses (LIMA JUNIOR, 2019).

Outro aspecto é que um sistema fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*), atende ao sistema de compensação estabelecido pela resolução 482/2012 da ANEEL e modificado pela resolução 687/2015 da ANEEL, deve ser dimensionado com base na consideração de que o excedente da energia gerada será injetado na rede de energia elétrica local (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015).

Portanto, o sistema deve estar em conformidade com a frequência da rede, com a tensão de distribuição e com a segurança do sistema de distribuição. Para que o sistema fotovoltaico possa ser instalado, é imprescindível a solicitação de acesso à concessionária local (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015).

No caso de dimensionamento de sistema fotovoltaico para consumidores do grupo B (atendidos em baixa tensão), deve-se dimensionar o sistema para gerar no máximo o valor do consumo de energia elétrica anual, descontando-se o custo da disponibilidade da energia elétrica da concessionária (o valor corresponde à uma fatura de 30 kWh para consumidores monofásicos, 50 kWh para consumidores bifásicos e 100 kWh para consumidores trifásicos) (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015).

Com isso, apesar da residência ainda fazer uso da rede convencional de energia, há uma economia na conta onde só é pago a diferença entre o que é consumido e o que é produzido. Outro ponto positivo é que esses créditos conseguidos podem ser utilizados por outras unidades consumidoras, desde que possuam o mesmo titular e façam parte da mesma rede distribuidora (LIMA JUNIOR, 2019). O sistema está esquematizado na Figura 13.

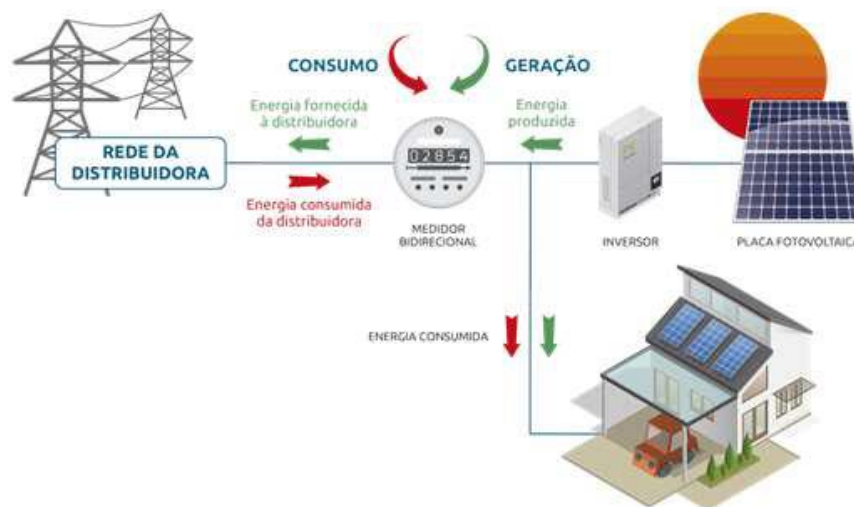


Figura 13 – Funcionamento de um Sistema *on-grid*
Fonte: Junior (2019).

2.8 Análise de Viabilidade Econômica para Sistemas Fotovoltaicos

Para realizar uma análise de viabilidade econômica em projetos de mini ou microgeração de energia fotovoltaica, primeiramente, deve-se levar em consideração a vida útil estimada do projeto que em média é de 25 anos, sendo os módulos fotovoltaicos com 25 anos de vida útil e 10 anos para os inversores que deverão ser substituídos no décimo e no vigésimo ano do projeto (NASCIMENTO, 2019).

Além disso, é necessário calcular alguns indicadores para demonstrar efetividade do projeto, sendo eles: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e *payback* descontado (NASCIMENTO, 2019).

O valor presente líquido (VPL) busca trazer para o presente quais são os fluxos de caixa de um investimento. Como critério de seleção adota-se um VPL maior que 0 como projeto viável e menor que 0 como inviável, pois com valores positivos, indicará

que o projeto trará retorno (BRITO, 2016).

A taxa interna de retorno (TIR) indica qual é o retorno de um determinado investimento. A rentabilidade do investimento é observada quando a TIR for maior que a taxa de juros. Além disso, o cálculo da TIR é feito quando se iguala o VPL a 0 (NASCIMENTO, 2019).

O *payback* analisa o período necessário para recuperar um investimento. O *payback* pode ser de dois tipos, sendo eles: *payback* simples e *payback* descontado. No *payback* simples não se leva em consideração os fluxos de caixa futuro, fator esse que será incluído no *payback* descontado (BRITO, 2016).

2.9 Energia Solar Fotovoltaica na Avicultura

O emprego da energia solar fotovoltaica em aviários pode ser observado em outros estudos como em Primieri (2019), na qual foi feito uma análise para implementação de dois sistemas fotovoltaicos para aviários do tipo *Dark House* na região de Tupãssi – PR; assim como Nascimento (2019), que no estudo feito sobre empreendimentos no agronegócio, foi abordado uma análise de viabilidade econômica em sistemas fotovoltaicos conectados à rede na avicultura.

Por fim, Silva (2017) desta que a implementação da energia solar fotovoltaica em aviários resulta em reduções significativas nas emissões de CO₂, contribuindo assim para a redução dos impactos ambientais no ecossistema local, bem como numa redução de custos para os investidores na avicultura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do Local

O município de Cascavel possui uma área de 2.091,401 km² e localiza-se na região Oeste do Estado do Paraná, entre a latitude 24°57'21" Sul e longitude 53°27'19" Oeste, com uma altitude média de 785 m (CASCAVEL, 2020).

O estudo foi realizado em uma propriedade rural que possui dois aviários de tipo *Dark House* com sistema de climatização e automação para a hidratação e alimentação dos galináceos, que fornece carne de frango para pequenos e médios restaurantes de Cascavel (Figura 14). Essa unidade situa-se na Estrada municipal São João, sem número, no distrito de São João do Oeste, em Cascavel-PR, tendo dimensões de 14 m x 150 m ocupando uma área de 2.100 m² com capacidade de alojamento de 29.000 aves.



Figura 14 – Localização do aviário com a indicação de Norte verdadeiro.
Fonte: Google Earth (2021).

3.2 Irradiação Solar média anual em Cascavel-PR

Os dados de irradiação solar média anual foram determinados por meio do SunData do CRESESB que se destina ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma ferramenta oferecida pelo CRESESB para o apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Com o auxílio do SunData foi possível obter os valores de irradiação solar no plano horizontal e inclinado para as respectivas coordenadas e coletar os dados da irradiação solar diária média (kWh/ m². dia), mostrados nas Figuras 15 e 16. A irradiação média solar anual no plano inclinado foi de 4,96 (kWh/ m². dia).

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Cascavel
Município: Cascavel, PR - BRASIL
Latitude: 25° S
Longitude: 53,449° O
Distância do ponto de ref. (24,955556° S; 53,455278° O): 5,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,21	5,53	5,10	4,27	3,34	2,97	3,19	4,21	4,37	5,19	5,97	6,34	4,72	3,36
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	25° N	5,57	5,27	5,29	4,93	4,21	3,93	4,14	5,10	4,70	5,08	5,43	5,58	4,94	1,65
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	5,72	5,36	5,30	4,87	4,11	3,82	4,03	5,01	4,69	5,14	5,57	5,75	4,95	1,93
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	45° N	4,59	4,59	4,92	4,95	4,47	4,29	4,47	5,27	4,49	4,51	4,55	4,54	4,64	,98

Figura 15 – Valores de irradiação solar anual
Fonte: SunData (2021)

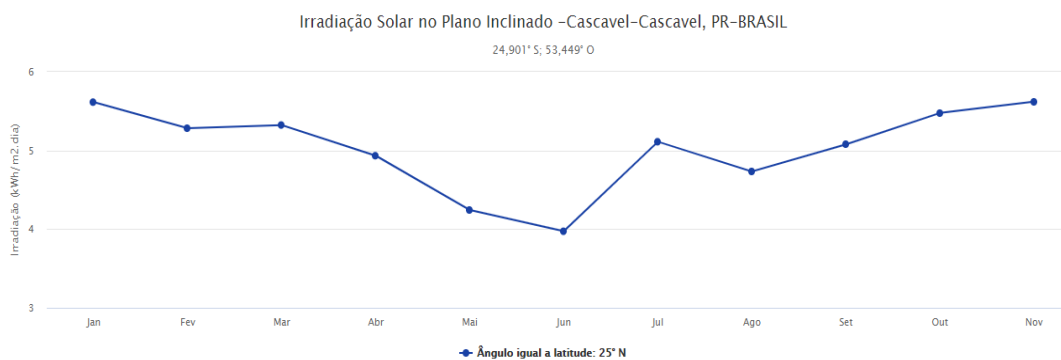


Figura 16 – Gráfico da Irradiação Solar em relação ao Ângulo igual a latitude 25° N
Fonte: SunData (2021)

3.3 Dimensionamento do Sistema On-grid para os Aviários da Propriedade Rural

Inicialmente, foi realizado um levantamento para determinar o consumo médio anual de energia elétrica diária da unidade consumidora, sendo descontado o valor referente ao custo de disponibilidade de energia.

Em seguida, foi calculada a potência do sistema fotovoltaico por meio da equação 1:

$$PFV = \frac{E}{\frac{TD}{HESP}} \quad (1)$$

Onde:

PFV = Potência Total do Painel Fotovoltaico (kWp);

E = Consumo médio anual diário ou fração (kWh/dia);

TD = Taxa de desempenho (Para o Brasil, 70 a 80%); e

HESP = Média das horas equivalente de sol pleno no plano do painel fotovoltaico (h/dia).

Para determinar a potência do painel fotovoltaico foi necessário determinar o consumo mensal médio anual, para tanto utiliza-se o histórico dos últimos 12 (doze) meses, disponível na fatura de energia elétrica da concessionária.

A média das horas equivalente de Sol pleno no plano do painel fotovoltaico é determinada por meio da irradiação média mensal na cidade de Cascavel - PR.

Posteriormente, o número de módulos fotovoltaicos foi determinado pela equação 2:

$$NM = \frac{PFV \times 1000}{PNMF} \quad (2)$$

Onde:

NM = Número de Módulos Fotovoltaicos (unidade);


PFV = Potência Total do Painel Fotovoltaico (kWp);

PNMF = Potência Nominal do Módulo Fotovoltaico (Wp).

O primeiro passo para determinar o número de módulos fotovoltaicos necessários ao sistema é a escolha do modelo de módulo que será empregado. Fixou-se a potência nominal de 395 Wp e, então, entre os modelos disponíveis no mercado,

selecionou-se o módulo CS3W-395P, da fabricante Canadian Solar. Na Tabela 1 podem ser observada as especificações do módulo utilizado e as informações técnicas fornecidas pelo fabricante.


Tabela 1 – Especificações do Módulo CS3W-395P

	Dados	CS3W-395P
	Tensão de circuito aberto (V_{oc})	49,10 V
	Tensão máxima de funcionamento (V_{mp})	40,20 V
	Corrente de curto-circuito (I_{sc})	10,3 A
	Corrente de potência de pico (I_{mp})	9,83 A
	Potência máxima em STC (P_{max})	395 Wp
	Eficiência do módulo	19,91 %
	Temperatura de operação	-40 °C ~ 85 °C

Fonte: Canadian Solar (2021).

Para o inversor, foi escolhido um modelo da CSI-20K da marca Canadian Solar com potência nominal de 20 kW que levou em consideração a potência do sistema instalado. As especificações do inversor e as informações técnicas fornecidas pelo fabricante podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2– Especificações do inversor CSI-20K

	Dados	CSI-20K
	Tensão de Entrada	1000 Vcc
	Tensão de Saída	154 - 264 Vca
	Corrente de Entrada	33/27 A
	Corrente de Saída	31,9 A
	Potência Nominal	20 kW
	Eficiência	98,1 %
	Frequência	60 Hz

Fonte: Canadian Solar (2021).

O inversor deve ser selecionado levando-se em consideração o FDI (fator de dimensionamento do inversor) que representa a relação entre a potência nominal do

inversor em corrente alternada e a potência total do painel fotovoltaico (Equação 3):

$$FDI = \frac{PINV}{PFV} \quad (3)$$

Onde:

FDI = Fator de Dimensionamento do Inversor (o valor otimizado está entre 0,75 e 0,85. Pode chegar no máximo a 1,05);

PFV = Potência Total do Painel Fotovoltaico (kWp);

PINV = Potência Nominal do Inversor (kWp).

Posteriormente, o arranjo dos módulos fotovoltaicos em série, formando fileiras de módulos (*strings*), deve ser elaborado respeitando-se a tensão de entrada em corrente contínua do inversor (Equação 4):

$$NMFS \times TOC < TEMINV \quad (4)$$

Em que:

NMFS = Número de Módulos Fotovoltaicos em Série (unidade);

TOC = Tensão de Circuito Aberto do Módulo Fotovoltaico (V);

TEMINV = Tensão de Entrada Máxima do Inversor (V).

Por fim, número máximo de fileiras de módulos (*strings*) conectadas em paralelo deve respeitar a corrente máxima de entrada em corrente contínua do inversor (Equação 5):

$$NFSP = \frac{IMEINV}{ICCMF} \quad (5)$$

Onde:

NFSP = Número de Fileiras de Módulos Fotovoltaicos em Série Conectados em Paralelo (unidade);

IMEINV = Corrente Máxima de Entrada do Inversor (A);

ICCMF = Corrente de Curto-Circuito do Módulo Fotovoltaico (A).

3.4 Dimensionamento do Sistema *Off-grid* para os Aviários da Propriedade Rural

Primeiramente, foi realizado um levantamento de carga e potência instalada de todos os equipamentos presentes no interior do aviário. Para garantir que o sistema não teria falta de energia, utilizado a menor irradiação anual no local com base para efetuar os cálculos do dimensionamento.

Optou-se por um sistema *off-grid* com 48 V e com isso foi determinada a corrente do sistema aplicando a equação 6:

$$I_{sit} = CD/48 \text{ V (A)} \quad (6)$$

Onde:

I_{sit} = Corrente do sistema (A);

CD = Consumo Diário (Wh)

A próxima etapa foi calcular a potência mínima do sistema e para isso foi necessário consultar o mapa Atlas Solar que determina as Horas Equivalentes de Sol por dia na região (Figura 17):

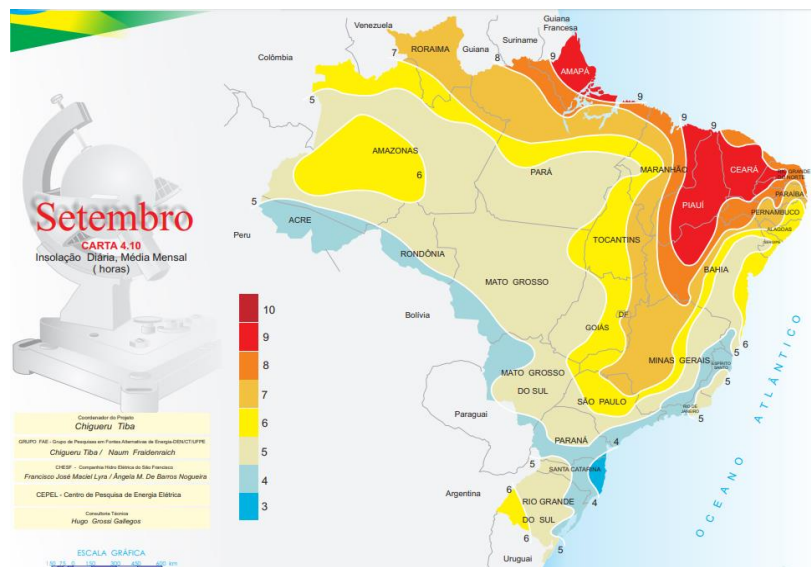


Figura 17 – Atlas indicando as horas equivalentes de Sol no Brasil
 Fonte: Atlas Solar (2021).

Nota-se que para a região de Cascavel tem-se 4 horas equivalentes de Sol. Com isso, aplicou-se a equação 7:

$$PM_{\text{sist}} = PM \times \text{HESP (Wh)} \quad (7)$$

Onde:

PM_{sist} = Potência Mínima do Sistema (W)

HESP = (Cascavel) temos 4 Horas Equivalente de Sol/ dia.

PM = Potência Máxima do painel escolhido (Wh).

Feito isso, calculou-se a Corrente Mínima do Sistema por meio da equação 8:

$$(IM_{\text{sist}}) = (PM_{\text{sist}})/48 \text{ V (A)} \quad (8)$$

Onde:

PM_{sist} = Potência Mínima do Sistema (Wh)

(IM_{sist}) = Corrente Mínima do Sistema (Ah)

Logo, para a determinação do número de painéis (N_p) foi efetuado a divisão entre o consumo (CD) e Corrente Mínima do Sistema (IM_{sist}) (Equação 9):

$$N_p = CD/(IM_{\text{sist}}) \quad (9)$$

Para dimensionar o controlador de carga foi multiplicado o número de painéis pela corrente de curto-circuito informada pelo fabricante (Equação 10).

$$CC = N_p \times I_{\text{sc}} \text{ (A)} \quad (10)$$

Onde:

CC = Controlador de carga (A);

N_p = Número de painéis fotovoltaicos; e

I_{sc} = Corrente de curto-circuito (A).

O Banco de Baterias (BB) determinado foi entre a divisão do consumo (CD) pela profundidade de descarga (PFD).

Considera-se PFD = 30% (Equação 11)

$$BB = CD/0,30 \text{ (A)} \quad (11)$$

Por fim, o inversor deve possuir potência maior ou igual a Potência do Sistema, logo:

Ou seja: $(P_{inv}) > (P_{sist})$.

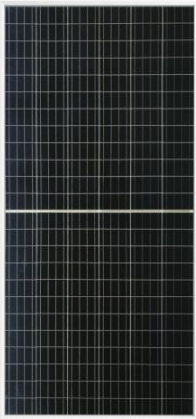
Onde:

P_{inv} = Potência do Inversor (W);

P_{sist} = Potência do Sistema Instalada (W).


Os equipamentos escolhidos para o sistema *off-grid* com suas respectivas informações técnicas podem ser observados nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 – Especificações do Módulo SS-550-72-MDH

	Dados	SS-550-72-MDH
	Tensão de circuito aberto (V_{oc})	49,60 V
	Tensão máxima de funcionamento (V_{mp})	40,83 V
	Corrente de curto-circuito (I_{sc})	14,04 A
	Corrente de potência de pico (I_{mp})	13,48 A
	Potência máxima em STC (P_{max})	550 Wp
	Eficiência do módulo	21,28 %
	Temperatura de operação	-45 °C ~ 85 °C


Fonte: Neosolar (2021).

Tabela 4 – Especificações da Bateria Estacionária DF4100 (240 Ah/220 Ah)

	Dados	DF4100
	Capacidade Nominal (Ah) para 100h	240 Ah
	Capacidade Nominal (Ah) para 20h	220 Ah
	Capacidade Nominal (Ah) para 10h	200 A
	Tensão (V)	12 V
	Comprimento (mm)	525 mm
	Largura (mm)	275 mm
	Altura (mm)	250 mm

Fonte: Neosolar (2021).

Tabela 5 – Especificações do Inversor/ Controlador Upower-HI 5000



Dados	Upower-HI 5000
Tensão do Banco de Bateria	48 Vcc
Tensão de Saída	220 - 230 Vca
Tipo de Controlador	MPPT
Máxima Corrente de Descarga	80 A
Potência Nominal	5 kW
Eficiência	93 %
Frequência	60 Hz

Fonte: NeoSolar (2021).

3.5 Determinação dos custos dos sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid* dimensionados para os aviários da propriedade rural

Para quantificar os custos necessários para realizar a instalação do sistema fotovoltaico *on-grid* foram considerados todos os custos iniciais do produtor, que incluíram: os módulos fotovoltaicos, inversores e *string box*, junção para perfil de alumínio, estrutura de alumínio adequada ao telhado, material elétrico, serviços de instalação do sistema e projeto solar fotovoltaico.

Já os custos envolvendo o sistema *off-grid* incluíram os componentes do sistema, ou seja, módulos fotovoltaicos, controladores de carga, inversores e baterias. Além disso, contabilizou-se o valor da mão-de-obra envolvida na instalação.

3.6 Avaliação da Viabilidade Econômica para os Sistemas *On-grid* e *Off-grid*

Na avaliação da viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid*, foram utilizadas ferramentas de Engenharia Econômica, composta pelos seguintes indicadores: VPL, TIR, *payback* descontado.

Para cálculo do Valor Presente Líquido, foi utilizada equação 12:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+i)^t} \right) - FC_0 \quad (12)$$

Em que:

- n - Vida útil do projeto (anos)
- FC - Fluxo de caixa em cada período (R\$)
- i - Taxa de juros (%)
- FC_0 - Valor inicial do investimento (R\$)

Para calcular a TIR usou-se a equação 13:

$$\sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \right) - FC_0 = 0 \quad (13)$$

No *Payback* descontado foi igual ao mínimo de i (Equação 14):

$$VPL = \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1 + i)^t} \right) \geq -FC_0 \quad (14)$$

3.7 Avaliação econômica comparativa entre os sistemas fotovoltaicos *off-grid* e *on-grid* para os aviários da propriedade rural

Tendo obtido os resultados dos cálculos referentes a viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos (*on-grid* e *off-grid*) em estudo, foi realizada uma comparação entre valores encontrados para os parâmetros de *payback* descontado.

E com isso ficou determinado que o projeto ideal a ser implementado foi aquele que tivesse o menor *payback* descontado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise do Consumo Energético no Local

Por meio de um levantamento de carga instalada e da fatura de energia do consumidor, foram criadas as Tabelas 6 e 7 que demonstram respectivamente os equipamentos instalados no aviário e custo com a fatura de energia elétrica, que foi baseado na tarifa do consumidor identificada em R\$ 0,49.

Tabela 6 – Equipamentos Instalados na unidade levantada (aviário)

Equipamentos	Quantidade	Potência (cv)
Motor (comedouros)	8	0,55
Motor (silo)	1	1
Motor (Fornalha)	2	4,5
Motor (desidratador de aves)	1	1
Exaustores	6	1,5
Exaustores	14	1
Lâmpadas Incandescentes	169	0,08
Bomba (pad cooling)	1	1
Bomba (nebulização)	1	1
Bomba (Arco sanitário)	1	1
Bomba submersa (poço)	1	3,5
Bomba (filtro)	1	1
Bomba (dosadora)	1	1
Circulador (ventilador)	4	0,5

Tabela 7 – Consumo de Energia Elétrica na propriedade

Mês	kWh	Valor (R\$)
jan/21	6043	R\$ 2.450,37
fev/21	6100	R\$ 2.349,66
mar/21	9138	R\$ 3.538,23
abr/21	6022	R\$ 2.282,04
mai/21	5686	R\$ 2.088,52
jun/21	8178	R\$ 3.419,88
jul/20	6257	R\$ 2.449,90
ago/20	6270	R\$ 2.277,44
set/20	4305	R\$ 1.466,93
out/20	6398	R\$ 2.292,50

nov/20	6274	R\$ 2.242,11
dez/20	1119	R\$ 274,11

4.2 Projeto *on-grid*

Sabendo que a unidade consumidora é trifásica e, portanto, deve-se manter um consumo médio na fatura de 100 kWh, foi possível determinar o consumo efetivo abatido apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Levantamento do Consumo Abatido em kWh

Mês	Consumo Mensal (kWh)	Consumo Mínimo (kWh)	Consumo Efetivamente Abatido (kWh)
jan/21	6043	100	5943
fev/21	6100	100	6000
mar/21	9138	100	9038
abr/21	6022	100	5922
mai/21	5686	100	5586
jun/21	8178	100	8078
jul/20	6257	100	6157
ago/20	6270	100	6170
set/20	4305	100	4205
out/20	6398	100	6298
nov/20	6274	100	6174
dez/20	1119	100	1019
Média	5983	100	5883
Total	71790	-	70590

Após isso, o dimensionamento do projeto seguiu os padrões apresentados na metodologia tendo sido calculado por meio do software Excel, tais resultados estão expressos nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Dimensionamento do Projeto *On-Grid*: Análise geral do projeto

Dimensionamento	
Consumo médio Mensal	5983 kWh/mês
Tipo de Ligação	Trifásica
Custo de disponibilidade	100 kWh
Energia de Compensação Mensal	5882,5 kWh/mês

Energia de Compensação Diária	196,08 kWh/m ² /dia
Latitude (Nº inteiro)	25°
Potencial Solar - Dia	5,21 kWh/m ² /dia
Potencial Solar - Ano	1900,9
Inclinação ideal de projeto	21°
Inclinação Real (Escolha inclinação + Próxima)	25°
Potência Teórica	37,65 kWp
Perdas Totais	19,3%
Geração desejada	100%
Sistema Real para Geração Máxima (100%)	44,90 kWp

Tabela 10 – Dimensionamento do Projeto *On-Grid*: Detalhamento da quantidade de módulos e inversores

Características Técnicas		
Potência nominal dos Módulos	395	W
Número necessários de Módulos	114	un.
Potência do Sistema	45,03	kWp
Potência Nominal do Inversor que se pretende usar	20	kW
Nº de Inversores	2	un.
Fator de Dimensionamento Global (Pcc/Pca)	1,05	OK

Com a quantidade de componentes calculada, foi estimado a geração de energia do projeto, considerando a irradiação local num período anual (Tabela 11).

Tabela 11 – Estimativa de produção de energia anual do projeto

Correção HSP e Geração Estimada													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
HSP	5,57	5,27	5,29	4,93	4,21	3,93	4,14	5,1	4,7	5,08	5,43	5,58	4,94
K	0,93	0,99	1,07	1,16	1,22	1,22	1,18	1,13	1,06	0,99	0,93	0,91	1,07
HSPk	5,18	5,22	5,66	5,72	5,14	4,79	4,89	5,76	4,98	5,03	5,05	5,08	5,21
Consumo	6.043	6.100	9.138	6.022	5.686	8.178	6.257	6.270	4.305	6.398	6.274	1.119	5.983
Consumo Médio	5.983	5.983	5.983	5.983	5.983	5.983	5.983	5.983	5.983	5.983	5.983	5.983	5.983
Energia Estimada	6.894	6.245	6.088	5.690	5.602	5.229	5.328	6.121	5.434	5.485	6.823	6.947	5.991
Objetivo de Geração	5.883	5.883	5.883	5.883	5.883	5.883	5.883	5.883	5.883	5.883	5.883	5.883	5.883

Para aferir o comportamento da geração de energia em relação ao consumo previsto pela unidade consumidora, foram estimadas a previsão otimizada de geração

de energia do projeto em cada mês, estabelecendo o consumo da unidade e a média de geração ideal do projeto (Figura 18) e a geração de energia no projeto (Figura 19).

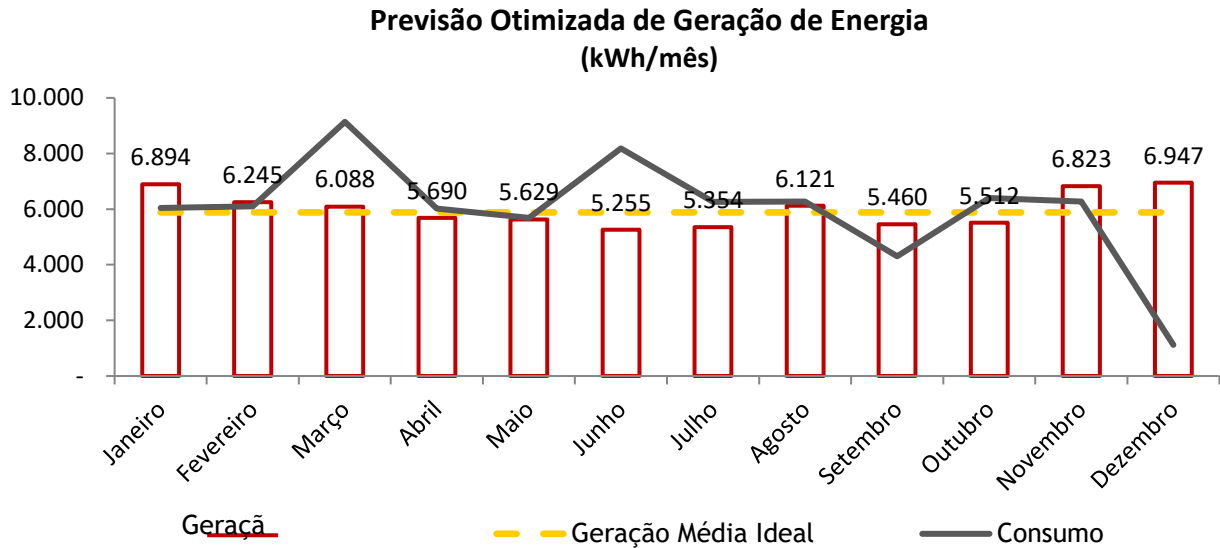


Figura 18 – Comparação da Geração de energia prevista no projeto com o consumo da unidade

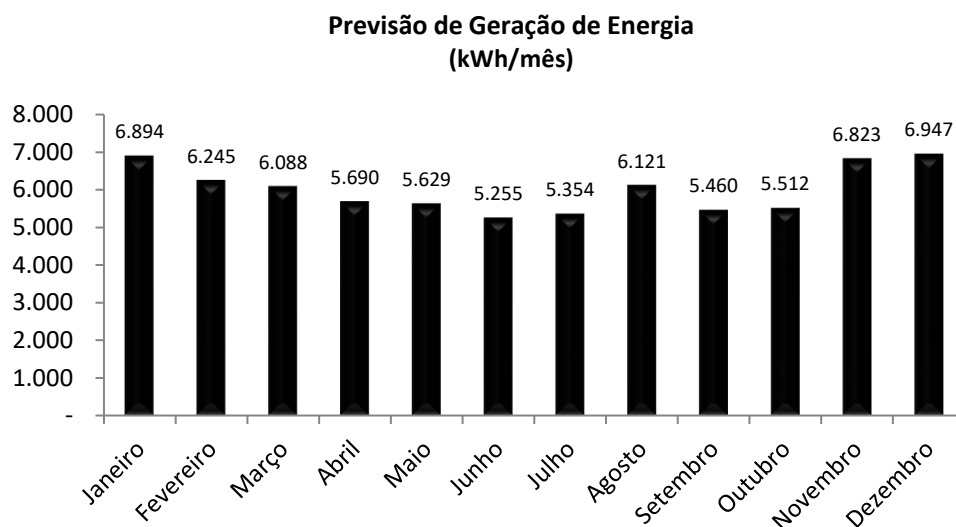


Figura 19 – Previsão de Geração de Energia no Projeto

Para a aquisição do painel o preço unitário do módulo foi de R\$ 940,10 para o inversor o preço foi de R\$ 10.164,99 e para a mão de obra e demais custos logísticos para a instalação do projeto ficaram em R\$ 180.676,03; totalizando R\$ 308.177,41. Com esse custo total foi realizado as análises do VPL, TIR e *Payback* descontado que

considerou a troca do inversor a cada 5 anos, conforme informações do fabricante (Tabela 12).

Tabela 12 – Análise de Viabilidade Econômica do Projeto *On-Grid*

Custo Global do Projeto	
Potência Nominal do Sistema	45,03
Preço Total	R\$ 308177,41
Consumo médio mensal	5.983
Percentual Médio de Geração em 25 anos	92%
Custo de Disponibilidade	100
Tarifa Energética	R\$ 0,49
Tipo de Ligação	Trifásica
Fatura média atual	R\$ 2931,43
Resultados	
<i>Payback</i> Ano	7
<i>Payback</i> Mês	1
VPL	R\$ 306316,40
TIR	19,86%
Lucro Final do Projeto após 25 anos	R\$ 1943020,26

Para finalizar, foi feita uma análise do fluxo de caixa do empreendimento que pode ser observado na Figura 20.

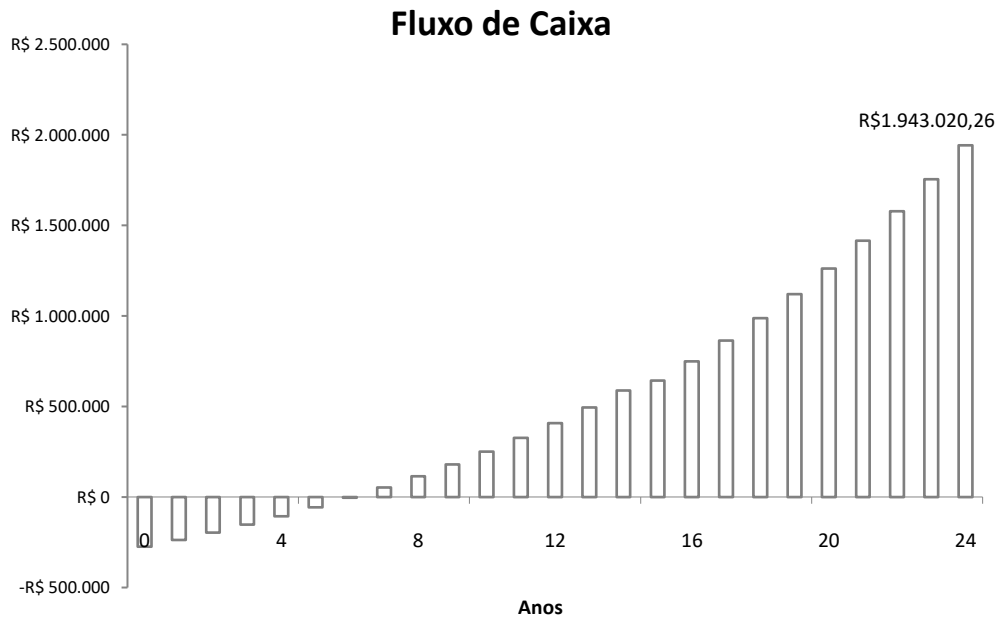


Figura 20 – Fluxo de Caixa do Projeto *On-Grid*

Com isso pode-se constatar que o projeto *on-grid* é viável tendo como VPL o valor de R\$ 306.316,40; TIR de 19,86% e uma *payback* no início do 7 ano de investimento. Vale destacar, que a presente análise considera as condições ideais de funcionamento no período de 1 ano, visto que caso o investidor não realize manutenções como a limpeza dos equipamentos e troca dos inversores informadas pelo fabricante; tais resultados serão diferentes destes informados no presente estudo.

4.3 Projeto *off-grid*

Para realizar o projeto *off-grid* foi considerado o maior consumo de energia registrado na fatura (9.138 kWh) no mês de menor incidência de radiação solar em relação ao mês crítico (4,29 kWh/m²x dia) que estão expressos na Tabela 13.

Tais análises seguiram as fórmulas de dimensionamento apresentadas na metodologia e foram realizadas pelo software Excel.

Tabela 13 – Informações iniciais

Informações Iniciais	
Maior Consumo	9.138.000 W
Cidade	Cascavel
HSP	4,29

Posteriormente, sabendo que o painel escolhido foi de 550 W, foi dimensionado a quantidade de painéis para o projeto *off-grid*. Tais resultados estão expressos nas Tabelas 14, 15 e 16:

Tabela 14 – Modelo do painel e quantidade em série em paralelo

Modelo do Painel:	550W - Sunova SS-550-72-MDH
Quantidade em Paralelo:	1462
Quantidade em Série:	4
Total de Painéis no Arranjo:	5848

Tabela 15 – Informações complementares do dimensionamento do painel

Potência do Arranjo (Wp)	3.216.400
--------------------------	-----------

HSP no pior mês:	4,29
Geração teórica nos painéis	13.798.356
Eficiência média dos painéis	88%
Geração média nos painéis	12.142.553
Tipo de Controlador de Carga	MPPT
Eficiência média do controlador	93%
Geração média do sistema	11.292.575
Perdas (Inversor e Bateria)	2.143.481
Geração útil (total - perdas)	9.149.093

Tabela 16 – Parâmetros de Operação Obtidos num Único Painel e o Arranjo do Projeto

Variáveis	Painel	Arranjo
Pot (Wp)	550	3.216.400
Im (A)	13,5	19707,8
Vm (V)	40,8	163,3
Isc (A)	14,0	20526,5
Voc (V)	49,6	198,4

Foi realizado um balanço energético do sistema para demonstrar que a geração consegue atender a demanda da unidade consumidora que está representada na Tabela 17, além disso foi feito um gráfico que está representado na Figura 21.

Tabela 17 – Balanço Energético dos Painéis

Balanço Energético	Wh/dia
Consumo diário Cargas	9.138.000
Geração útil (total - perdas)	9.149.093
Saldo (%)	0%

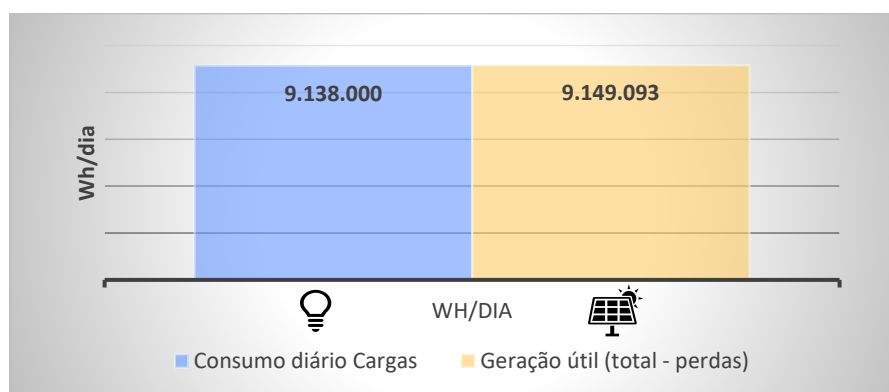


Figura 21 – Gráfico do Balanço Energético dos Painéis

As baterias foram dimensionadas com 4 conexões em série para que ficasse na máxima tensão possível de trabalho, além disso considerou-se 75% de profundidade de descarga seguindo as diretrizes estabelecidas pelo fabricante e 3 dias de autonomia para o sistema, considerando que se pode admitir 3 dias sem a radiação ideal que o sistema funcionaria normalmente.

Com isso obteve-se como resultados expressos nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 – Modelo das baterias e quantidade associadas em série e paralelo

Modelo das Baterias:	Bateria Estacionária Freedom DF4001 (240Ah / 220Ah)
Quantidade em Paralelo:	4250
Quantidade em Série:	4
Total de Baterias:	17000

Tabela 19 – Parâmetros Obtidos numa Única Bateria e no Banco de Baterias do Projeto

Variáveis	Bateria	Banco
Capacidade C20 (Ah)	220	935.000
Tensão Nominal	12	48
Capacidade C20 (Wh) Total	2.640	44.880.000
Profund máx de descarga (%):	75%	
Capacidade na prof. Máxima	1.980	33.860.000

Assim como para o dimensionamento dos painéis, a Tabela 20 apresenta os dados referente ao balanço energético do banco de baterias afim de demonstrar a reserva de energia para atender a demanda da unidade com autonomia de até 3 dias. Os dados podem ser melhor visualizados na Figura 22.

Tabela 20 – Balanço Energético do Banco de Baterias com 3 dias de Autonomia

Balanço Energético	Wh	Dias
Consumo corrigido (Wh/dia)	11.281.481	1,0
Autonomia Requerida	33.844.444	3,0
Disponibilidade do Banco de Baterias	33.860.000	3,0
Diferença (Requerido X Disponível)	0%	0%

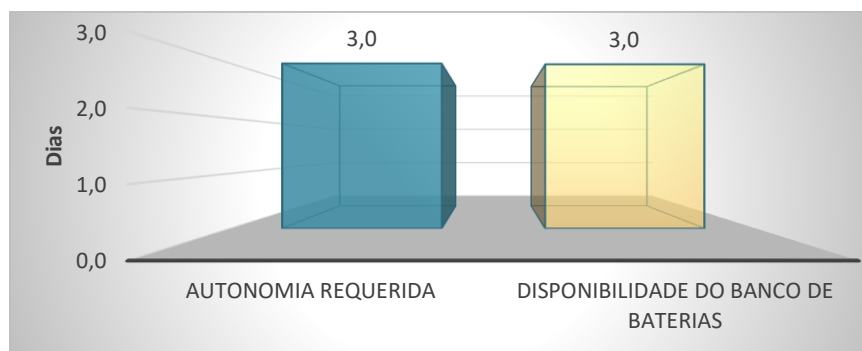


Figura 22 – Balanço Energético do Banco de Bateria

Para o dimensionamento do inversor e do controlador de carga foi escolhido um tipo de inversor próprio para projetos off-grid que funciona como controlador de carga do tipo MPPT, garantindo assim uma eficiência maior para o projeto, tal informação junto com a quantidade de equipamentos está expressa na Tabela 21.

Tabela 21 – Modelo do Controlador/Inversor e a quantidade calculada

Modelo do Controlador:	Inversor/Carregador Epever Upower 5000W / 80A MPPT / 48Vcc / 220Vca
Quantidade:	2.286

De posse das informações referente da quantidade indicada na Tabela 21, foi preciso validar para que tal equipamento funcionando como controlador fosse compatível com o sistema mencionado expresso na Tabela 22.

Tabela 22 – Validação dos Parâmetros obtidos com o Arranjo dos Controladores de Carga

Variáveis	Limite do Controlador		Dados do Arranjo	Validação
	Unitário	Total		
Tipo Controlador	MPPT		MPPT	OK
Tensão Nominal	48V		48	OK
Tensão Mín Entrada	60,0	60,0	60	OK
Tensão Máx Entrada	200,0	200,0	200	OK
Potência Máx Saída	4.160	9.509.760	3.216.400	OK

Por se tratar do mesmo equipamento, mas desempenhando também a função

como inversor foi feito a totalização da carga dos inversores, bem como a validação junto ao projeto, expresso nas Tabela 23 e 24

Tabela 23 – Total de carga dos inversores do Projeto

DADOS DO INVERSOR SELECIONADO		
Variáveis	Inversor	Total
Potência Nominal (W)	4.000	9.144.000
Potência de Surto (W)	8.000	18.288.000
Tensão de Entrada (Vcc)	48	48
Tensão de Saída (Vca)	220	220
Tipo Onda	Senoidal	Senoidal

Tabela 24 – Validação do Inversor com o Arranjo do projeto

Variáveis	INVERSOR (Total)	CARGAS/ARRANJO	VALIDAÇÃO
Potência Nominal (W)	9.144.000	9.138.000	OK
Potência de Surto (W)	18.288.000	0	OK
Tensão de Entrada (Vcc)	48	48	OK

Para fazer a análise de viabilidade do projeto off-grid, primeiramente foi quantizado o custo de cada componente individual e os custos para a implementação do projeto como cabeamento e mão de obra (Tabela 25).

Tabela 25 – Custo dos Equipamentos mais custo para implementação

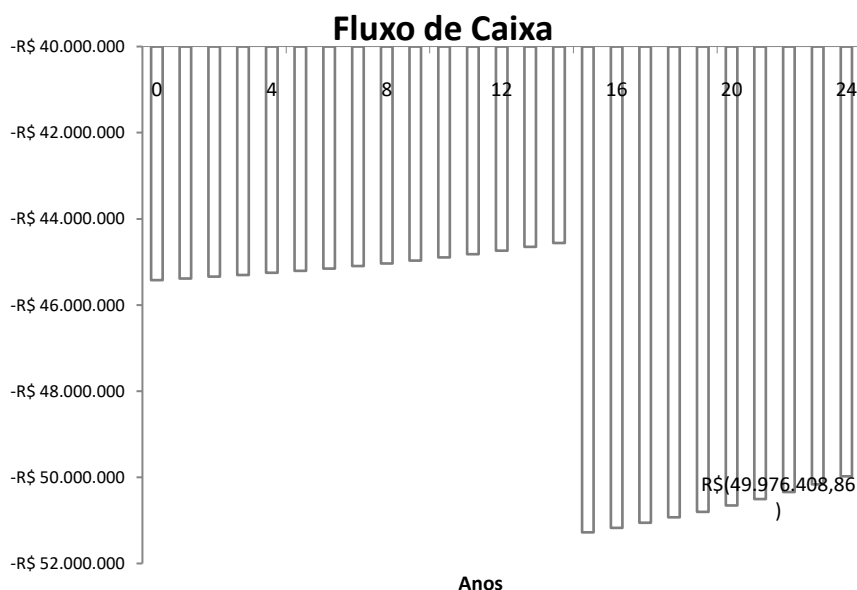
Equipamento	Preço	Quantidade	Total
Inversor/Controlador	R\$ 6.479,10	2286	R\$ 14.811.222,60
Bateria	R\$ 1.180,00	17000	R\$ 20.060.000,00
Painel Fotovoltaico	R\$ 1.807,26	5848	R\$ 10.568.856,48
Custos de implementação	-	-	R\$ 15.000,00
Total	-	-	R\$ 45.455.079,08

Com as informações fornecidas pela Tabela 25, os custos foram realizados de acordo com a análise de viabilidade do projeto visando obter o valor do VPL, TIR e *Payback* descontado que considerou a troca do inversor/controlador e das baterias a cada 5 anos conforme consta nas informações indicadas pelos fabricantes como pode ser observado na Tabela 26.

Tabela 26 – Análise de Viabilidade Econômica do Projeto Off-Grid

Custo Global do Projeto	
Potência Nominal do Sistema	3235,65
PREÇO TOTAL	R\$ 45455507,08
Consumo médio mensal	5.983
Percentual Médio de Geração em 25 anos	92%
Custo de Disponibilidade	100
Tarifa Energética	R\$ 0,49
Tipo de Ligação	Trifásica
Fatura média atual	R\$ 2931,43
Resultados	
<i>Payback</i> Ano	Sem retorno
<i>Payback</i> Mês	Sem retorno
VPL	R\$ - 42210516,73
TIR	-15%
Lucro Final do Projeto após 25 anos	R\$ - 49976408,86

Ao fim foi demonstrado o fluxo de caixa para o projeto, conforme pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 – Fluxo de Caixa do Projeto *Off-Grid*

Com isso pode-se constatar que o projeto *off-grid* foi inviável tendo como VPL o valor de -R\$ 42.210.516,73; TIR de -15% e sem retorno no *payback*.

5. CONCLUSÃO

Com base nos fatos expostos anteriormente, foi possível constatar que o trabalho realizado na região da cidade de Cascavel demonstrou que apenas o sistema *on-grid* é viável, visto que tal projeto apresentou um VPL positivo, uma TIR de 19,86% e um *payback* no início do 7 ano após o investimento.

O sistema *off-grid* configurou-se como um sistema inviável, muito em função do banco de baterias que elevaram o custo total do sistema, bem como a sua reposição a cada 5 anos gerando como resultados um VPL negativo, uma TIR de -15% o que explica o fato de não ter apresentado um *payback*.

5.1 Dificuldades Encontradas

A principal dificuldade encontrada para realização deste trabalho ocorreu em função da pandemia causada pela COVID-19, fazendo com que inúmeras atividades ocorressem de forma remota.

5.2 Trabalhos Futuros

Visando ampliar os conhecimentos científicos na área fotovoltaica, sugere-se realizar um estudo comparativo com sistemas híbridos com bateria e com isso explorar as vantagens e desvantagens desse sistema na implementação em projetos agrícolas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Exportação de ovos crescem 138%**. 2022. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/noticias/exportacoes-de-ovos-crescem-em-2021/>. Acesso em: 20 de novembro de 2021.

ALMEIDA et al. Energia Solar Fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharias Online**, ISSN: 2447-1488, v. 1, n. 2, 21-33, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://www.fumec.br/revistas/eol/article/view/3574/1911>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

ALVES, D. L. **Geração Solar: Conceitos básicos**. Rio Grande do Norte: IFRN, 2016. Disponível em: https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solarfv/apostila_geracao_solar_fv_0.9.1. Acesso em: 25 de fevereiro de 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **REN 482 – Resolução Normativa 6482**. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **REN 687 – Resolução Normativa 687**. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2021.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica no Brasil**. 2 ed. Brasília : ANEEL, 2005. 243p. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Exportações de carne de frango mantêm alta de 2,3% em 2019. Disponível em: <https://www.portaldoagronegocio.com.br/noticia/exportacoes-de-carne-de-frango-mantem-alta-de-23-em-2019-187792> . Acesso em 12 de março de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO AGRONEGÓCIO. Agronegócio contribui com 23,5% do PIB em 2017, estima CNA. Disponível em: http://www.abag.com.br/sala_imprensa/interna/abag-agronegocio-contribui-com-23-do-pib-1. Acesso em: 12 de março de 2021.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. **Banco de Dados Solarimétricos**. 2000. 111 p.: il., tab., mapas. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf. Acesso em: 25 de fevereiro de 2021.

BETINI, Roberto Cesar; CASTAGNA, Annemarle Gehrke; TIEPOLO, Gerson M. Emprego Verde e o Desenvolvimento Sustentável. In: VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Curitiba. 2012.

BHATIA, S. Chapter 2 - Solar radiations. In: BHATIA, S. Advanced renewable energy

BLUESOL, ENERGIA SOLAR. **Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares**. 2016. Disponível em: <http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2021.

BOHN, Carlos Adriano et al. **Influências na geração de energia elétrica em módulos fotovoltaicos revestidos por policarbonato alveolar e compacto**. 2019.

BRAZILIAN CHICKEN. Disponível em: <http://www.brazilianchicken.com.br/pt/poultry-industry/background> . Acesso em: 10 de março de 2021.

BRITO, P. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede: estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica. Campus Juazeiro-BA, 2016. 77f. Disponível: http://www.eletrica.univasf.edu.br/index_arquivos/TCC/TCC2016_02_Patricia.pdf. Acesso em: 25 de fevereiro de 2021.

CANADIAN. **Inversor de String Monofásico CSI-1.5K-TL**. 2018. Disponível em: https://uploads-ssl.webflow.com/594967da38f2e9625895f75f/5c0bb5368da8f09d28f885ed_Inversor%20de%20String%20monof%C3%A1sico%201%2C5%20a%203%20kW.pdf. Acesso em: 22 de fevereiro de 2021.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Sobre a Energia Solar**. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321. Acesso em: 7 de maio de 2021.

CEPEL – CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, março de 2014.

CRESESB. **Base de Dados de radiação solar incidente (irradiação solar)**. 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

DEBASTIANI, G. **Avaliação da Eficiência Energética de um Sistema Híbrido Eólico – Fotovoltaico para Cascavel – PR**. 2013. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, Cascavel - PR. Dezembro de 2013. Disponível em: [http://portalpos.unioeste.br/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Gilson_Debastiani\(1\).pdf](http://portalpos.unioeste.br/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Gilson_Debastiani(1).pdf). Acesso em: 24 de fevereiro de 2021.

ECOSOLYS. **Inversor Grid-Tie 10,1 kW ES.GT-10k Trifásico 380V + Monitoramento Online**. 2018. Disponível em: <https://loja.ecosolys.com.br/loja/linha-elite-s/inversor-grid-tie-5-kw-es-gt-05k-monofasico-220v-monitoramento-online/>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica->

e-eletrica. Acesso em: 2 de abril de 2021.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica**. GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo, p. 71, 2020. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf. Acessado em: 25 de fevereiro de 2021.

FERNANDES, Ketheryn Rocha. Estudo de viabilidade da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma empresa de mármore e granito. 2018.

FREEDOM. **Bateria Estacionária 240 Ah**. S/D. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=0&file=custom%2Fupload%2FFile-1366223528.pdf>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2021.
GOMES, P. V. et al. Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues. **Energy Policy**, Amsterdam, v. 115, n. October 2017, p. 199–206, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.014>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2021.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; DOS REIS, Lineu Belico. **Energia e Meio Ambiente**, Tradução da ed 4 americana. Cengage Learning Edições Ltda, São Paulo, SP, 2011.

INSTITUTO SCHULMAN DE INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA. Proteção Solar. Disponível em: <http://isic.net.br/artigo-32>. Acesso em 2 de abril de 2019.

ITSOLAR. **O que é OPV? Painéis Solares Fotovoltaicos Orgânicos**. 2019. Disponível em: <https://itsolar.com.br/energia-solar/o-que-e-opv-paineis-solares-fotovoltaicos-organicos/>. Acessado em: 23 de fevereiro de 2021.

KYOCERA. **Painel Solar Fotovoltático Kyocera KD 140SX UPU**. S/D. Disponível em: <http://siteimages.radarindustrial.com.br/SiteImages/Client/55882/Product/196716/Document/Manual%20KD140SX-UFBS-541.pdf>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2021.

LIMA JUNIOR, Elias. A energia fotovoltaica no agronegócio: gestão de custos e riscos, diversificação de receita e externalidades. 2019. Tese de Doutorado.

MAKAROV, Y. V.; ETINGOV, P. V.; MA, J. Chapter 11 - Incorporating Forecast Uncertainty in Utility Control Center. IN: JONES, L. E. **Renewable Energy Integration**. ed.2, Academic Press, Amsterdam, 2017. Cap.11, p. 145-157. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809592-8.00011-1>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2021.

MENDES, Isaque de Souza et al. Potencial de geração de energia fotovoltaica e implantação de microrredes na área rural do município de Cascavel utilizando geotecnologias. 2019.

MENEZES, Helena Rocha et al. Energia solar: Avaliação do nível de informação

sobre o uso da energia solar e sua utilização no brasil. Revista Cientifico, v. 18, n. 38, p. 47-60, 2018.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Nota Técnica EPE. Rio de Janeiro – RJ. 2012. Disponível em:

http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/Solar/Solar_COGEN/NT_EnergiaSolar_2012.pdf. Acesso em: 23 de fevereiro de 2021.

MUNDO-HERNÁNDEZ, J. et al. An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 31, p. 639–649, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.029>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2021.

NASCIMENTO, C. A. de. **Princípio de funcionamento de célula fotovoltaica**. Monografia (Pós-Graduação Lato-Sensu em Fontes Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2004.

NASCIMENTO, Mario Elias Carvalho do et al. Avaliação econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para empreendimentos do agronegócio. 2019. NEOSOLAR. Bateria Estacionária Freedom DF4001 220 Ah. <https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df4001-240ah-220ah.html>

NEOSOLAR. Inversor 20 kW Canadian Solar. https://www.eleetrotrafo.com.br/inversor-gerador-solar-20kw-trifasico-380v-csi-20k-t400gl01-e-com-wifi---canadian/p?idsku=8099&https://www.eleetrotrafo.com.br/?utm_source=google&utm_medium=Shopping_inteligente&gclid=Cj0KCQiA4b2MBhD2ARIsAIrcB-S-0nxspfvKaXXHXTZrOjUd-at62qVWR_UhSx_DJhnFb57STX3s_laAuzOEALw_wcB

NEOSOLAR. Inversor Off-Grid Híbrido Upower Hi 5000 80 A MPPT. <https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-solar-off-grid-hibrido-epever-upower-hi-up5000-hm8042-80a-mppt-48-220v.html> .2021

NEOSOLAR. Painel solar 550 W SS550 72. <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-550w-sunova-ss-550-72-m.html>.2021

NEOSOLAR. Painel solar canadian 395 W CS3W. <https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-395w-canadian-solar-cs3w-395p-79326> .2021

NEOSOLAR. **Sistemas de Energia Solar e seus Componentes**. 2019. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2021.

PEREIRA, et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos:INPE, 2017. 88p.: il. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf. Acesso em: 23 de fevereiro de 2021.

PEREIRA, et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE, 2006. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 22 de fevereiro de 2021.

POMPELLI, Marcelo Francisco et al. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. *Agronomía Colombiana*, v. 29, n. 2, p. 231-240, 2011.

PRIMIERY, Bianca Fiori et al. Monitoramento da geração elétrica e viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico instalado em dois aviários em Tupãssi-PR. 2019.

SANTOS, Í. P. Desenvolvimento de Ferramenta de Apoio à Decisão em Projetos de integração Solar Fotovoltaica à Arquitetura. (Tese de Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2013.

SILVA, A. V. R. Nossa estrela: o Sol. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 166p. 2020.

SIMÕES, Danilo et al. Economical and financial analysis of aviaries for the integration of broilers under conditions of risk. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, p. 240-247, 2015.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná**. 2015. 227 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS)) - Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba - PR. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275828862_ESTUDO_DO_POTENCIAL_D E_GERACAO_DE_ENERGIA_ELETRICA_ATRAVES_DE_SISTEMAS_FOTOVOLT AICOS_CONECTADOS_A_REDE_NO_ESTADO_DO_PARANA. Acesso em: 23 de fevereiro de 2021.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acessado em: 25 de fevereiro de 2021.

TONIN, F. S. **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na Cidade de Curitiba**. 2017. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba – PR. 2017. Disponível em:

http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2876/1/CT_PPGSE_M_Tonin%2C%20Fabianna%20Stumpf_2017.pdf. Acesso em: 22 de fevereiro de 2021.

VEIGA, Breno Zacaroni; REIS, Dimas Almeida dos. ENGENHARIA DE PRODUÇÃO APLICADA AO AGRONEGÓCIO: estudo de Caso no Setor de Produção de Ovos no Aviário Santo Antônio Nepomuceno-MG. -, 2019.

VICTRON ENERGY. **BlueSolar PWM-Light Charge Controllers 12/24V**. Disponível em: <http://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto32448IdArquivo5312.pdf>. Acessado em: 26 de fevereiro de 2021.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2012. p. 228.