

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ITALO HENRIQUE VEIGA SILVA**

**JORGE TERADA**

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO DE VIABILIDADE  
ECONOMICA E TÉCNICA EM UMA GRANJA DE AVICULTURA**

**PONTA GROSSA**

**2025**

**ITALO HENRIQUE VEIGA SILVA**

**JORGE TERADA**

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO DE VIABILIDADE  
ECONÔMICA E TÉCNICA EM UMA GRANJA DE AVICULTURA**

**Photovoltaic solar energy: case study of economic and technical feasibility in a  
poultry farming**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Marcio Mendes Casaro.

**PONTA GROSSA**

**2025**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ITALO HENRIQUE VEIGA SILVA**

**JORGE TERADA**

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: ESTUDO DE CASO DE VIABILIDADE  
ECONÔMICA E TÉCNICA EM UMA GRANJA DE AVICULTURA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 17/fevereiro/2025

---

Marcio Mendes Casaro  
Titulação (Doutorado)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Helio Voltolini  
Titulação (Doutorado)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Edison Luiz Salgado Silva  
Titulação (Mestrado)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PONTA GROSSA**

**2025**

## Dedicatória

Dedico este trabalho a Deus primeiramente, a minha família, em especial a minha mãe que se sacrificou para eu conseguir seguir meus sonhos, as minhas tias que me permitiram continuar na graduação com todo o apoio e ajuda financeira e a minha esposa Alícia que nunca me deixou desistir diante de tantas dificuldades passadas.

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por permitir chegar ao fim deste ciclo. Minha família que sempre me apoiou e incentivou ao longo dessa jornada, aos meus amigos e colegas de faculdade que me auxiliaram durante o curso e ao professor Casaro pela disponibilidade e auxílio neste trabalho.

O mundo não é um grande arco-íris, é um lugar sujo, é um lugar cruel, que não quer saber o quanto você é durão, vai botar você de joelhos e você vai ficar de joelhos para sempre se você deixar. Você, eu, ninguém vai bater tão duro como a vida, mas não se trata de bater duro, se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando, é assim que se consegue vencer. Agora se você sabe o seu valor, então vá atrás do que você merece, mas tem que ter disposição para apanhar.

(Balboa; Rocky, 2012).

## RESUMO

Em granjas de avicultura, o consumo energético é elevado devido ao uso de equipamentos de climatização, iluminação e ventilação. A adoção de energia solar tornou-se uma alternativa para reduzir custos com energia elétrica e minimizar impactos ambientais. Neste TCC, será estudado o impacto de um projeto fotovoltaico para uma fazenda avícola, com o objetivo de estabelecer a necessidade sua de instalação. Calculou-se o retorno financeiro, incluindo a nova taxaço sobre a energia injetada na rede, disposta mais especificamente no artigo 27 da Lei 14.300, de janeiro de 2022, que institui o marco legal da microgeraço e minigeraço distribuída. Realizou-se todo o dimensionamento do sistema fotovoltaico, bem como o uso do programa SketchUp para modelar e simular a granja em 3D, com a disposiço dos painéis solares no telhado. Através do software PVsyst, possibilitou-se obter o desempenho e a eficiência do sistema próximo de 80%. Conclui-se que o projeto possui viabilidade e retorno financeiro atrativo para o produtor rural.

Palavras-chave: Energia solar; sistema fotovoltaico; granjas avícolas; viabilidade econômica; taxaço.

## **ABSTRACT**

In poultry farms, energy consumption is high due to the use of climate control, lighting, and ventilation equipment. The adoption of solar energy has become an alternative to reduce electricity costs and minimize environmental impacts. In this TCC, the impact of a photovoltaic project for a poultry farm will be studied, aiming to establish the need for installation. The financial return was calculated, including the new taxation on energy injected into the grid, as specified in Article 27 of Law 14,300 of January 2022, which establishes the legal framework for distributed microgeneration and minigeneration. The complete sizing of the photovoltaic system was carried out, as well as the use of SketchUP software to model and simulate the farm in 3D, including the arrangement of solar panels on the roof. Through the PVsyst software, it was possible to achieve a system performance and efficiency close to 80%. It is concluded that the project is viable and offers an attractive financial return for the rural producer.

**Keywords:** Solar energy; photovoltaic system; poultry farms; economic viability; taxation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Produção carne de frango no Brasil.....                           | 14 |
| Figura 2 - Matriz elétrica brasileira. ....                                  | 18 |
| Figura 3 - Sistema de ventilação.....  | 23 |
| Figura 4 - Iluminação de uma granja. ....                                    | 24 |
| Figura 5 - Alimentadores na granja. ....                                     | 24 |
| Figura 6 - Selo de produto com energia solar. ....                           | 26 |
| Figura 7 - Camada de valência dos elementos silício e germânio.....          | 27 |
| Figura 8 - Impureza do antimônio adicionado na base do silício. ....         | 28 |
| Figura 9 - Impureza do boro adicionado na base do silício.....               | 28 |
| Figura 10 - Fluxo de lacunas e elétrons. ....                                | 28 |
| Figura 11 - Região de depleção da junção p-n. ....                           | 29 |
| Figura 12 - Painel monocristalino .....                                      | 31 |
| Figura 13 - Painel policristalino .....                                      | 32 |
| Figura 14 – Painel de filme fino.....  | 33 |
| Figura 15 – Sistema <i>off-grid</i> . ....                                   | 36 |
| Figura 16 – Sistema <i>on-grid</i> . ....                                    | 37 |
| Figura 17 – Ligação em série. ....   | 38 |
| Figura 18 – Ligação em paralelo. ....  | 39 |
| Figura 19 – Placa solar com sujeiras.....                                    | 40 |
| Figura 20 – Sombras de árvores em placas solares. ....                       | 41 |
| Figura 21 – Sombras da própria instalação fotovoltaica. ....                 | 41 |
| Figura 22 – Ponto de calor detectados pela câmera térmica. ....              | 42 |
| Figura 23 – Porcentagem de variação da temperatura. ....                     | 44 |
| Figura 24 – Especificações elétricas do módulo.....                          | 45 |
| Figura 25 – Datasheet do inversor.....                                       | 45 |
| Figura 26 – Catálogo cabo CC.....  | 48 |
| Figura 27 – Capacidade de condução de corrente.....                          | 49 |
| Figura 28 – Catálogo cabo CC.....  | 49 |
| Figura 29 – Capacidade de condução de corrente.....                          | 49 |
| Figura 30 – Catálogo cabo CC.....  | 51 |
| Figura 31 – Tabela capacidade de condução de corrente. ....                  | 51 |
| Figura 32 – Seção reduzida do neutro.....                                    | 51 |
| Figura 33 – Seção do condutor de proteção.....                               | 52 |
| Figura 34 – Kit de aterramento.....  | 52 |
| Figura 35 – Disjuntor EazyPact 125A .....                                    | 53 |
| Figura 36 – Dispositivo de proteção contra surto .....                       | 53 |
| Figura 37 – Quadro de comando.....   | 53 |
| Figura 38 – Estrutura telha metálica trapezoidal .....                       | 54 |
| Figura 39 – Layout dos painéis .....   | 54 |
| Figura 40 – Layout dos painéis .....   | 55 |
| Figura 41 – Local de estudo no PVsyst.....                                   | 56 |
| Figura 42 – Dados meteorológicos do local disponibilizados pelo PVsyst. .... | 56 |
| Figura 43 – Preenchimento das características do projeto no PVsyst .....     | 57 |
| Figura 44 – Arranjo dos painéis no modelo 3D do PVsyst .....                 | 57 |
| Figura 45 – Estudo da orientação das placas.....                             | 57 |
| Figura 46 – Simulação e cálculo das sombras .....                            | 58 |
| Figura 47 – Configuração de ligação entre os módulos .....                   | 58 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 48 – Detalhe da simulação realizada pelo PVsyst .....</b>                                  | <b>59</b> |
| <b>Figura 49 - Valores de sistema solar por Wp .....</b>   | <b>61</b> |
| <b>Gráfico 1 – Simulação das faturas do primeiro ano com sistema solar x sem sistema solar .....</b> | <b>63</b> |
| <b>Gráfico 2 – Payback do sistema.....</b>   | <b>63</b> |

## LISTA DE TABELAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabela 1 – Consumo mensal granjas .....</b>    | <b>43</b> |
| <b>Tabela 2 – Distribuição das strings .....</b>  | <b>47</b> |
| <b>Tabela 3 – Resultados obtidos PVSyst .....</b> | <b>59</b> |
| <b>Tabela 4 – Economia por ano.....</b>           | <b>64</b> |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| CONAB   | Companhia Nacional de Abastecimento                 |
| ABPA    | Associação Brasileira de Proteína Animal            |
| Absolar | Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica |
| SIN     | Sistema Interligado Nacional                        |
| REN     | Resolução Normativa                                 |
| ANEEL   | Agência Nacional de Energia Elétrica                |
| TUSD    | Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição            |
| NREL    | National Laboratory of Renewable Energy             |
| API     | Applied Physics Reviews                             |
| DPS     | Dispositivos de Proteção contra Surtos              |
| STC     | Standard Test Conditions                            |
| NMOT    | Nominal Module Operation Temperature                |
| AM      | Air Mass  |
| MPPT    | Maximum Power Point Tracking                        |
| NBR     | Norma Brasileira                                    |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|      |                           |
|------|---------------------------|
| Si   | Silício                   |
| Sb   | Antimônio                 |
| B    | Boro                      |
| T    | Temperatura               |
| V    | Tensão da célula solar    |
| CdTe | Telureto de cádmio        |
| a-Si | Silício amorfo            |
| CIGS | Cobre-índio-gálio-selênio |
| CC   | Corrente contínua         |
| CA   | Corrente alternada        |
| Wp   | Watt-pico                 |
| kWp  | Quilowatt-pico            |
| QV   | Queda de tensão           |
| mm   | Milímetros                |
| m    | Metros                    |
| km   | Quilômetros               |
| A    | Ampere                    |
| 3D   | Tridimensional            |
| kWh  | Quilowatt-hora            |
| W    | Watt                      |
| kW   | Quilowatt                 |
| mW   | Megawatt                  |
| kg   | Quilograma                |

## SUMÁRIO

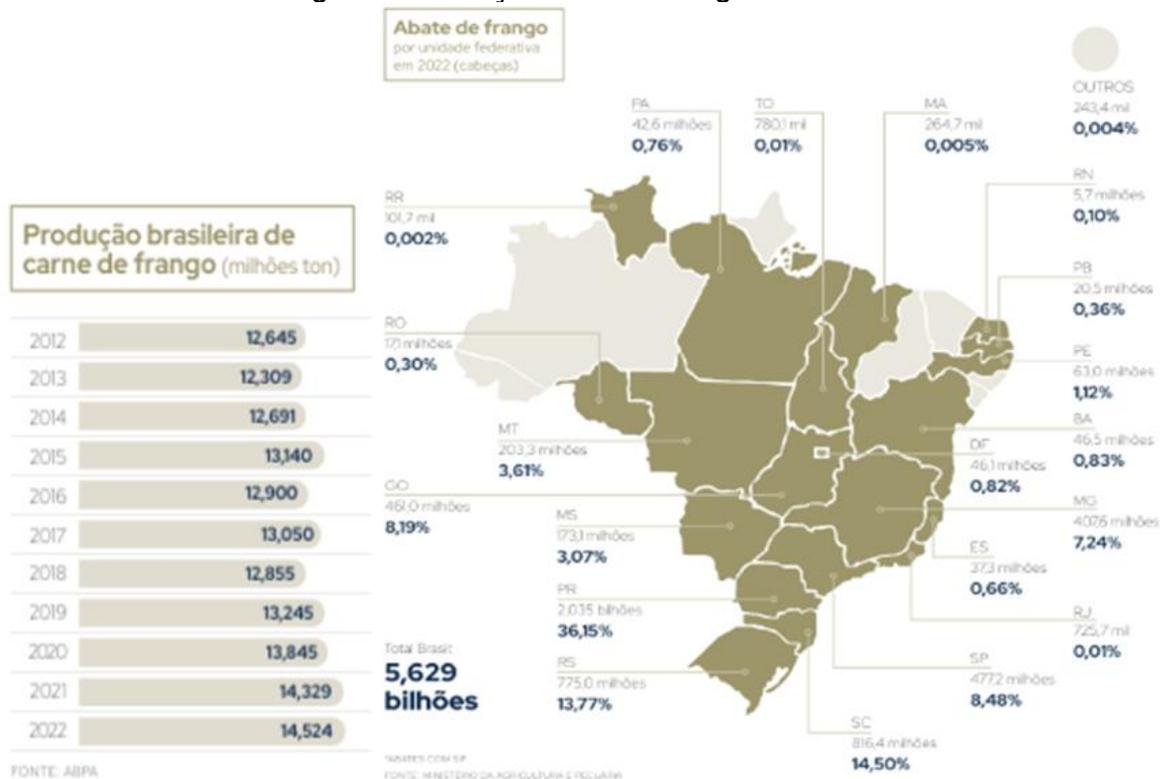
|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVO</b> .....  | <b>16</b> |
| 2.1      | Objetivo específico .....  | 16        |
| <b>3</b> | <b>ENERGIA NO MUNDO</b> .....                                      | <b>17</b> |
| 3.1      | Fontes não renováveis .....  | 17        |
| 3.2      | Energia no Brasil .....  | 17        |
| <b>4</b> | <b>LEGISLAÇÃO</b> .....  | <b>19</b> |
| 4.1      | Resolução Normativa 1059 .....                                     | 19        |
| 4.2      | Lei nº 14.300 .....  | 20        |
| <b>5</b> | <b>IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE FRANGOS</b> .....          | <b>22</b> |
| 5.1      | Avicultura global e nacional .....                                 | 22        |
| 5.2      | Avicultura: geração de empregos .....                              | 22        |
| 5.3      | Relação entre a produção avícola e a energia .....                 | 22        |
| 5.4      | Principais sistemas que consomem energia em granjas avícolas ..... | 23        |
| 5.4.1    | Climatização e ventilação .....                                    | 23        |
| 5.4.2    | Iluminação .....   | 23        |
| 5.4.3    | Sistemas de alimentação e água .....                               | 24        |
| 5.5      | Consequências da instabilidade elétrica em áreas rurais .....      | 24        |
| <b>6</b> | <b>IMPACTOS DA ENERGIA SOLAR</b> .....                             | <b>26</b> |
| 6.1      | Impacto ambiental .....  | 26        |
| 6.2      | Impacto econômico .....  | 26        |
| <b>7</b> | <b>EFEITO FOTOVOLTAICO</b> .....                                   | <b>27</b> |
| 7.1      | Estrutura do material semiconductor .....                          | 27        |
| 7.2      | Formação da junção p-n e campo elétrico interno .....              | 27        |
| 7.3      | Interação da luz com o semiconductor .....                         | 29        |
| 7.4      | Separação e movimento das cargas .....                             | 29        |
| 7.5      | Circuito externo e corrente elétrica .....                         | 29        |
| 7.6      | Equações importantes e rendimento .....                            | 30        |
| <b>8</b> | <b>TIPOS DE PAINÉIS SOLARES</b> .....                              | <b>31</b> |
| 8.1      | Painéis monocristalinos .....                                      | 31        |
| 8.2      | Painéis policristalinos .....                                      | 32        |
| 8.3      | Painéis de filme fino (Thin-film) .....                            | 32        |
| 8.4      | Outras tecnologias emergentes .....                                | 33        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>9</b>  | <b>SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>         | <b>35</b> |
| <b>10</b> | <b>LIGAÇÃO EM SÉRIE OU PARALELO .....</b> | <b>38</b> |
| 10.1      | Ligação em série .....                    | 38        |
| 10.1.1    | Características.....                      | 38        |
| 10.2      | Ligação em paralelo .....                 | 39        |
| 10.2.1    | Características.....                      | 39        |
| <b>11</b> | <b>PERDAS .....</b>                       | <b>40</b> |
| 11.1      | Sombras e sujeira.....                    | 40        |
| 11.2      | Temperatura .....                         | 41        |
| 11.3      | Hot Spot .....                            | 42        |
| 11.4      | Degradação.....                           | 42        |
| <b>12</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>                  | <b>43</b> |
| 12.1      | Projeto fotovoltaico .....                | 43        |
| 12.2      | String .....                              | 46        |
| 12.3      | Layout.....                               | 54        |
| 12.4      | Simulação do sistema .....                | 55        |
| <b>13</b> | <b>CUSTOS DO SISTEMA E PAYBACK .....</b>  | <b>61</b> |
| 13.1      | Payback.....                              | 62        |
| 13.2      | Financiamentos .....                      | 65        |
| <b>14</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                    | <b>66</b> |
|           | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                  | <b>68</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil é o segundo maior produtor de frango, produzindo mais de 15 milhões de toneladas da proteína e sendo o maior exportador desta proteína no mundo. No Brasil, o maior produtor é o estado do Paraná, como podemos notar na figura 1, refletindo a importância da avicultura para a economia nacional.

**Figura 1 - Produção carne de frango no Brasil.**



Fonte: ABPA (2022).

Com o crescimento da população e juntamente com o fato de ser uma das proteínas mais recomendadas por nutricionistas, atrelada ao seu menor custo, faz com que a demanda da carne de frango aumente, de acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA). O consumo nos últimos 30 anos teve um aumento de mais de 350%, passando de um consumo médio por habitante de 10 kg anual para 45,2 kg. Com essa demanda cada vez maior, procura-se melhorar a produção e os custos para uma maior eficiência. Neste contexto, um dos maiores custos na produção de avicultura é o gasto com o consumo de energia elétrica, visto

que as granjas precisam de um controle preciso de iluminação, ventilação, umidade relativa e temperatura, já que são fatores que afetam drasticamente o crescimento das aves. Esses parâmetros devem ser mantidos dentro de uma margem para máxima eficiência na produção. Um desequilíbrio em um dos fatores da ambientação da granja pode acarretar grandes perdas de aves.

Com o objetivo de otimizar custos, buscam-se alternativas para reduzir os valores da fatura de energia. Para esse problema, uma das soluções mais sustentáveis e com melhor custo-benefício é a instalação de sistemas fotovoltaicos. Além de ser uma energia renovável e sustentável, reduzindo o uso de energia da concessionária, a energia fotovoltaica é amplamente incentivada, seja pelo governo ou através de parcerias com indústrias alimentícias, através de linhas de crédito especiais, subsídios e incentivos locais. Um exemplo desses benefícios é o Programa Paraná Energia Rural Renovável (RenovaPR), que oferece financiamentos de projetos de até R\$ 500.000,00 sem taxas de juros para a instalação de projetos de energia renovável; ou seja, além de reduzir os custos operacionais do sistema fotovoltaicos possui uma maior facilidade no pagamento. De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), o agronegócio representa aproximadamente 13,1% da geração energia solar do país.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo é conduzir uma avaliação de viabilidade sobre a implementação de sistemas de energia solar fotovoltaica em propriedades rurais avícolas, com o intuito de disponibilizar dados para embasar os produtores na decisão de implementar sistemas de energia solar fotovoltaica. A análise tem como foco o retorno financeiro, levando em conta os custos de instalação, manutenção, as novas leis para calcular a viabilidade e o *payback* do sistema, levando em conta a vida útil dos componentes. A propriedade rural está situada na cidade de Wenceslau Braz-PR.

### 2.1 Objetivo específico

- Análise de viabilidade técnica;
- Realizar estudos de irradiação do local;
- Avaliar consumo atual e possível aumento de consumo da fatura;
- Realizar o projeto de acordo com os estudos anteriores;
- Dimensionar os componentes;
- Realizar simulação da produção do sistema;
- Estudo econômico e financeiro;
- Calcular o investimento inicial para a instalação do sistema solar;
- Realizar análises de retorno sobre o investimento.

### **3 ENERGIA NO MUNDO**

As fontes de energia são divididas entre não renováveis e renováveis. As não renováveis são aquelas que, por estarem presentes de maneira limitada na natureza, estão sujeitas à extinção. Dentre elas, temos: o petróleo, o gás natural, o carvão mineral e os recursos nucleares. Enquanto as fontes renováveis são naturalmente reabastecidas, como a irradiação solar, eólica, maremotriz, geotérmica e entre outras.

#### **3.1 Fontes não renováveis**

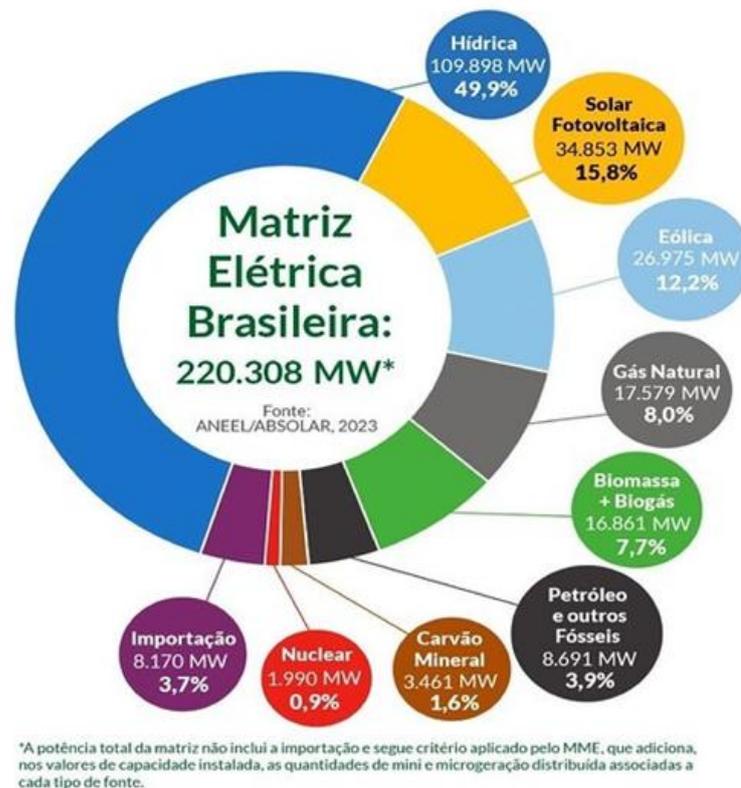
O petróleo é um combustível fóssil formado pela decomposição de matéria orgânica ao longo de milhões de anos e é uma das principais fontes energéticas do mundo, sendo utilizado em gasolina, óleo diesel, produção de químicos, plásticos e outros derivados. Apesar de ser um combustível finito, ele ainda é amplamente utilizado devido à sua eficiência energética e versatilidade no transporte e armazenamento. Acredita-se que povos como os do Oriente Médio, Egito, Mesopotâmia e China já tinham contato com o petróleo, utilizado para betume, iluminação e entre outros usos. A participação do petróleo na matriz energética mundial cresceu com a utilização de derivados como combustíveis no setor de transportes, principalmente a gasolina e o diesel.

#### **3.2 Energia no Brasil**

O Brasil possui uma matriz energética majoritariamente renovável; em 2023, 83,79% da energia gerada no Brasil veio de fontes renováveis, de acordo com dados do Sistema Interligado Nacional (SIN). As hidrelétricas representam 49,9% da matriz energética brasileira; no entanto, em períodos de baixa precipitação, a produção de energia é significativamente afetada, como visto em 2018 onde o uso de termelétricas foi necessário para complementar a baixa produção das hidrelétricas. Acarretou maiores gastos nas faturas, uma vez que a energia oriunda de termoelétricas possui alto custo de geração, portanto mais cara em comparação às hidrelétricas. Por esses motivos, se vê um aumento considerável de energias alternativas como o caso da energia solar no Brasil. A energia solar atualmente ocupa a segunda posição, representando 15,8% da matriz energética, como representado na figura 2.

Apesar disso, o setor energético brasileiro enfrenta desafios persistentes, como a necessidade de modernização da infraestrutura, melhoria da eficiência energética e enfrentamento de questões ambientais e sociais associadas à exploração de recursos naturais. O desenvolvimento de políticas energéticas abrangentes e sustentáveis é essencial para assegurar um suprimento confiável de energia e promover o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável no país.

**Figura 2 - Matriz elétrica brasileira.**



Atualizado em 14/11/2023 | nº 61



Fonte: Associação brasileira de energia solar fotovoltaica – ABSOLAR - (2023).

## 4 LEGISLAÇÃO

### 4.1 Resolução Normativa 1059

A Resolução Normativa (REN) 1059, a resolução mais recente emitida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 7 de fevereiro de 2023, essa resolução tem como função aprimorar as regras das resoluções passadas e introduzir novas regras. A REN também define a diferença entre as gerações, separando-as por microgeração e minigeração.

**Microgeração:** São sistemas com potência instalada de corrente alternada de até 75 kW. Que tenha como origem fontes de energia renováveis como hidrelétricas, solar, eólica, biomassa ou cogeração conectadas com a rede elétrica através da unidade consumidora (ANEEL, 2023).

**Minigeração:** São sistemas com potência instalada de corrente alternada entre 75 kW até 3 MW conectada com a rede elétrica através da unidade consumidora (ANEEL, 2023).

A REN 1059 define o sistema de compensação através de créditos de energia elétrica. O sistema de créditos permite que a geração excedente produzida durante o dia possa ser injetada na rede e convertida em créditos acumulativos, para a utilização em outro momento que seja necessário, como por exemplo durante o inverno onde a produção do sistema diminui com a menor irradiação da estação, ou durante o período noturno, onde não há produção de energia. De acordo com o Art. 655-L da REN 1059, esses créditos gerados pelo excedente tem uma validade de 60 meses. Os créditos, além do uso local onde eles são consumidos pela unidade consumidora que está instalado o sistema, é possível compartilhar o excedente através do autoconsumo e geração compartilhada, como podemos ver abaixo alguns exemplos dos possíveis gastos de créditos:

**Geração Local:** Os créditos são gerados e consumidos na mesma unidade, sem o repasse de crédito para outra unidade.

**Condomínios:** A energia gerada serve primeiramente para abater possíveis gastos energéticos do condomínio. O excedente gerado é utilizado em benefício dos

condôminos, reduzindo os custos da conta de energia. Esse processo beneficia todos os condôminos, reduzindo tanto o custo de condomínio dos moradores quanto a conta de luz.

**Autoconsumo:** Os créditos podem ser utilizados em outra unidade consumidora que possui a titularidade de uma mesma pessoa física ou jurídica.

**Geração compartilhada:** Os créditos são distribuídos entre todos os participantes, compartilhando o benefício de um sistema solar sem a necessidade de instalar um sistema na residência. Utilizado quando não é possível a instalação do sistema.

## 4.2 Lei nº 14.300

O Marco legal da geração distribuída, também conhecida popularmente como a “taxação do sol”, tem como intuito definir regras para o autoconsumo de energia solar e da geração distribuída. Com a lei através do “direito adquirido” os sistemas solares que foram realizados a homologação anterior a data de janeiro 2023, período que começa a vigência da lei, poderão optar por continuar com as regras anteriores. Onde a concessionária não cobra pelo uso da rede, cabendo ao cliente pagar apenas o valor que consumir menos a geração e o crédito produzido anteriormente, como podemos ver pela fórmula 1. Caso opte por continuar com as regras anteriores o cliente terá um período até 2045 para continuar utilizando essa regra.

$$\text{Consumo}_{\text{mensal}} = (\text{Consumo} - (\text{Geração} + \text{Crédito})) \quad (1)$$

No entanto caso o cliente opte por realizar a transição ou possuir um sistema solar homologado após o período de vigência da lei. A conta de luz contará com um acréscimo da tarifa de uso da rede, denominada de Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) do Fio B. Esta tarifa reflete nos custos relacionados à manutenção, garantindo a continuidade e a eficiência do serviço fornecido. Apesar de ser uma taxa para contribuir com a melhoria da eficiência da rede por representar um adicional no custo final da conta do consumidor, tem como resultado um aumento no

*payback* para o sistema. De acordo com a lei 14.300 o valor tarifário do Fio B sofrerá alterações de acordo com o ano, começando em 2023 com a cobrança de 15% sobre o Fio B e aumentando a cada ano até o ano de 2028, onde o valor de referência vai ser de 90% da tarifa. A partir do ano de 2029 serão estabelecidas novas regras de cobrança. Podemos observar na fórmula 2 como será calculado o Fio B, onde “fiob” é a tarifa estipulada pela Copel por kWh e o injetado é a energia que foi injetada na rede e utilizada posteriormente.

$$\begin{aligned} \text{Fio B (2023)} &= 0,15 \times \text{fiob} \times \text{Injetado} && (2) \\ & \vdots \\ \text{Fio B (2026)} &= 0,6 \times \text{fiob} \times \text{Injetado} \\ & \vdots \\ \text{Fio B (2028)} &= 0,9 \times \text{fiob} \times \text{Injetado} \end{aligned}$$

## **5 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE FRANGOS**

A avicultura é um dos pilares da economia brasileira, se destacando como uma das atividades mais dinâmicas e importantes do agronegócio. O Brasil é líder mundial na exportação de carne de frango, a produção avícola é crucial tanto para o mercado interno quanto para as exportações. Com toda essa importância, é urgente a implementação de tecnologias que aumentem a eficiência, reduza custos e promovam a sustentabilidade, como a energia solar.

### **5.1 Avicultura global e nacional**

O Brasil se destaca no mercado avícola mundial de acordo com a ABPA. O Brasil é o terceiro maior produtor, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e da China. Em 2022, o Brasil exportou mais de 4,8 milhões de toneladas de carne de frango, gerando receitas superiores a US\$9 bilhões. Os principais mercados foram China, Arábia Saudita e União Europeia.

### **5.2 Avicultura: geração de empregos**

O setor aviário no Brasil representa a geração de milhares de empregos, de forma direta ou indireta, seja no trabalho nas granjas ou no processamento da carne nas grandes indústrias, até os empregos indiretos como veterinários, transporte, ração e entre outros. O setor pecuário é uma das engrenagens do Brasil.

### **5.3 Relação entre a produção avícola e a energia**

O consumo de energia nas granjas de frangos é vital para garantir que tudo funcione bem e que as condições ideais de produção sejam mantidas. Em ambientes controlados como esses, a energia elétrica é usada para alimentar múltiplos sistemas que asseguram o bem-estar dos animais, a eficiência da produção e o ambiente necessário para que as aves cresçam saudáveis.

## 5.4 Principais sistemas que consomem energia em granjas avícolas

### 5.4.1 Climatização e ventilação

O sistema de ventilação representa um dos maiores gastos de energia na granja (Nascimento, Lafay, 2010). A ventilação é utilizada para circular o ar, captando o oxigênio externo para o interior dos galpões e expelindo gases como amônia, gás carbônico e outros gases prejudiciais às aves. A climatização controla a temperatura, resfriando ou aquecendo o ambiente, melhorando o bem-estar animal e a produtividade final. A regulação da climatização dos galpões acarreta na prevenção de doenças, maior eficiência alimentar e maior taxa de crescimento das aves. A Figura 3 representa um sistema de ventilação em uma granja.

**Figura 3 - Sistema de ventilação.**



**Fonte: Airway.**

### 5.4.2 Iluminação

A iluminação adequada é fundamental para o crescimento das aves. A luz artificial promove o bem-estar dos frangos (Doughman, Elizabeth. 2024). A iluminação também estimula as atividades na alimentação e no repouso, tendo como resultado o crescimento de forma mais eficiente. A figura 4 representa um sistema de iluminação em funcionamento.

**Figura 4 - Iluminação de uma granja.**



Fonte: Fancom.

#### 5.4.3 Sistemas de alimentação e água

Com os avanços tecnológicos e a introdução de sistemas de automação na agropecuária o uso de motores e sensores está cada vez mais comum nas granjas (Nannini, Guilherme. 2023). Esses sistemas possibilitam um controle maior por parte do produtor sobre a alimentação e a hidratação dos animais, podendo regular a quantidade necessária de água e ração, assim como os horários, reduzindo desperdícios. A figura 5 representa um sistema automatizado de alimentação das aves.

**Figura 5 - Alimentadores na granja.**



Fonte: Arcotherm.

### 5.5 Consequências da instabilidade elétrica em áreas rurais

A criação de frangos depende profundamente do fornecimento de energia elétrica, no entanto como maior parte das granjas são localizadas nas áreas rurais a infraestrutura é menos desenvolvida, acarretando em maiores instabilidades no

fornecimento de energia, causando impactos diretos e significativos na produção com as quedas de energia nas propriedades rurais.

A falta de energia prejudica na climatização e na ventilação das granjas. Para um crescimento otimizado é necessário que não ocorra variações bruscas de temperatura nos galpões, pois isso afeta diretamente no consumo de ração e de água. A falta de ventilação causa acúmulo de gases nocivos e reduz o oxigênio do ambiente. A notícia da reportagem do site Região News destaca a vulnerabilidade da produção de frangos: as quedas constantes de energia nos últimos 12 meses em Sidrolândia acarretaram em perdas para os produtores da região devido à falta de energia elétrica. O sistema de ventilação das granjas parou ocasionando o aumento da temperatura para níveis acima do tolerável, resultando na morte de 486 mil frangos que estavam prontos para o abate. De acordo com Jean Zimmer, presidente da Associação dos avicultores de Sidrolândia, o prejuízo médio por ave é de R\$12,50; contabilizando um prejuízo de mais de 6 milhões de reais para os produtores da região.

## 6 IMPACTOS DA ENERGIA SOLAR

### 6.1 Impacto ambiental

Utilizar painéis solares em granjas de avicultura gera energia sem emissões de carbono, reduzindo significativamente a emissão de gás carbônico e retardando o efeito estufa ocasionado pela liberação do mesmo na atmosfera (Hein, Henrique. 2023). A utilização de energia solar torna a marca da empresa mais verde e alinhada com as novas tendências do mercado. Produtores que utilizam energia solar possuem selos que podem agregar valor na mercadoria, como podemos observar o selo na figura 6.

Figura 6 - Selo de produto com energia solar.



Fonte: testarienergia.

### 6.2 Impacto econômico

Apesar de precisar de um alto investimento inicial existem auxílios de incentivos fiscais e financiamentos de juros baixos para produtores rurais tornando mais acessível a instalação do sistema fotovoltaico. A geração de energia solar pode reduzir os custos operacionais das granjas através da diminuição na conta de energia elétrica. A instalação do sistema gera a valorização da propriedade em até 10% de acordo com pesquisa da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar).

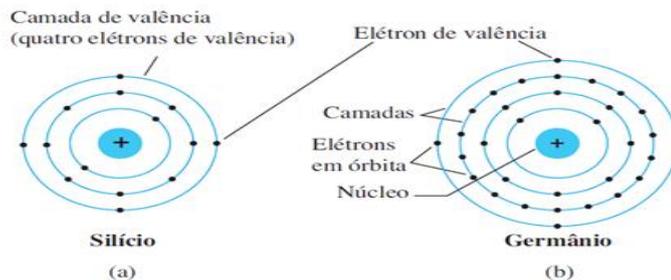
## 7 EFEITO FOTOVOLTAICO

### 7.1 Estrutura do material semicondutor

Para entender o efeito fotovoltaico é necessário conhecer a estrutura dos semicondutores, como o silício, utilizado em células solares:

Semicondutores: Os semicondutores são uma classe especial de elementos cuja condutividade está entre a de um bom condutor e a de um isolante. São materiais que possuem uma banda de valência – região cujo potencial necessário para remover os elétrons da estrutura atômica é significativamente menor do que o requerido para qualquer outro elétron na estrutura – e uma banda de condução – região em que os elétrons estão livres para conduzir corrente (Boylestad, 2013) – conforme ilustrado na figura 7.

**Figura 7 - Camada de valência dos elementos silício e germânio.**



Fonte: Fonte: Robert L. Boylestad.

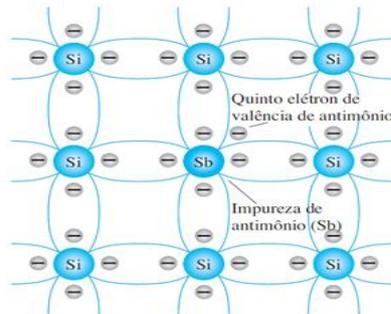
A energia mínima necessária para que um elétron passe da banda de valência para a banda de condução é denominada *gap* de energia – intervalo de energia.

### 7.2 Formação da junção p-n e campo elétrico interno

Em um semicondutor puro, a quantidade de elétrons livres é limitada, mas a dopagem permite modificar as propriedades elétricas do material (Ângelo et al. 1998). Para células solares, utiliza-se uma junção p-n, onde uma camada de silício (Si) dopado com átomos como o boro (B) é colocada junto a outra camada de silício dopado com antimônio (Sb). O material do tipo p é criado com a introdução de elementos de impureza com 3 elétrons na camada valência, no caso o silício é dopado com uma quantidade pré-estabelecida de átomos de boro e o material do tipo n é

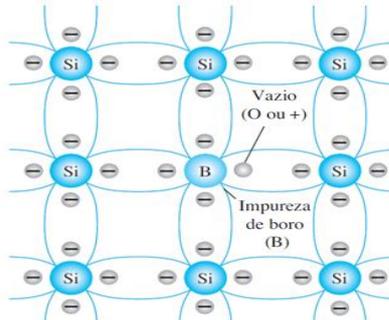
dopado por elementos com 5 elétrons na camada de valência, por exemplo o antimônio, ilustrados nas figuras 8 e 9.

**Figura 8 - Impureza do antimônio adicionado na base do silício.**



**Fonte: Robert L. Boylestad.**

**Figura 9 - Impureza do boro adicionado na base do silício.**

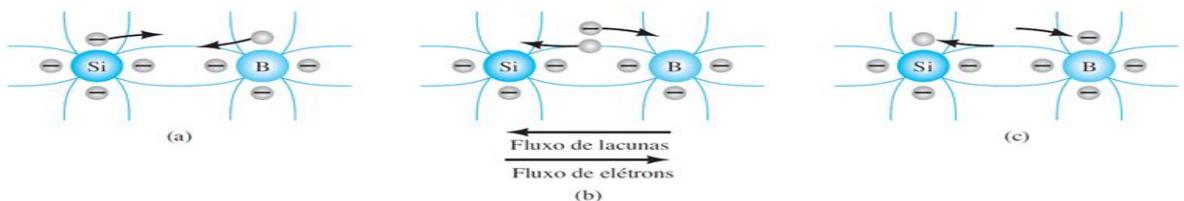


**Fonte: Robert L. Boylestad.**

Quando as regiões p e n são colocadas juntas, elétrons livres da região n – região com excesso de elétrons – se movem para a região p – região com excesso de lacunas –, os espaços vazios da região p se movem para a região n.

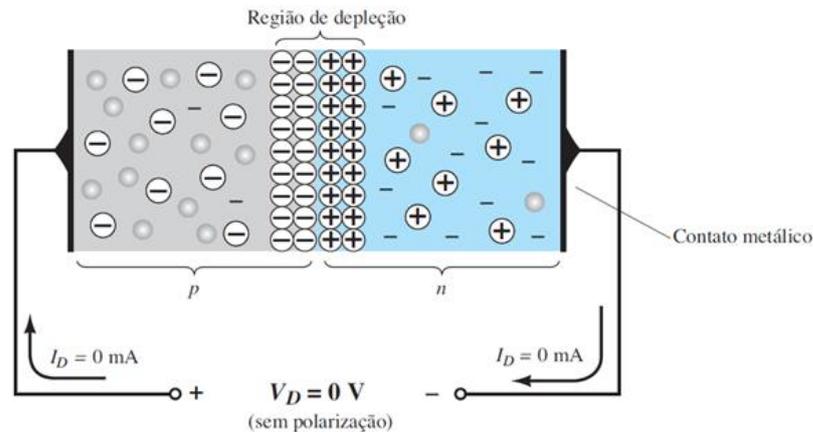
Esse movimento de elétrons e espaços vazios cria uma camada de depleção na junção entre as duas regiões, onde há um campo elétrico interno. Esse campo elétrico é essencial para o efeito fotovoltaico, pois direciona os elétrons e as lacunas gerados pela luz em direções opostas conforme a figuras 10 e 11.

**Figura 10 - Fluxo de lacunas e elétrons.**



**Fonte: Robert L. Boylestad.**

**Figura 11 - Região de depleção da junção p-n.**



**Fonte: Robert L. Boylestad**

### 7.3 Interação da luz com o semiconductor

Quando a luz solar incide sobre a célula, os fótons – partículas de luz – com energia igual ou superior ao *gap* de energia do material semiconductor podem ser absorvidos:

A energia do fóton é transferida para um elétron na banda de valência, promovendo-o para a banda de condução e deixando uma lacuna na camada de valência. Esse processo cria um par elétron-lacuna, o elétron passa a estar livre para se mover e a lacuna pode conduzir cargas positivas.

### 7.4 Separação e movimento das cargas

O campo elétrico interno da junção p-n separa os pares elétron-lacuna, enviando os elétrons para a região n e as lacunas para a região p. Essa separação de cargas gera uma diferença de potencial – tensão elétrica – entre as regiões p e n.

### 7.5 Circuito externo e corrente elétrica

Para que a energia gerada possa ser utilizada, a célula fotovoltaica é conectada a um circuito externo. Quando o circuito é fechado, os elétrons fluem da região n para a região p através dos condutores, criando uma corrente elétrica contínua. Esse fluxo

de elétrons é a corrente elétrica que pode ser usada para alimentar dispositivos ou baterias.

## 7.6 Equações importantes e rendimento

O desempenho da célula solar depende de alguns fatores técnicos. A equação da corrente do diodo descreve a corrente total de uma célula solar e leva em consideração as correntes de saturação reversa ( $I_0$ ) e de fotogerada ( $I_{ph}$ ). A corrente total  $I$  é dada pela equação 3:

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right) \quad (3)$$

Onde:

- $q$  é a magnitude da carga eletrônica =  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ;
- $V$  é a tensão da célula solar;
- $n$  é um fator de idealidade, que depende da construção física e condições de operações, o valor varia de 1 a 2;
- $k$  é a constante de Boltzmann =  $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ;
- $T$  é a temperatura em Kelvin =  $273 \text{ K} + \text{temperatura em } ^\circ\text{C}$ ;

**Eficiência de Conversão:** A eficiência de uma célula solar depende da quantidade de energia da luz convertida em eletricidade, considerando perdas como reflexões e recombinação de pares elétron-lacuna. A eficiência máxima teórica é limitada pelo "limite de Shockley-Queisser", que estabelece uma eficiência teórica em torno de 33% para uma célula de silício (Shockley, 1961).

## 8 TIPOS DE PAINÉIS SOLARES

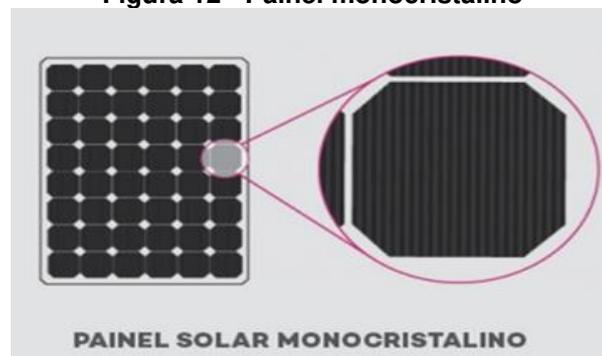
### 8.1 Painéis monocristalinos

Os painéis solares monocristalinos conforme demonstrado na figura 12, são produzidos a partir de um único cristal de silício de alta pureza, o que confere a eles uma estrutura celular uniforme. Esse processo de fabricação utiliza o método Czochralski, no qual o silício é fundido e cristalizado em um único lingote cilíndrico. O silício monocristalino é cortado em discos finos, chamados de *wafers*, que, ao serem conectados em série, formam uma célula fotovoltaica. Esse silício puro permite que os elétrons se movam de maneira mais ordenada e com menos interferência de impurezas, o que melhora a eficiência geral do painel (Neris, Alessandra. 2021).

Esses painéis têm uma eficiência de conversão de energia muito alta, geralmente entre 15% e 22%, devido à estrutura cristalina pura que facilita o movimento dos elétrons em resposta à luz solar. A eficiência elevada é benéfica principalmente quando o espaço disponível para a instalação é restrito, pois esses painéis geram mais energia por metro quadrado. Além disso, os painéis mantêm uma boa performance mesmo em condições de baixa luminosidade ou em dias nublados.

Outra característica relevante é a durabilidade. A vida útil de um painel monocristalino pode facilmente superar 25 anos com uma baixa redução na eficiência ao longo do tempo.

Figura 12 - Painel monocristalino



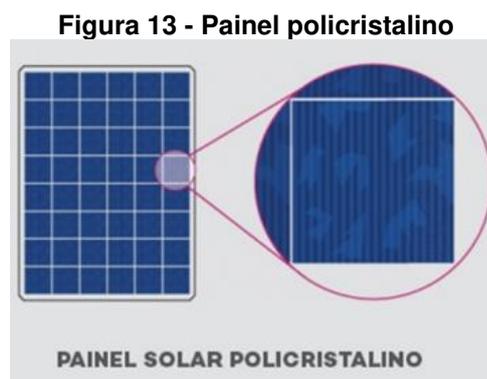
Fonte: Neo Solar

## 8.2 Painéis policristalinos

Os painéis policristalinos são fabricados a partir de fragmentos de silício fundidos em um molde, formando uma estrutura composta de múltiplos cristais apresentados na figura 13. Esse método de produção é menos custoso do que o método para a criação do monocristalino, visto que, utiliza resíduos de silício, o processo de fusão e resfriamento são mais simples e rápidos. Após o resfriamento, o bloco de silício é cortado em quadrados, que são montados em módulos para formar as células (Hepel energia solar. 2021).

Por conta dessa estrutura com múltiplos cristais, os elétrons têm elevada dificuldade para se mover através do material, o que reduz a eficiência de conversão de energia para valores que normalmente ficam entre 13% e 18%. Essa eficiência mais baixa significa que esses painéis podem precisar de uma área maior para gerar a mesma quantidade de energia que um painel monocristalino. Ademais, os painéis policristalinos são mais sensíveis ao aumento de temperatura, interferindo na sua eficiência em climas extremamente quentes.

Apesar dessas limitações, os painéis são amplamente utilizados em instalações residenciais e comerciais devido ao seu custo-benefício, oferecendo uma boa eficiência a um custo menor que o dos monocristalinos.



Fonte: Neo Solar

## 8.3 Painéis de filme fino (Thin-film)

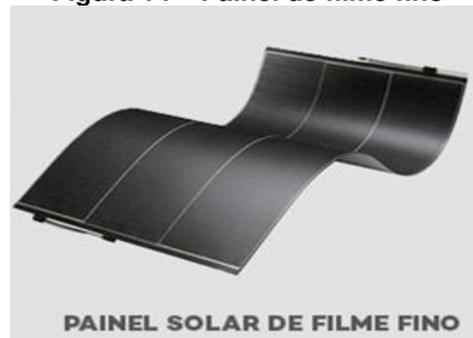
Os painéis de filme fino são produzidos ao depositar uma camada fina de material fotovoltaico sobre uma base flexível, que pode ser de vidro, metal ou plástico,

como demonstrado na figura 14. Essa camada fotovoltaica pode ser composta por diferentes materiais, como telureto de cádmio (CdTe), silício amorfo (a-Si) ou cobre-índio-gálio-selênio (CIGS). Cada um desses materiais possui características e níveis de eficiência distintos, mas, em geral, a eficiência dos painéis de filme fino é mais baixa do que a de painéis policristalino, situando-se entre 7% e 13% (Portal solar. 2022).

A flexibilidade e leveza dos painéis de filme fino os tornam ideais para aplicações específicas, como instalações em superfícies curvas, projetos arquitetônicos integrados, e até em veículos. Pelo baixo custo de produção, eles são frequentemente escolhidos para instalações de grande escala onde o espaço não é um problema e é possível compensar a menor eficiência com uma área maior de cobertura.

O desempenho dos painéis de filme fino em condições de alta temperatura e sombra parcial tende a ser superior aos de silício, já que a camada fotovoltaica é menos afetada pela elevação da temperatura. No entanto, a durabilidade desses painéis é inferior, com uma vida útil média que varia entre 10 e 20 anos, e, além disso, a degradação ao longo do tempo é mais acentuada.

**Figura 14 – Painel de filme fino**



**Fonte: Neo Solar**

#### **8.4 Outras tecnologias emergentes**

Existem também tecnologias emergentes que buscam melhorar a eficiência dos painéis solares. Os painéis perovskita embora ainda em estágios experimentais, apresentam uma eficiência promissora, com alguns laboratórios alcançando até 22% de eficiência, com a expectativa de aumento nos próximos anos à medida que a

tecnologia se desenvolve (NREL - *National Laboratory of Renewable Energy*, 2016). Além do perovskita, as células solares concentradas (CPV) vêm se destacando ao usar lentes ou espelhos para concentrar a luz solar em uma célula fotovoltaica de alta eficiência. Esse sistema alcançou eficiência de 43,4% em um mini módulo (API – *Applied Physics Reviews*, 2018).

## 9 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os painéis solares são os componentes responsáveis pela captura da luz solar e sua conversão em energia elétrica. Quando expostas à luz, essas células geram corrente contínua (CC). A quantidade de módulos necessários varia de acordo com a demanda de energia e o espaço disponível para instalação.

O inversor solar tem a função de converter a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis solares em corrente alternada (CA), que é a forma de eletricidade utilizada pela maioria dos aparelhos elétricos nas residências e indústrias. O inversor deve ser dimensionado conforme a quantidade de energia gerada pelos módulos fotovoltaicos. Existem diferentes tipos de inversores: os inversores de *string* são mais comuns em instalações menores, como residenciais, enquanto os inversores centrais são usados em instalações de maior porte.

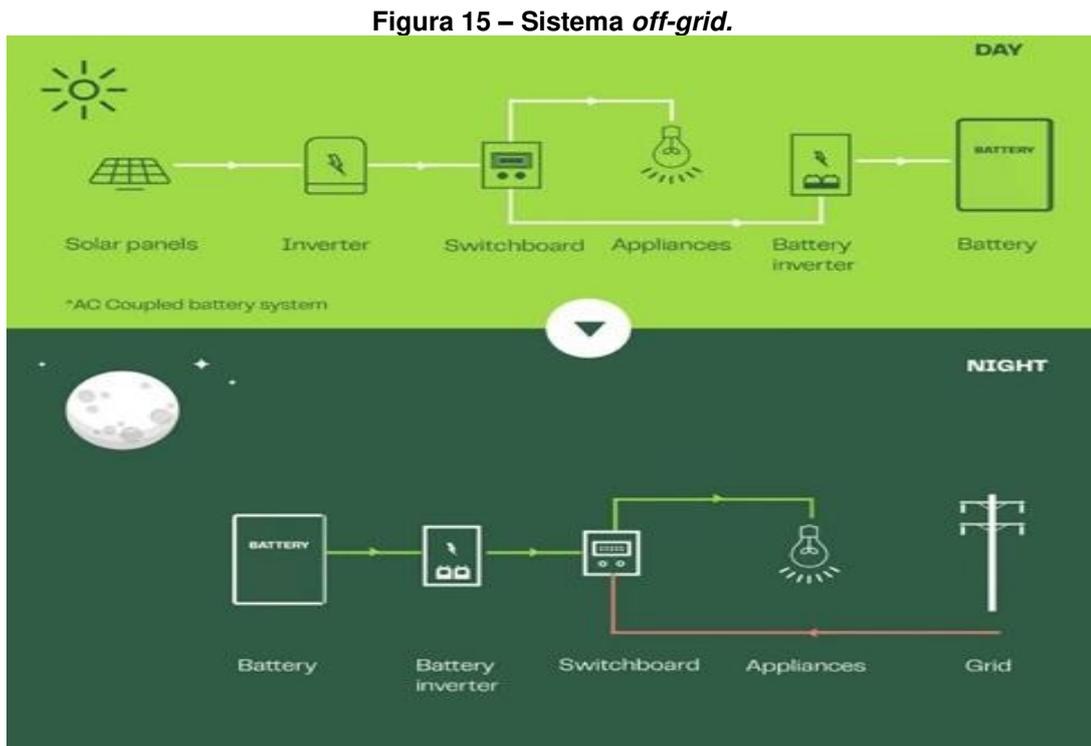
Para instalar os painéis solares de maneira segura e estável, utiliza-se uma estrutura de montagem. Ela é projetada para fixar os módulos solares no telhado ou no solo e mantê-los inclinados em um ângulo ideal para maximizar a captura da luz solar. Essas estruturas precisam ser resistentes às intempéries, como vento forte e chuva, além de permitir uma boa ventilação para evitar o superaquecimento dos painéis.

Os cabos e fios são responsáveis por interligar todos os componentes do sistema fotovoltaico e devem ser adequados para essa aplicação, pois precisam ser resistentes à radiação solar, altas temperaturas e umidade. Portanto, escolher cabos de alta qualidade é fundamental para garantir a durabilidade e bom funcionamento do sistema.

A segurança do sistema é garantida através de dispositivos de proteção, como fusíveis e disjuntores. Eles protegem os componentes elétricos contra sobrecargas e curtos-circuitos. Além disso, é recomendado o uso de DPS – dispositivos de proteção contra surtos –; que protege contra picos de tensão, como os causados por raios.

Em sistemas fotovoltaicos *off-grid* – sistema desconectado da rede elétrica –; as baterias desempenham um papel fundamental. Elas são responsáveis por armazenar a energia elétrica excedente gerada durante o dia e utilizá-la à noite ou em

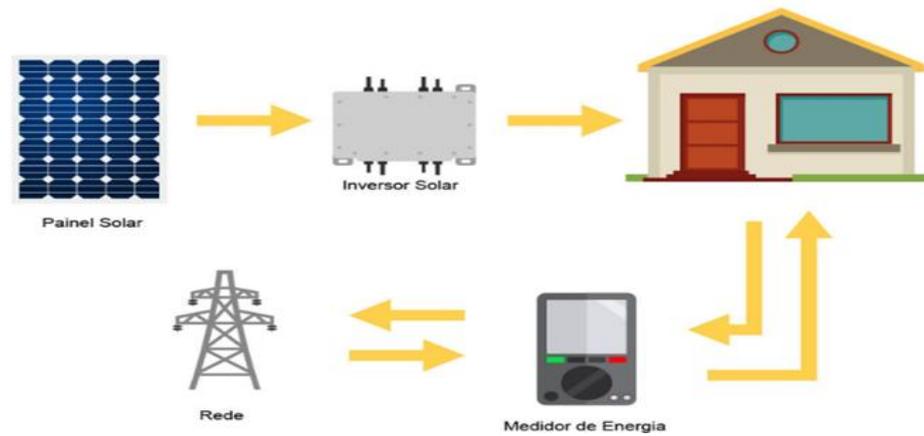
períodos nublados, como demonstrado na figura 15. As baterias mais comuns em sistemas solares são as de íon de lítio e chumbo-ácido. As de íon de lítio são mais eficientes, têm uma vida útil mais longa e ocupam menos espaço, porém possuem um custo mais elevado. As baterias de chumbo-ácido são mais baratas, mas requerem maior manutenção e uma vida útil mais curta (Barbara et al, 2021).



**Fonte: Solar Calculator.**

Em sistemas *on-grid* – sistema conectado à rede elétrica –, um medidor bidirecional é instalado pela concessionária para medir tanto a energia consumida da rede quanto a energia excedente gerada pelos painéis solares. O medidor é essencial para o funcionamento do sistema de *net metering* – sistema de compensação de energia –; em que o consumidor pode ser compensado pela energia que gera e devolve à rede, reduzindo a sua conta de energia. Podemos observar o funcionamento do sistema na figura 16.

Figura 16 – Sistema *on-grid*.



Fonte: Neosolar.

Os inversores mais atuais são equipados com *software* de medição em tempo real, ou seja, é possível saber a geração momentânea, a diária, a semanal e a mensal. Ele pode ser acessado por meio de plataforma online ou aplicativo. Além da informação sobre a geração é possível ver o estado de funcionamento dos painéis e inversores, se há falhas ou perdas de desempenho.

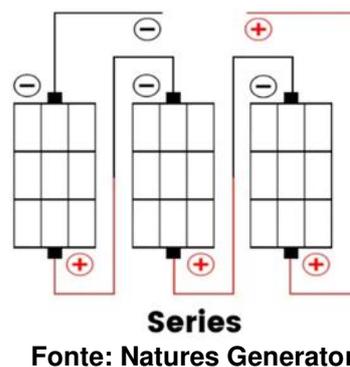
## 10 LIGAÇÃO EM SÉRIE OU PARALELO

Em sistemas fotovoltaicos, as ligações em série e paralelo são formas de conectar os módulos fotovoltaicos para atingir as especificações de tensão e corrente necessárias para o sistema. Cada tipo de ligação tem características e implicações que afetam o desempenho, a eficiência e a segurança do sistema.

### 10.1 Ligação em série

Na ligação em série o terminal positivo de um painel é conectado ao terminal negativo do painel seguinte, como demonstrado na Figura 17.

**Figura 17 – Ligação em série.**



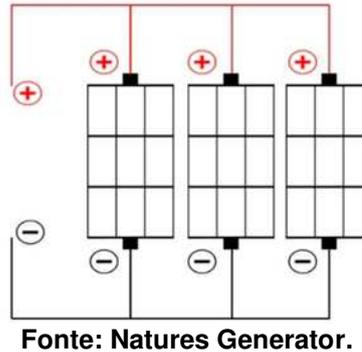
#### 10.1.1 Características

A ligação em série de painéis fotovoltaicos soma as tensões de cada painel, mantendo a corrente constante e limitada pelo painel com menor capacidade. Essa configuração é ideal para sistemas que exigem alta tensão, reduzindo perdas nos cabos. No entanto, é sensível ao sombreamento, pois um painel sombreado reduz o desempenho de toda a série. O uso de diodos de *bypass* pode minimizar essas perdas. Para garantir eficiência, é necessário que os painéis tenham características semelhantes e que a tensão total esteja dentro do intervalo de operação dos equipamentos conectados.

## 10.2 Ligação em paralelo

Na ligação em paralelo, todos os módulos são interligados através de seus polos, positivo com positivo e negativo com negativo, como demonstrado na Figura 18.

Figura 18 – Ligação em paralelo.



### 10.2.1 Características

A ligação em paralelo de painéis fotovoltaicos soma as correntes de cada painel, mantendo a tensão constante. É menos sensível ao sombreamento, pois a redução de um painel não afeta os demais. Essa configuração é ideal para sistemas que demandam alta corrente, como instalações com controladores de carga que operam em baixa tensão ou baterias de 12V e 24V. No entanto, exige cabos e componentes de maior capacidade para suportar a corrente total. Diodos de bloqueio são usados para evitar a circulação de correntes entre os painéis.

## 11 PERDAS

O sistema solar como qualquer outro sistema que tenha conversão produz perdas seja na própria conversão ou antes. As perdas se dão por diversas maneiras. Neste capítulo vamos discutir sobre as causas e como podemos otimizar o sistema para evitar perdas desnecessárias.

### 11.1 Sombras e sujeira

Uma das principais causas da diminuição da produção de energia solar em um sistema é o sombreamento parcial. Sendo considerada uma das variáveis mais essenciais durante o planejamento do sistema. De acordo com Atlas brasileiro de energia solar, as sombras podem ser classificadas de acordo com o tempo, área da sombra e objetos.

Sombras temporárias: São sombras que são acarretadas por objetos que obstruem os painéis solares como folhas de árvores, excremento de pássaros e entre outros. Esse problema pode ser resolvido com uma limpeza periódica do sistema, como apresentado na figura 19.

**Figura 19 – Placa solar com sujeiras.**



**Fonte: Cogera solar.**

Sombras de corpo: Sombras causadas por corpos próximos que projetam sombra ao sistema que podem ser temporárias em um determinado horário do dia ou contínuo. Alguns exemplos são árvores, construções, antenas e entre outros que podem acarretar a ineficiência do sistema, deve-se considerar durante o projeto o layout das placas para evitar o máximo possível de sombras. A figura 20 representa a obstrução por sombra de uma árvore.

**Figura 20 – Sombras de árvores em placas solares.**



**Fonte: MF Energy.**

Autos sombreamento: De acordo com a instalação utilizada no sistema os painéis podem fazer sombra uns nos outros podendo prejudicar a produção, isso se dá por um projeto mal executado durante a elaboração ou o pouco espaço para a instalação. Para resolver esse problema deve-se levar em conta o local de instalação, calcular o sombreamento das placas, o ângulo da instalação e o espaço entre elas. Podemos observar os autos sombreamento dos painéis na figura 21.

**Figura 21 – Sombras da própria instalação fotovoltaica.**



**Fonte: Energês.**

Sujeira: Assim como a sombras temporárias, a diminuição da eficácia dos módulos se dá pelo acúmulo de objetos que obstruem as células como poeira, fuligem, pequenas partículas e sujeiras.

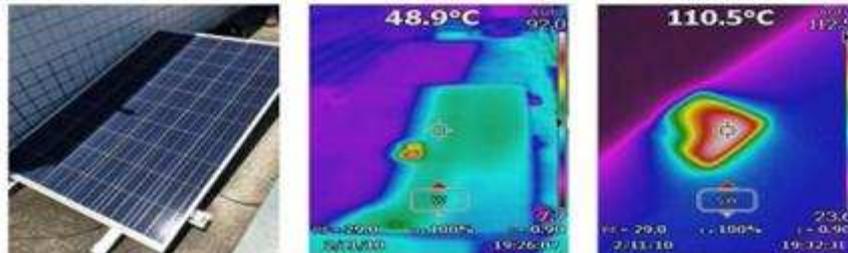
## **11.2 Temperatura**

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar quanto maior a irradiação solar melhor a eficiência da produção solar, no entanto as áreas com maior irradiação solar do Brasil possuem uma alta temperatura, diminuindo a eficiência dos módulos, pois quanto maior a temperatura maior a queda de tensão.

### 11.3 Hot Spot

Conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o sombreamento pode causar o surgimento de hot spots ou pontos quentes que ocorrem em painéis solares quando certas áreas atingem temperaturas mais altas, podendo causar danos permanentes nas placas solares e até acarretar na queima do sistema e incêndio. Como podemos verificar na figura 22, o sombreamento da construção causou um hot spot na placa solar com um aumento de 126% da temperatura em uma pequena região do módulo fotovoltaico em comparação ao restante do painel causando uma preocupação com a saúde da placa.

**Figura 22 – Ponto de calor detectados pela câmera térmica.**



**Fonte: Sunergia.**

Devido ao sombreamento a célula da placa começa a agir como uma carga resistiva dissipando potência. Como toda carga resistiva converte energia elétrica em energia térmica, gera o superaquecimento das células. Para evitar os pontos quentes é necessário um projeto elaborado de maneira correta juntamente com a instalação e a limpeza das placas.

### 11.4 Degradação

Como qualquer tecnologia as placas fotovoltaicas estão vulneráveis a degradação que diminuem a vida útil do sistema e causam perdas na produção do sistema (NDIAYE et al. 2013). A degradação se dá através da exposição ao sol, temperatura, chuvas ácidas, maresia ou umidade. A degradação com o decorrer do tempo reduz a vida útil do sistema causando prejuízos com uma manutenção mais cara e até mesmo a troca de componentes. Para reduzir a degradação pode-se optar por melhores materiais, manutenções preventivas e a limpeza periódica.

## 12 METODOLOGIA

### 12.1 Projeto fotovoltaico

Para se iniciar o projeto fotovoltaico é necessário ter em mãos os dados do local de instalação, que são adquiridos através de visitas técnicas e as informações que foram acordadas entre o vendedor e o cliente para que não haja divergências na instalação. Das informações coletadas, você saberá o tipo de inversor a ser utilizado, os modelos de painéis solares e a área para instalação (Vian, Angelo. 2021). Para este projeto pretende-se instalar em galpões que estão em processo de construção como não há dados de consumo da energia, para esse projeto então utilizamos a energia consumida pelas granjas antigas como referência para calcular a energia necessária para alimentar as granjas novas, visto que, vai ser construídos 3 galpões de tamanhos iguais aos antigos, podemos observar a quantidade de energia consumida pelas granjas antigas na tabela 1, como o cliente possui um alto consumo na maior parte do ano foi projetado um sistema com o máximo possível de geração para microgeração. Nesta obra o inversor a ser utilizado será um Solis 75K 5G e as placas solares serão do modelo Astro 5 monofacial de 550 Watt-pico (Wp), a partir desses dados iniciais é necessário obter o datasheet dos equipamentos.

| <b>Mês</b> | <b>Consumo (kWh)</b> |
|------------|----------------------|
| Janeiro    | 17.672               |
| Fevereiro  | 12.293               |
| Março      | 14.409               |
| Abril      | 6.664                |
| Maio       | 7.910                |
| Junho      | 5.704                |
| Julho      | 4.120                |
| Agosto     | 10.722               |
| Setembro   | 13.018               |
| Outubro    | 12.590               |
| Novembro   | 19.586               |
| Dezembro   | 7.561                |
| Média mês  | 11.020,75            |

**Fonte: Autoria própria (2025)**

O datasheet fornece informações como a quantidade de MPPTs necessária para a distribuição das *strings*, o grau de proteção para decidir o melhor local de alocação do inversor, a tensão e a corrente por MPPT, para que as ligações em série dos painéis solares não extrapolem o limite do inversor e que a corrente gerada pelos painéis não seja ceifada em excesso, entre outras informações úteis para o projetista responsável, podemos observar o datasheet do inversor e do painel solar nas figuras 23, 24 e 25.

No datasheet do módulo é apresentada duas condições de operações, o STC – *Standard test conditions* –, o NMOT – *Nominal module operation temperature* –. O STC fornece informações do módulo quando ele é submetido a uma temperatura de 25 °C, irradiância de 1000 W/m<sup>2</sup> e com espessura da atmosfera de 1,5 AM – *Air mass* –, enquanto no NMOT o módulo é submetido a uma temperatura de 20 °C, irradiância de 800 W/m<sup>2</sup>, 1,5 AM e velocidade do vento de 1m/s. Para o Brasil, as informações do STC são mais adequadas, visto a alta irradiância no país (Portal solar. 2016).

Outra informação fornecida no datasheet é a variação da potência, corrente e tensão em relação a temperatura, necessário para calcular a quantidade de módulos que serão distribuídos por *strings*. No início do dia em que o sol está nascendo, há um aumento abrupto da irradiância, mas não da temperatura, ou seja, o módulo opera com alta irradiância, mas com baixa temperatura, essa condição de operação aumenta a tensão de fornecimento pelo módulo e se for mal dimensionado o inversor pode vir a ser danificado e ter sua garantia perdida, um prejuízo inimaginável para a empresa prestadora do serviço.

**Figura 23 – Porcentagem de variação da temperatura.**

| Temperature Ratings (STC)                   |           | Operating Parameters         |                     |
|---|-----------|------------------------------|---------------------|
| Temperature coefficient (Pmpp)              | -0.34%/°C | No. of diodes                | 3                   |
| Temperature coefficient (Isc)               | +0.04%/°C | Junction box IP rating       | IP 68               |
| Temperature coefficient (Voc)               | -0.25%/°C | Max. series fuse rating      | 25 A                |
| Nominal module operating temperature (NMOT) | 41 ± 2°C  | Max. system voltage (IEC/UL) | 1500V <sub>DC</sub> |

**Fonte: Astronergy.**

Figura 24 – Especificações elétricas do módulo.

| <b>Electrical Specifications</b>   |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|
| <b>STC:</b> Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , Cell Temperature 25° C, AM=1.5                     |       |       |       |       |
| Rated output (Pmpp / Wp)   | 540   | 545   | 550   | 555   |
| Rated voltage (Vmpp / V)   | 41.76 | 41.93 | 42.10 | 42.27 |
| Rated current (Impp / A)   | 12.93 | 13.00 | 13.06 | 13.13 |
| Open circuit voltage (Voc / V)   | 49.70 | 49.90 | 50.10 | 50.30 |
| Short circuit current (Isc / A)  | 13.72 | 13.81 | 13.90 | 13.98 |
| Module efficiency  | 20.9% | 21.1% | 21.3% | 21.5% |
| <b>NMOT:</b> Irradiance 800W/m <sup>2</sup> , Ambient Temperature 20° C, AM=1.5, Wind Speed 1m/s |       |       |       |       |
| Rated output (Pmpp / Wp)   | 403.5 | 407.3 | 411.0 | 414.8 |
| Rated voltage (Vmpp / V)   | 38.92 | 39.08 | 39.24 | 39.39 |
| Rated current (Impp / A)   | 10.37 | 10.42 | 10.48 | 10.53 |
| Open circuit voltage (Voc / V)   | 46.97 | 47.16 | 47.34 | 47.53 |
| Short circuit current (Isc / A)  | 11.13 | 11.20 | 11.27 | 11.35 |

Fonte: Astronergy.

Figura 25 – Datasheet do inversor.

| Folha de Dados                    | Solis-(75-80)K-5G                   |  |         |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--|---------|
| Modelo                            | 75K                                 |  | 80K     |
| <b>Entrada CC</b>                 |                                     |  |         |
| Potência máxima de entrada        | 126 kW                              |  |         |
| Tensão máx de entrada             | 1100 V                              |  |         |
| Tensão nominal                    | 600 V                               |  |         |
| Tensão de partida                 | 195 V                               |  |         |
| Intervalo de tensão MPPT          | 180-1000 V                          |  |         |
| Corrente máx de entrada           | 9*26 A                              |  |         |
| Corrente máx de curto-circuito    | 9*40 A                              |  |         |
| MPPTs / Número de Entradas        | 9/18                                |  |         |
| <b>Saída CA</b>                   |                                     |  |         |
| Potência nominal de saída         | 75 kW                               |  | 80 kW   |
| Potência nominal de saída a 40°C  | 75 kW                               |  | 80 kW   |
| Potência máx de saída aparente    | 75 kVA                              |  | 88 kVA  |
| Potência máx de saída             | 75 kW                               |  | 88 kW   |
| Potência máx de saída a 40°C      | 75 kW                               |  | 88 kW   |
| Tensão nominal da rede            | 3/N/PE, 220 V / 380 V               |  |         |
| Frequência nominal da rede        | 50 Hz / 60 Hz                       |  |         |
| Corrente nominal de saída da rede | 114 A                               |  | 121.6 A |
| Corrente máx de saída             | 114 A                               |  | 133.7 A |
| Fator de potência                 | > 0,99 (0,8 Inicial - 0,8 atrasado) |  |         |
| Harmônicas (THDI)                 | <3%                                 |  |         |

Fonte: Solis.

## 12.2 String

Para calcular a quantidade de módulos por *string* será utilizado o datasheet do inversor trifásico. A entrada CC nos diz a potência máxima de entrada que limita a quantidade de módulos permitida pelo inversor, mas não a única métrica para definir as *strings*, seu valor é de 126 kW. A tensão máxima de operação é de 1100 V, há uma faixa adequada de operação do inversor, que é de 180 V a 1000 V, sendo a base para a distribuição de módulos por *string*. Os conjuntos de entradas denominado de MPPT – *Maximum power point tracking*, é uma função dos inversores em que é aproveitado o máximo de potência que o módulo tem a oferecer – possuem uma corrente máxima de 26A por entrada. Por fim temos que o número disponível de MPPTs e *strings* é 9 e 18 respectivamente.

Como o módulo possui uma baixa variação de corrente pela temperatura é adotado como constante. Portanto, apenas a potência e a tensão têm variações significativas. O módulo possui 42,10 V de tensão nominal e 550 W de potência, o coeficiente de temperatura para a tensão é de -0,25% °C, após essas informações é preciso obter a variação de temperatura da região a ser instalado. Na cidade de Wenceslau Braz a menor temperatura registrada foi de -0,6 °C (Terra do mandu, 2024) que será arredondado para -1 °C a fim de ter mais confiabilidade no dimensionamento. Será utilizado a fórmula 4 para calcular a nova tensão do módulo:

$$V = V_0 \cdot \left[ 1 + (T - 25) \cdot \frac{V\%}{100} \right] \quad (4)$$

Onde:

- V: Tensão nominal após correção;
- $V_0$ : Tensão na STC;
- T: Referência de temperatura;
- V%: coeficiente de variação da tensão.

$$V_{max} = 42,10 \cdot \left[ 1 + (-1 - 25) \cdot \frac{-0,25}{100} \right]$$

$$V_{max} = 44,84V$$

$$V_{\min} = 42,10 \cdot \left[ 1 + (35 - 25) \cdot \frac{-0,25}{100} \right]$$

$$V_{\min} = 41 \text{ V}$$

A partir desse parâmetro é possível determinar a quantidade de módulos por *string* com segurança. Para esta obra será utilizado 228 módulos e será distribuído conforme tabela 2:

**Tabela 2 – Distribuição das strings.**

| MPPTs  | ENTRADA 1 | ENTRADA 2 |
|--------|-----------|-----------|
| MPPT 1 | 16        | 16        |
| MPPT 2 | 16        | 16        |
| MPPT 3 | 16        | 16        |
| MPPT 4 | 22        |           |
| MPPT 5 | 22        |           |
| MPPT 6 | 22        |           |
| MPPT 7 | 22        |           |
| MPPT 8 | 22        |           |
| MPPT 9 | 22        |           |

Fonte: Autoria própria (2025).

No final, obtém-se 6 *strings* com 16 módulos e 6 *strings* com 22 módulos. A distribuição ficou dessa forma, visto que, todas as MPPTs do inversor precisam estar na região de operação de tensão. Ao usar duas entradas da mesma MPPT, elas precisam ter a mesma quantidade de módulo para que as entradas não queimem devido a diferença entre os níveis de tensão.

$$V_{\max} = 22 \cdot 44,84$$

$$V_{\max} = 986,48 \text{ V}$$

$$V_{\min} = 5 \cdot 41$$

$$V_{\min} = 205 \text{ V}$$

Através dos resultados de tensões é possível usar no máximo 22 módulos em qualquer MPPT e o mínimo com 5 módulos, logo todas as exigências para o correto funcionamento do inversor foram cumpridas.

Para realizar a conexão das *strings* serão utilizados cabos de corrente contínua como os cabos flexíveis solar Corfitox 120 °C 0,6/1 kV da Corfio representado na figura 26 que estão em conformidade com a NBR 16612 – Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho – utilizando sealtubo sem alma – conduíte espiralado sem alma de aço com melhor resistência a exposição solar – com modo de instalação A e B – dois cabos unipolares encostados um ao outro, tanto na vertical quanto na horizontal – como exemplificado na figura 27. A bitola do cabo será dimensionada com o critério de queda de tensão da NBR 16690 – Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto –, como podemos observar na figura 28, que recomenda que a tensão verificada não seja superior a 3% da tensão do arranjo fotovoltaico.

$$QV = V(\%) \cdot V_{max} \quad (5)$$

$$QV = 0,03 \cdot 986,48$$

$$QV = 29,59 V$$

Onde:

- QV: Queda de tensão;
- V (%): porcentagem da queda de tensão.

Figura 26 – Catálogo cabo CC.



Fonte: Corfio.

**Figura 27 – Capacidade de condução de corrente.**  
**Capacidade de Condução de Corrente**

| Seção           | Temperatura ambiente 30°C / Temperatura no condutor em regime permanente 90°C |                  |                  |                  |                                       |                  |                  |                  |
|-----------------|---|------------------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                 | Instalação ao ar livre protegida do sol                                       |                  |                  |                  | Instalação ao ar livre exposta do sol |                  |                  |                  |
|                 | Modo de instalação  |                  |                  |                  | Modo de instalação                    |                  |                  |                  |
| mm <sup>2</sup> | A <sup>(1)</sup>  | B <sup>(2)</sup> | C <sup>(3)</sup> | D <sup>(4)</sup> | A <sup>(1)</sup>                      | B <sup>(2)</sup> | C <sup>(3)</sup> | D <sup>(4)</sup> |
| 1,5             | 24  | 23               | 27               | 23               | 20                                    | 19               | 24               | 20               |
| 2,5             | 32  | 31               | 36               | 32               | 26                                    | 26               | 32               | 26               |
| 4               | 42  | 41               | 48               | 42               | 35                                    | 34               | 42               | 35               |
| 6               | 53  | 53               | 61               | 54               | 44                                    | 43               | 53               | 45               |
| 10              | 74  | 74               | 85               | 76               | 61                                    | 60               | 74               | 62               |
| 16              | 98  | 98               | 112              | 101              | 79                                    | 79               | 97               | 83               |
| 25              | 131   | 131              | 149              | 136              | 104                                   | 105              | 127              | 110              |
| 35              | 163   | 164              | 185              | 170              | 128                                   | 130              | 157              | 137              |

(1) Dois cabos unipolares encostados um ao outro, na horizontal  
 (2) Dois cabos unipolares encostados um no outro, na vertical

**Fonte: Corfio.**

**Figura 28 – Catálogo cabo CC.**

c) a queda de tensão nos condutores;

NOTA 3 O dimensionamento dos condutores do arranjo fotovoltaico afeta a queda de tensão sob condições de carga. Esta queda de tensão pode ser particularmente significativa em arranjos fotovoltaicos com baixa tensão e alta corrente de saída. Sob condições de carga máxima, recomenda-se que a queda de tensão verificada não seja superior a 3 % da tensão do arranjo fotovoltaico em seu ponto de máxima potência (nas STC).

**Fonte: NBR 16690.**

Portanto de acordo com a fórmula 5 a queda de tensão não pode ultrapassar 29,59 V; a seguir será calculado a distância máxima permitida pelo cabo nas bitolas de 4 mm<sup>2</sup> e 6 mm<sup>2</sup>, cabos mais usuais nos projetos fotovoltaicos, utilizando as fórmulas 6 e 7 juntamente com as informações do cabo como visto na figura 29.

**Figura 29 – Capacidade de condução de corrente.**

**Dados construtivos**

| Seção nominal (mm <sup>2</sup> ) | Classe de encordoamento | Diâmetro nominal do condutor (mm) | Espessura nominal da isolamento (mm) | Espessura nominal da cobertura (mm) | Diâmetro externo nominal (mm) | Resistência elétrica máxima do condutor a 20°C (Ω/km) | Massa líquida aproximada (kg/km) |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|----------------------------------|
| 1,5                              | 5                       | 1,55                              | 0,7                                  | 0,8                                 | 4,95                          | 13,7  | 30                               |
| 2,5                              | 5                       | 1,95                              | 0,7                                  | 0,8                                 | 5,35                          | 8,21  | 40                               |
| 4                                | 5                       | 2,45                              | 0,7                                  | 0,8                                 | 5,85                          | 5,09  | 56                               |
| 6                                | 5                       | 3,05                              | 0,7                                  | 0,8                                 | 6,45                          | 3,39  | 74                               |
| 10                               | 5                       | 4,00                              | 0,7                                  | 0,8                                 | 7,60                          | 1,95  | 114                              |
| 16                               | 5                       | 5,00                              | 0,7                                  | 0,9                                 | 8,60                          | 1,24  | 170                              |
| 25                               | 5                       | 6,20                              | 0,9                                  | 1,0                                 | 10,40                         | 0,795   | 260                              |
| 35                               | 5                       | 7,75                              | 0,9                                  | 1,1                                 | 11,95                         | 0,565   | 362                              |

**Fonte: Corfio.**

$$QV = R \cdot I \quad (6)$$

$$R = \rho \cdot C \quad (7)$$

Onde

- R: Resistência do cabo;
- I: Corrente da *string*;
- $\rho$ : Resistividade do material, no caso o cobre;
- C: comprimento da *string*.

Primeiro será calculado para o cabo de 4mm<sup>2</sup>:

$$R = \frac{29,59}{13}$$

$$R = 2,28\Omega$$

$$C = \frac{2,28}{5,09}$$

$$C = 0,448km$$

Para o cabo de 4 mm<sup>2</sup> será permitido fazer *strings* de até 448 m e terá a queda de tensão recomendado pela norma. Agora o cálculo para o cabo de 6 mm<sup>2</sup>:

$$C = \frac{2,28}{3,39}$$

$$C = 0,672km$$

Para o cabo de 6mm<sup>2</sup> é permitido fazer *strings* com até 672 m, portanto para o dimensionamento será necessário estimar o comprimento das *strings* para decidir qual bitola usar.

Por fim o dimensionamento do cabo de corrente alternada na saída do inversor de 380V, será utilizado a tabela 37, 48 e 56 da NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão – pelo datasheet do inversor, a corrente máxima de saída é de 114A, logo o cabo será um BWF 70°C 750V de 70mm<sup>2</sup> da Corfio figura 30, considerando o método de instalação B1 – cabo isolado em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira – visto que, o ponto de conexão é próximo do inversor.

**Figura 30 – Catálogo cabo CC.**



**Fonte: Corfio.**

Para o neutro e o aterramento ambos terão 35mm<sup>2</sup> conforme as tabelas 37, 48 e 58 e representadas nas figuras 31, 32 e 33 respectivamente. Ambos conectados no barramento de cobre 1/4" x 1/8" para facilitar o aparafusamento dos cabos, todos os cabos utilizarão terminais de compressão.

**Figura 31 – Tabela capacidade de condução de corrente.**

| Seções nominais mm <sup>2</sup> | Métodos de referência indicados na tabela 33 |     |      |      |     |     |     |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|--|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
|                                 | A1   |     | A2   |      | B1  |     | B2  |      | C    |      | D    |      |
|                                 | Número de condutores carregados              |     |      |      |     |     |     |      |      |      |      |      |
|                                 | 2  | 3   | 2    | 3    | 2   | 3   | 2   | 3    | 2    | 3    | 2    | 3    |
| (1)                             | (2)  | (3) | (4)  | (5)  | (6) | (7) | (8) | (9)  | (10) | (11) | (12) | (13) |
| Cobre                           |  |     |      |      |     |     |     |      |      |      |      |      |
| 0,5                             | 10   | 9   | 10   | 9    | 12  | 10  | 11  | 10   | 12   | 11   | 14   | 12   |
| 0,75                            | 12   | 11  | 12   | 11   | 15  | 13  | 15  | 13   | 16   | 14   | 18   | 15   |
| 1                               | 15   | 13  | 14   | 13   | 18  | 16  | 17  | 15   | 19   | 17   | 21   | 17   |
| 1,5                             | 19   | 17  | 18,5 | 16,5 | 23  | 20  | 22  | 19,5 | 24   | 22   | 26   | 22   |
| 2,5                             | 26   | 23  | 25   | 22   | 31  | 28  | 30  | 26   | 33   | 30   | 34   | 29   |
| 4                               | 35   | 31  | 33   | 30   | 42  | 37  | 40  | 35   | 45   | 40   | 44   | 37   |
| 6                               | 45   | 40  | 42   | 38   | 54  | 48  | 51  | 44   | 58   | 52   | 56   | 46   |
| 10                              | 61   | 54  | 57   | 51   | 75  | 66  | 69  | 60   | 80   | 71   | 73   | 61   |
| 16                              | 81   | 73  | 76   | 68   | 100 | 88  | 91  | 80   | 107  | 96   | 95   | 79   |
| 25                              | 106  | 95  | 99   | 89   | 133 | 117 | 119 | 105  | 138  | 119  | 121  | 101  |
| 35                              | 131  | 117 | 121  | 109  | 164 | 144 | 146 | 128  | 171  | 147  | 146  | 122  |
| 50                              | 158  | 141 | 145  | 130  | 198 | 175 | 175 | 154  | 209  | 179  | 173  | 144  |
| 70                              | 200  | 179 | 183  | 164  | 253 | 222 | 221 | 194  | 269  | 229  | 213  | 178  |
| 95                              | 241  | 216 | 220  | 197  | 306 | 269 | 265 | 233  | 328  | 278  | 252  | 211  |

**Fonte: NBR 5410.**

**Figura 32 – Seção reduzida do neutro.**

| Seção dos condutores de fase mm <sup>2</sup> | Seção reduzida do condutor neutro mm <sup>2</sup> |
|--|---|
| S ≤ 25                                       | S   |
| 35   | 25  |
| 50   | 25  |
| 70   | 35  |
| 95   | 50  |
| 120  | 70  |
| 150  | 70  |
| 185  | 95  |
| 240  | 120   |
| 300  | 150   |
| 400  | 185   |

<sup>1)</sup> As condições de utilização desta tabela são dadas em 6.2.6.2.6.

**Fonte: NBR 5410.**

**Figura 33 – Seção do condutor de proteção.****Tabela 58 — Seção mínima do condutor de proteção**

| Seção dos condutores de fase S<br>mm <sup>2</sup> | Seção mínima do condutor de<br>proteção correspondente<br>mm <sup>2</sup> |
|---|---|
| $S \leq 16$                                       | S   |
| $16 < S \leq 35$                                  | 16  |
| $S > 35$  | S/2   |

Fonte: NBR 5410.

O aterramento será feito com 3 hastes copperweld 5/8" de 2,4 metros de altura, todas espaçadas com a mesma medida da altura da haste. Pela tabela 51 da NBR 5410, a interligação do aterramento será com cabos de cobre nu 50mm<sup>2</sup>, presas na haste com grampos de 5/8" embutidas numa caixa de inspeção, como demonstrado na figura 34.

**Figura 34 – Kit de aterramento.**

Fonte: Santil.

A proteção do circuito utiliza um disjuntor EazyPact EZC da Schneider de 125<sup>a</sup> (figura 35), acompanhados de três DPS da Clamper 275V (figura 36), um para cada fase, no neutro não há necessidade porque ele é aterrado. Para alocar todos esses componentes é necessário um quadro de comando nas dimensões 500x400x200mm com placa de montagem de 440x340mm da Andaluz (figura 37).

Figura 35 – Disjuntor EazyPact 125A



DISJUNTOR 125A 3P Ezc250N  
Ezc250N3125

Ezc250N3125

Fonte: Schneider

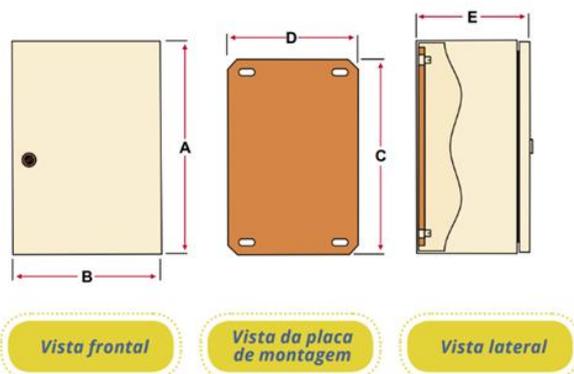
Figura 36 – Dispositivo de proteção contra surto



Fonte: Clamper

Figura 37 – Quadro de comando

| CÓD. | REF.       | DIMENSÕES (mm) |     |     |     |     |
|------|------------|----------------|-----|-----|-----|-----|
|      |            | A              | B   | C   | D   | E   |
| 650  | AN 5030-20 | 200            | 200 | 140 | 140 | 120 |
| 652  | AN 2030-12 | 200            | 300 | 140 | 240 | 200 |
| 654  | AN 3020-20 | 300            | 200 | 240 | 140 | 200 |
| 656  | AN 3030-20 | 300            | 300 | 240 | 240 | 200 |
| 658  | AN 3030-25 | 300            | 300 | 240 | 240 | 250 |
| 660  | AN 3520-15 | 350            | 200 | 290 | 140 | 150 |
| 662  | AN 4030-20 | 400            | 300 | 340 | 240 | 200 |
| 664  | AN 4040-20 | 400            | 400 | 340 | 340 | 200 |
| 666  | AN 4040-25 | 400            | 400 | 340 | 340 | 250 |
| 668  | AN 4050-20 | 400            | 500 | 340 | 440 | 200 |
| 670  | AN 5030-20 | 500            | 300 | 440 | 240 | 200 |
| 672  | AN 5040-20 | 500            | 400 | 440 | 340 | 200 |
| 674  | AN 5040-25 | 500            | 400 | 440 | 340 | 250 |
| 676  | AN 5050-20 | 500            | 500 | 440 | 440 | 200 |
| 678  | AN 5050-25 | 500            | 500 | 440 | 440 | 250 |
| 680  | AN 6040-20 | 600            | 400 | 540 | 340 | 200 |



Fonte: Andaluz

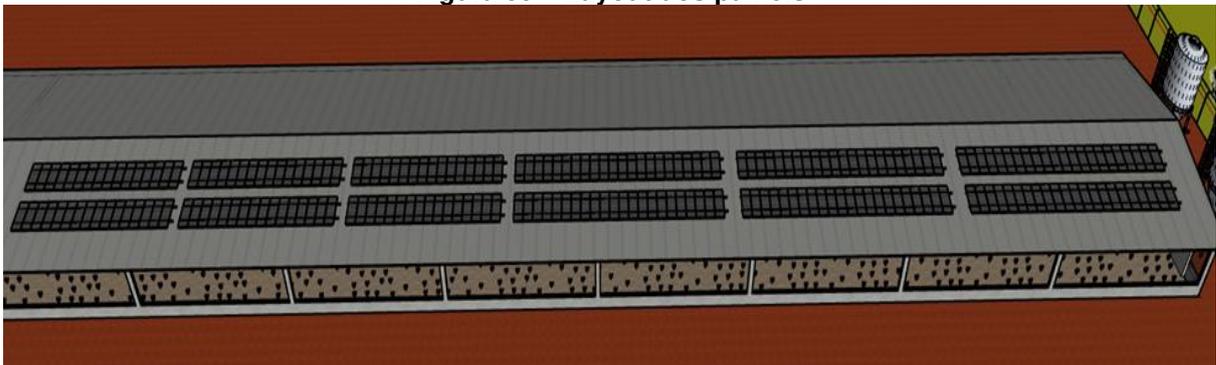
Para a instalação do sistema foi escolhido a estrutura trapezoidal de telhas metálicas para a fixação dos painéis. O conjunto vem com perfis de alumínio que vão ser fixados no telhado por grampos, os perfis são utilizados para alinhar as placas e fixar os painéis, representado na figura 38.

**Figura 38 – Estrutura telha metálica trapezoidal**

Fonte: Sunprop

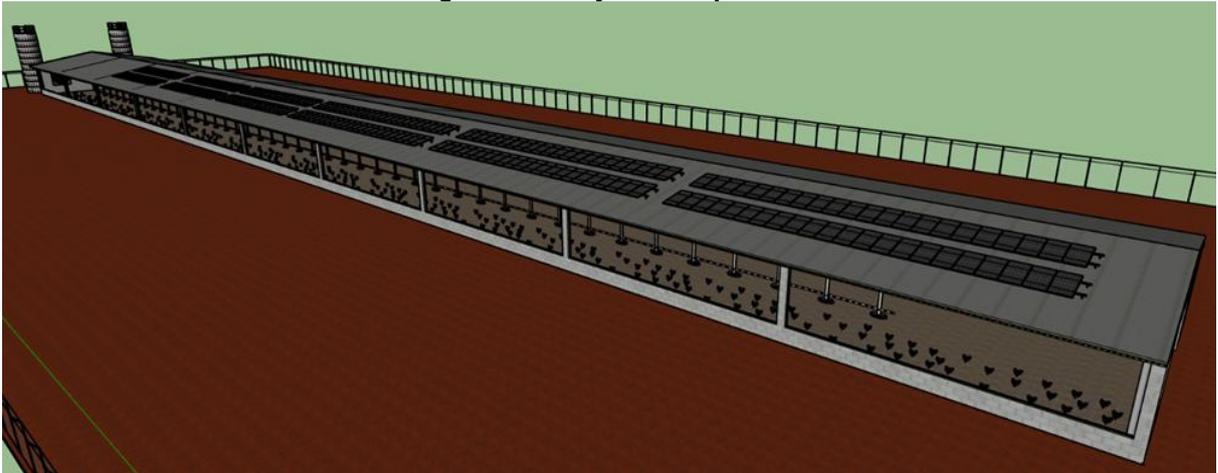
### 12.3 Layout

Rüther (2012) em sua obra "Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações" destaca exemplifica que o layout em um projeto solar é um dos fatores de grande importância para a viabilidade do projeto. Sem o desenvolvimento apropriado não há como realizar o projeto, com ele identificamos se existe área necessária para a instalação no telhado. Com a modelagem podemos otimizar a geração de energia, instalando em locais onde possui menos sombras e onde há maior captação de sol durante o dia. Na criação do projeto, os painéis são voltados preferencialmente para o norte geográfico, levando em consideração a nossa localização no hemisfério sul. Também possibilita a compreensão de objetos que podem atrapalhar na geração como árvores, antenas ou outras construções. Foi utilizado o programa SketchUp para realizar a modelagem levando em conta as dimensões reais do galpão de 17x170 metros. Na figura 39 e 40 podemos identificar as 6 *strings* com 16 placas e as 6 *strings* com 22 placas totalizando as 228 placas solares.

**Figura 39 – Layout dos painéis**

Fonte: Autoria própria

**Figura 40 – Layout dos painéis**



**Fonte: Autoria própria**

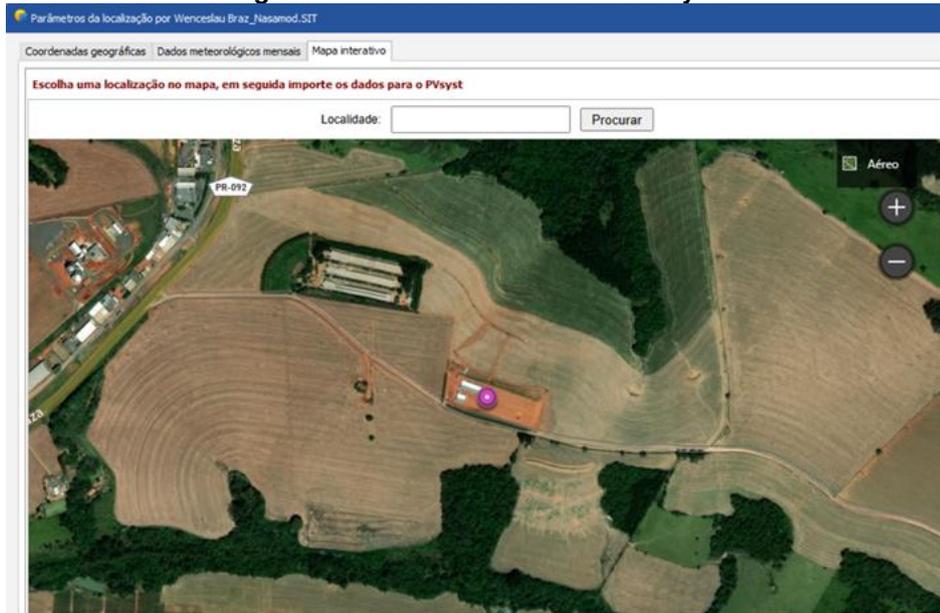
## 12.4 Simulação do sistema

No estudo da viabilidade e planejamento de sistemas solares, é importante calcular e simular antes da instalação dos sistemas. Com o software de simulação é possível levar em consideração diversos fatores como sombreamentos de obstáculos e a inclinação dos painéis para calcular a produção de energia. No projeto foi optado por utilizar a simulação para obter a produção e as possíveis perdas dos sistemas assim chegando em um resultado mais próximo ao real.

- PVSyst: No projeto foi escolhido o software PVSyst. Amplamente utilizado para simular e analisar projetos solares, ele foi escolhido devido a sua base de dados climáticas detalhada, radiação solar global, análise detalhada de perdas e sua precisão que de acordo com estudos possui um erro médio entre 5% e 10% (Brito et al., 2019). O erro pode variar dependendo da qualidade dos dados fornecidos, quanto maior a precisão dos dados mais próximo a simulação vai estar da geração real.

Na simulação do PVSyst um dos fatores de maior importância são os dados do local. Para isso utiliza-se os dados do banco de dados meteorológicos da NASA fornecidos pelo programa, juntamente com os dados do CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - de irradiação solar para aproximar dos dados reais. No programa foi selecionado o local que será realizado o estudo e o projeto do sistema solar. Como pode-se observar na figura 41. Após isso, os dados do local foram extraídos do repositório do PVSyst como demonstrado na figura 42.

**Figura 41 – Local de estudo no PVsyst.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 42 – Dados meteorológicos do local disponibilizados pelo PVsyst.**

|            | <b>Irradiação horizontal total</b> | <b>Irradiação difusa horizontal</b> | <b>Temperatura</b> | <b>Humidade relativa</b> |
|------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------|
|            | <b>kWh/m<sup>2</sup>/dia</b>       | <b>kWh/m<sup>2</sup>/dia</b>        | <b>°C</b>          | <b>%</b>                 |
| Janeiro    | 5.71                               | 2.58                                | 23.4               | 79.8                     |
| Fevereiro  | 5.69                               | 2.35                                | 23.3               | 80.3                     |
| Março      | 5.08                               | 1.99                                | 22.7               | 78.8                     |
| Abril      | 4.43                               | 1.52                                | 21.3               | 77.7                     |
| Mai        | 3.53                               | 1.24                                | 18.4               | 77.6                     |
| Junho      | 3.16                               | 1.04                                | 17.3               | 78.4                     |
| Julho      | 3.40                               | 1.04                                | 17.3               | 72.5                     |
| Agosto     | 4.38                               | 1.26                                | 19.4               | 62.6                     |
| Setembro   | 4.57                               | 1.79                                | 20.9               | 64.4                     |
| Outubro    | 5.16                               | 2.17                                | 22.3               | 68.6                     |
| Novembro   | 5.92                               | 2.44                                | 22.6               | 72.5                     |
| Dezembro   | 6.20                               | 2.61                                | 23.2               | 75.8                     |
| <b>Ano</b> | <b>4.76</b>                        | <b>1.83</b>                         | <b>21.0</b>        | <b>74.1</b>              |

Fonte: Autoria própria.

O software foi alimentado com as informações calculadas anteriormente. A quantidade placas solares e a potência do inversor, além dos modelos que foram utilizados para obter uma simulação mais específica e precisa para o usuário. Pode-se observar na figura 43 o preenchimento das características do projeto no programa. Com o sistema especificado é necessário modelar o local de instalação dos painéis, considerando a sua inclinação e sua orientação geográfica. Para isso utiliza-se como referência o modelo 3D da granja realizado no SketchUp. Pode-se observar o arranjo dos painéis na figura 44, o estudo da orientação das placas na figura 45 e a simulação das sombras na figura 46

Figura 43 – Preenchimento das características do projeto no PVSyst

**Lista dos subgrupos**

| Nome                          | #Mód #Inv. | #String #MPPT |
|-------------------------------|------------|---------------|
| Grupo FV                      |            |               |
| Astronergy - CHSM72N(DG),F... | 22         | 6             |
| Sols - Sols-79K-5G-US         | 1          | 8             |
| Sub-grupo #2                  |            |               |
| Astronergy - CHSM72N(DG),F... | 16         | 6             |
| Sols - Sols-79K-5G-US         | 1          | 6             |

**Resumo do sistema global**

|                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| N.º de módulos      | 228                |
| Superfície módulos  | 589 m <sup>2</sup> |
| N.º de inversores   | 1,8                |
| Potência nominal FV | 125 kWp            |
| Potência AC nominal | 131 kWAC           |
| Rácio Pnom          | 0,955              |

**Sub-grupo #2**

**Seleção a orientação**  
Orientação: Fixada, Incl. 20.0°, Azim. -19.0°

**Seleção do módulo FV**  
Módulo: Astronergy 550 Wp 35V Si-mono CHSM72N(DG),F-BH-550 Desde 2023

**Seleção do inversor**  
Tensão de saída: 480 V Tri 60Hz  
Sols: 75 kW 180 - 1000 V TL 60 Hz Sols-79K-5G-US Desde 2020

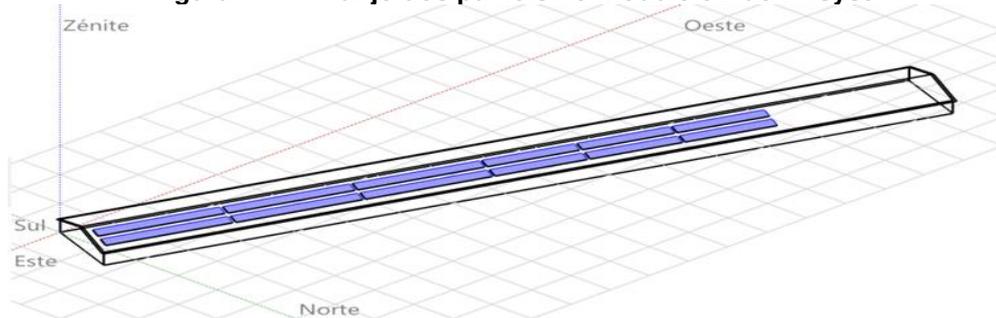
**Dimensionamento do grupo**  
Número de módulos e strings: Mod. em série 16, Nr. strings 6

**Condições de funcionamento**  
Vmp (60°C): 592 V  
Vmp (20°C): 679 V  
Vco (-10°C): 872 V

**Resumo do grupo**  
Irradián. no plano: 1000 W/m<sup>2</sup>  
Imp (STC): 78.5 A  
Isc (STC): 83.2 A  
Potência nom. grupo (STC): 52.8 kWp

Fonte: Autoria própria

Figura 44 – Arranjo dos painéis no modelo 3D do PVSyst



Fonte: Autoria própria

Figura 45 – Estudo da orientação das placas

**Gestão das orientações**

O PVSyst utiliza orientações para calcular o fator de transposição. Cada orientação deve estar vinculada a pelo menos um subgrupo da parte Sistema. Quando se define um desenho 3D, as áreas 3D de cada orientação devem coincidir com as definidas no Sistema!

**Orientação #1 - Fixada, Incl. 20.0°, Azim. -19.0°**

Tipo de campo: Inclinação do plano fixa

Nome: Fixada, Incl. 20.0°, Azim. -19.0°

Superfície módulos: Sistema 589 m<sup>2</sup>, Desenho 3D 589 m<sup>2</sup>, 228 módulos

Parâmetros do campo:  
Inclinação do plano: 20.0°  
Azimute: -19.0°  
Inclinação da base: 0.0°

**Otimização rápida**  
Otimização em relação a:  
 Rendimento anual  
 Verão (Out-Mar)  
 Inverno (Abr-Set)

**Irradiação incidente anual**  
Fator de transposição: 1.08  
Perda em relação ao ótimo: -1.1%  
Global no plano dos módulos: 1883 kWh/m<sup>2</sup>

**Gráficos de desempenho:**  
Gráfico 1: Fator de transposição vs. Inclinação do plano (0° a 90°).  
Gráfico 2: Fator de transposição vs. Orientação do plano (-90° a 90°).

Fonte: Autoria própria

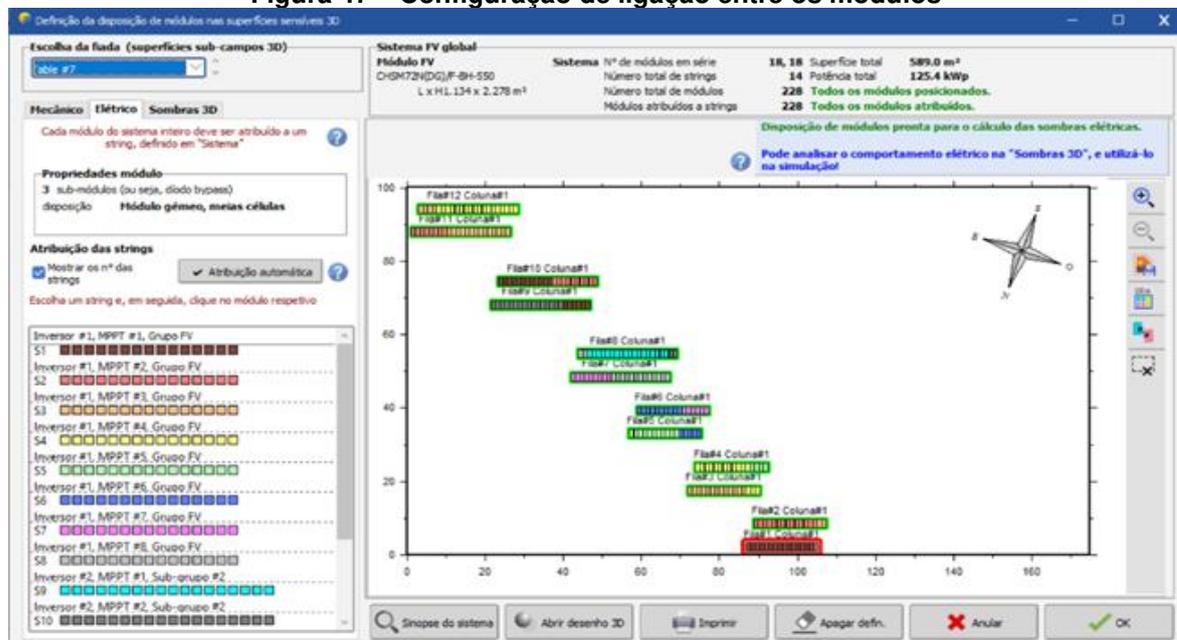
**Figura 46 – Simulação e cálculo das sombras**



Fonte: Autoria própria

A partir do cálculo da orientação e da modelagem do sistema. O último passo antes da simulação consiste na determinação da configuração de ligação entre os módulos que compõem o sistema, conforme mostrado na figura 47.

**Figura 47 – Configuração de ligação entre os módulos**

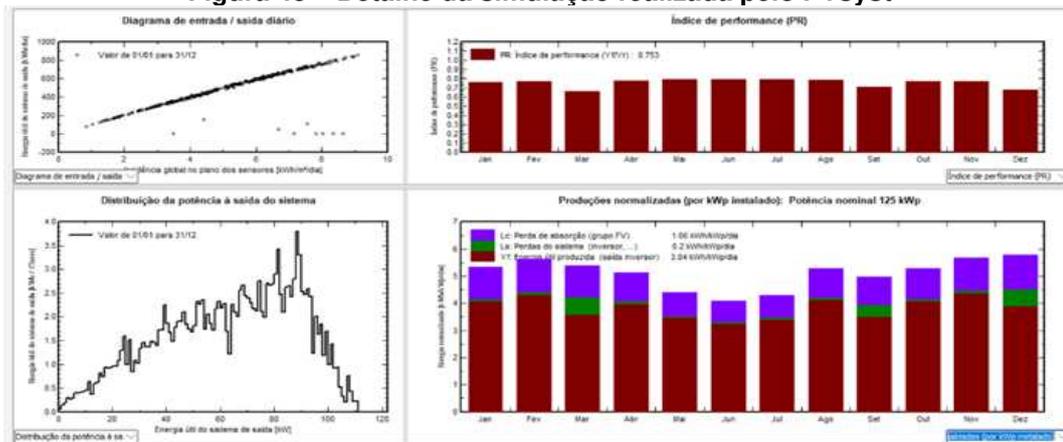


Fonte: Autoria própria

Por fim, após concluir todo o processo, é possível realizar a simulação do sistema, conforme detalhado na figura 48. O PVsyst gera um relatório que contém

todas as informações inseridas durante o procedimento, bem como os resultados obtidos ao longo de um ano. Além da geração o programa realizou os cálculos das possíveis perdas dos sistemas entre elas a degradação das placas solares, temperatura, perdas pela conversão de energia no inversor, sujidade e perdas ôhmicas da cablagem. Os principais resultados da simulação computacional são apresentados na tabela 3.

**Figura 48 – Detalhe da simulação realizada pelo PVsyst**



Fonte: Autoria própria

**Tabela 3 – Resultados obtidos PVSyst**

| Mês       | Irradiação<br>(kWh/m <sup>2</sup> . mês) | Energia estimada<br>(kWh) | Performance Ratio<br>(%) |
|-----------|--|---------------------------|--------------------------|
| Janeiro   | 177                                      | 15.860                    | 76,30                    |
| Fevereiro | 159,3                                    | 15.200                    | 76,80                    |
| Março     | 157,5                                    | 13.960                    | 66,50                    |
| Abril     | 132,9                                    | 15.030                    | 77,90                    |
| Maió      | 109,4                                    | 13.520                    | 79,30                    |
| Junho     | 94,8                                     | 12.240                    | 79,20                    |
| Julho     | 105,4                                    | 13.230                    | 79,70                    |
| Agosto    | 135,8                                    | 16.070                    | 78,40                    |
| Setembro  | 137,1                                    | 13.230                    | 70,70                    |
| Outubro   | 160                                      | 15.870                    | 77,30                    |
| Novembro  | 177,6                                    | 16.500                    | 77,30                    |
| Dezembro  | 192,2                                    | 15.130                    | 67,40                    |
| Média mês | 144,9                                    | 14.653                    | 75,57                    |

Fonte: Autoria própria (2025)

Considerando os dados obtidos, nota-se que a média da produção de energia e a *performance ratio* estimados pelo PVSyst foi de 14.653 kWh/mês e 75,57%, respectivamente, considerando a média do período de janeiro de 2024 até dezembro de 2024. A partir de tais dados é possível inferir que o sistema apresentará 24,43% de perdas. Com a geração pode-se implicar que o projeto em questão consegue sustentar totalmente a produção média das granjas de 11.020,75 kWh com uma sobra de 32,96% de energia gerada. No entanto comparando mês a mês da geração com o consumo, pode-se notar que nos meses de maior consumo o sistema não consegue suprir 100% da demanda. É importante conseguir uma geração maior em meses onde a demanda é menor para criar excedente que possa ser utilizado em meses de maior consumo. O sistema foi feito com uma maior geração para futuras necessidades do cliente em questão, caso haja necessidade de maior demanda e levando em conta a degradação do sistema onde vai perdendo a eficiência com o decorrer do tempo. Além disso, foi possível verificar que o sistema solar pode reduzir a emissão de 2,2 toneladas de gás carbônico por ano.

### 13 CUSTOS DO SISTEMA E PAYBACK

Após o projeto, realizou-se os cálculos do custo do sistema. No entanto, os valores do sistema podem variar dependendo da região onde vai ser realizado o projeto, devido à variação de valores de serviços, no preço do kit fotovoltaico, frete e fornecedores diferentes. Com o objetivo de deixar o projeto mais amplo e inclusivo para os diversos estados do Brasil, foi utilizado o estudo da Greener para realizar estimativa dos custos. O estudo levou em consideração a média de todos os estados brasileiros, tornando o projeto mais aplicável para as demais regiões. Podemos visualizar a pesquisa através da figura 49.

**Figura 49 - Valores de sistema solar por Wp**



Fonte: Greener (2024)

Através dos estudos da Greener, temos o custo médio do sistema obtido por meio de pesquisas com milhares de empresas do ramo solar. Levando em consideração os 125,4 kWp do projeto, obtém-se através da pesquisa o valor de R\$ 2,41 para cada Wp. O valor é composto pelo projeto final, ou seja, contempla as placas solares, inversores, cabos, estruturas de fixação, os diversos materiais utilizados, mão de obra, projeto e homologação. Aplicando-se a média do Wp pelo projeto, temos:

$$Custo\ total = wp \times 2,41 \frac{1}{wp}$$

$$Custo\ total = 125,4 \times 1000 \times 2,41$$

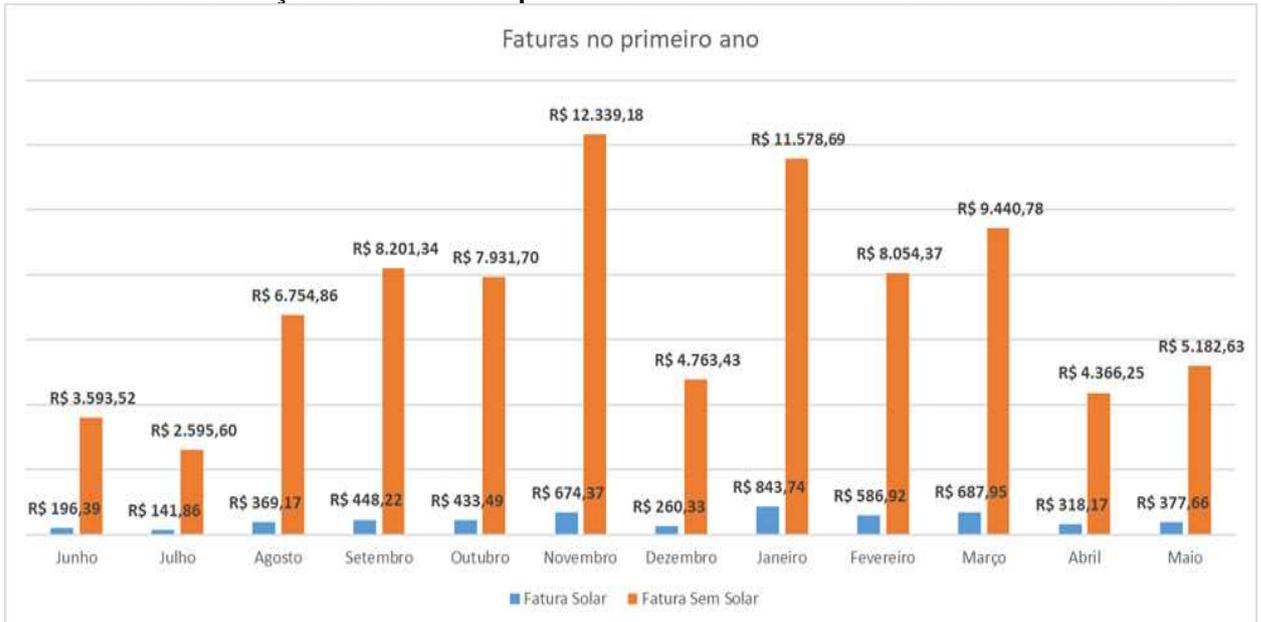
$$Custo\ total = R\$ 302.214,00$$

O valor final de todo o sistema calculado foi de R\$ 302.214,00.

### 13.1 Payback

No cálculo do *payback*, é importante levar em consideração a lei 14.300, onde é cobrado o valor do Fio B respectivo do que é injetado na rede, ou seja, tudo o que é gerado no sistema e não é consumido no momento. As granjas possuem uma simultaneidade de 50%. Equipamentos da granja funcionam tanto no período diurno quanto noturno, isso significa que metade da geração fotovoltaica no dia é injetada na rede e o excedente, na forma de créditos, são consumidas durante a noite onde não há geração. No caso da granja temos que a taxa do Fio B é calculado em cima de 50% do consumo.

No projeto, para aproximar mais da realidade, é levado em consideração o valor inicial da conta de luz da Copel e uma inflação anual de 4%, alterando o valor das tarifas e modificando o *payback*. Levando em consideração os cálculos da geração a partir do mês de junho de 2025 até dezembro de 2029, respectivamente o início de geração do sistema e o último mês de vigência da cobrança atual da 14.300. Após esse período, haverá alterações nas cobranças impossibilitando os cálculos posteriores dessa data, visto que ainda não há informações de como serão realizados os cálculos da nova cobrança. O sistema ainda continuará a funcionar e gerará economia para a granja. No gráfico 1, temos os valores comparativos das faturas com o sistema instalados e sem o sistema instalado no período de 1 ano. Pode-se notar uma economia média de 94% do valor da fatura com o sistema solar. A economia com o tempo será reduzida até o ano de 2029, onde temos uma economia de 88%, devido ao acréscimo do Fio B.

**Gráfico 1 – Simulação das faturas do primeiro ano com sistema solar x sem sistema solar**

Fonte: Autoria própria (2025)

Com os valores da economia mensal, calcula-se o tempo de retorno do sistema. Verifica-se no gráfico 2 que o ponto de ruptura de investimento, onde os rendimentos superam o valor investido, ocorre a partir de 2029, totalizando 3 anos e 7 meses para obter o retorno do investimento.

**Gráfico 2 – Payback do sistema**

Fonte: Autoria própria (2025)

Como dito anteriormente, no ano de 2030 não temos informações de como será realizado a cobrança da energia injetada na rede; no entanto, pode-se estipular e utilizar como referência a atual lei 14.300 e estabelecer o valor de 100% do Fio B para

os demais anos. Obtendo o retorno estimado em 15 anos após a instalação do sistema, considerando a vida útil dos equipamentos. Pode-se verificar na figura 51 que a economia em 15 anos foi de R\$ 1.502.988,10; retirando o valor do sistema, temos um rendimento de R\$ 1.200.774,10; gerando uma rentabilidade de aproximadamente 9,7% ao ano.

**Tabela 4 – Economia por ano**

| <b>Mês</b> | <b>Consumo (kWh)</b> |              |
|------------|----------------------|--------------|
| 2025       | R\$                  | 43.655,80    |
| 2026       | R\$                  | 80.335,39    |
| 2027       | R\$                  | 81.907,13    |
| 2028       | R\$                  | 83.476,07    |
| 2029       | R\$                  | 85.631,35    |
| 2030       | R\$                  | 89.056,60    |
| 2031       | R\$                  | 92.618,87    |
| 2032       | R\$                  | 96.323,62    |
| 2033       | R\$                  | 100.176,57   |
| 2034       | R\$                  | 104.183,63   |
| 2035       | R\$                  | 108.350,97   |
| 2036       | R\$                  | 112.685,01   |
| 2037       | R\$                  | 117.192,41   |
| 2038       | R\$                  | 121.880,11   |
| 2039       | R\$                  | 126.755,32   |
| 2040       | R\$                  | 58.759,24    |
| Total      | R\$                  | 1.502.988,10 |

**Fonte: Autoria própria (2025)**

Para comparações antes da implementação da lei, a economia média da fatura poderia chegar até 99%, visto que, anteriormente seria cobrado apenas o consumo mínimo do trifásico, no caso 100 kWh, equivalente ao valor final de 63 reais nas faturas do primeiro ano. Além disso, obtemos um *payback* de 3 anos e 6 meses e um rendimento estimado de R\$ 1.378.503,56 em 15 anos. O sistema, antes da lei 14.300 tem um rendimento de 10,7% ao ano; ou seja, em comparação após a lei o rendimento caiu 1% ao ano, gerando um *payback* maior com 1 mês de diferença e um lucro estimado menor de R\$ 177.729,46 após 15 anos. Apesar da diminuição do rendimento do sistema ainda se vê lucrativo.

## 13.2 Financiamentos

Com os valores calculados, é importante levar em consideração financiamentos e incentivos que possam facilitar ao produtor realizar o projeto, visto que, nem todos os produtores possuem o dinheiro para realizar a compra e a instalação de um sistema.

Como o projeto é realizado no estado do Paraná, foram pesquisadas linhas de financiamento e incentivos do estado. Para o produtor do estado, existe a possibilidade de financiar o projeto com o RenovaPR, que tem como objetivo facilitar ao produtor acesso a energias renováveis. O programa foi desenvolvido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O programa possui juros zero para projetos até R\$ 500 mil, com um prazo de pagamento de 10 anos para os produtores rurais.

Para os demais estados brasileiros, há outros programas e incentivos estaduais. Existe o financiamento do governo federal, o PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar), que engloba todo o território nacional. O programa é destinado a pequenos produtores e familiares, oferecendo condições de crédito diferenciadas para a modernização e expansão dos empreendimentos rurais, com juros de 6% ao ano e prazos de até 10 anos. Representa uma boa opção para os produtores de outros estados.

Como visto, o RenovaPR é uma excelente opção para os produtores realizarem o projeto, maximizando os benefícios econômicos e ambientais para a granja ao longo do prazo. Para os demais agropecuaristas, é aconselhável pesquisar e se orientar sobre outros programas de incentivos e financiamentos para melhorar o retorno financeiro.

## 14 CONCLUSÃO

A implementação de um sistema fotovoltaico é uma alternativa viável e altamente benéfica para os produtores de frango. Ao decorrer do trabalho foi possível comprovar a compatibilidade e a eficiência da implementação do sistema nas granjas. O estudo tem como principal foco comprovar aos demais produtores que o investimento em fontes alternativas de energia pode melhorar a eficiência econômica da produção. A energia solar, além de reduzir significativamente os custos operacionais, proporciona uma maior sustentabilidade ao setor

O estudo proporcionou ferramentas e conhecimentos das principais necessidades para a instalação de um sistema solar em granjas, análise do local e dimensionamento dos equipamentos. Através de simulações e modelagem foi analisado diversos fatores que podem alterar a geração final. Por meio do SketchUp e do PVsyst obteve-se o melhor layout para o projeto, alcançando uma geração maior do que o consumo média. Contemplando 100% da necessidade atual da unidade e mais aproximadamente 33% do excedente para futuras novas cargas. Apesar do alto investimento inicial, a geração reduziu os custos da tarifa de luz em mais de 90%, obtendo um retorno a partir de 3 anos e 7 meses, representando um período curto. Atrelando o investimento a um empréstimo ou incentivo, potencializa-se o retorno e facilita a entrada para essas novas tecnologias. Além da economia, o sistema contribui para a redução da emissão de carbono, eliminando a liberação de aproximadamente 2,2 toneladas de CO<sub>2</sub> ao ano, alinhando a marca com a sustentabilidade.

É importante reiterar que o estudo e o retorno podem ser diferentes dependendo do local de instalação e dos valores praticados no local. Além da diferença em valores do projeto, a geração de energia pode variar conforme a localização. Regiões com maior irradiação solar geram um *payback* mais eficiente, e locais com baixa irradiação acarretam em uma menor geração, logo, menor retorno financeiro. No entanto, a implementação ainda se vê benéfica para todos os produtores. No exemplo do estudo, foi realizado em um local onde a irradiação é menor que a média nacional de 5,153 Wh/m<sup>2</sup>, disponibilizada pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. Demonstrando o potencial viável mesmo em condições menos favoráveis.

Portanto, conclui-se que a energia solar representa uma solução promissora para o setor da avicultura, tanto a viabilidade econômica e ambiental. Sendo uma alternativa para um desenvolvimento mais sustentável no campo, alinhado com as novas tendências do mercado em procurar um crescimento mais verde. Com uma rentabilidade de aproximadamente 10% ao ano, o investimento se vê benéfico ao decorrer do tempo. Espera-se que este trabalho sirva de referência e incentivo para os produtores, fortalecendo o agronegócio brasileiro com uma visão mais sustentável e rentável.

## REFERÊNCIAS

- BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis.** Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos. Tradução: Sônia Midori Yamamoto. Revisão técnica: Alceu Ferreira Alves. 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.
- SHOCKLEY, William; QUEISSER, J. Hans.** Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells. *Journal of Applied Physics*, 1961.
- MARQUES, Ângelo Eduardo B.; CRUZ, Eduardo Cesar A.; JR., Salomão C.** Dispositivos Semicondutores: Diodos e Transistores. 13. ed. Rio de Janeiro: Érica, 1998. E-book. p.32. ISBN 9788536518374. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536518374/>.
- VIAN, Ângelo.** Energia Solar Fundamentos Tecnologia e Aplicações. São Paulo: Editora Blucher, 2021. E-book. p.52. ISBN 9786555500592. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555500592/>.
- NASCIMENTO, L. A. B. do; LAFAY, J. M.** O uso de fontes renováveis na avicultura de corte: sustentabilidade de um aviário dark house. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR - CBENS, 2010. Anais... [S.l.: s.n.], 2010.
- CASA E MERCADO.** Para além da orientação solar, jan. 2022. Disponível em: <https://casaemercado.com.br/para-alem-da-orientacao-solar/>. Acesso em: 20 jul. 2024.
- COGERA ENERGIA.** Problemas que podem ocorrer em uma usina solar e como evitá-los, out. 2021. Disponível em: <https://cogera.com.br/problemas-que-podem-ocorrer-em-uma-usina-solar/>. Acesso em: 23 jul. 2024.
- NETO, Antônio Garcia L.** Cuidado com a instalação de Placas Solares em telhados que fazem sombras, ago. 2023. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/cuidado-com-instala%C3%A7%C3%A3o-de-placas-solares-em-telhados-garcia-l-neto/>. Acesso em: 25 jul. 2024.
- ENERGÊS.** Como Minimizar o Efeito da Sombra, jul. 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/como-minimizar-o-efeito-da-sombra/>. Acesso em: 28 jul. 2024.
- NORTHSUN ENGENHARIA.** Energia Solar Fotovoltaica: Nublado, Frio e Chuva gera Energia?, fev. 2020. Disponível em: <https://www.northsun.com.br/energia-solar-nublado-frio-e-chuva/>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- CANAL SOLAR.** Diodos de bypass e hot spots dos módulos fotovoltaicos, out. 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/diodos-de-bypass-e-hot-spots-dos-modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- ENERGÊS.** Novos limites de potência instalada nos sistemas de energia solar, out. 2022. Disponível em: <https://energes.com.br/limite-de-potencia/>. Acesso em: 2 ago. 2024.
- USINAS BRASIL ENERGIA RENOVÁVEIS.** A solução inteligente em energia solar. Disponível em: <https://usinasbrasil.com.br/>. Acesso em: 2 ago. 2024.

**NEOSOLAR.** Energia solar fotovoltaica: tudo sobre, jul. 2021. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 12 nov. 2024.

**BRASIL ESCOLA.** Petróleo. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/petroleo.htm>. Acesso em: 25 nov. 2024.

**GNPW.** Energia solar no Brasil ultrapassa 3 milhões de instalações, impulsionando matriz energética sustentável. Disponível em: <https://www.gnpw.com.br/energia-fotovoltaica/energia-solar-no-brasil-ultrapassa-3-milhoes-de-instalacoes-impulsionando-matriz-energetica-sustentavel/>. Acesso em: 5 dez. 2024.

**ANDRADE, Adinei Melges de.** A tecnologia do silício, silício grau eletrônico, processos czochralski e fusão zonal flutuante. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5574841/mod\\_resource/content/1/A%20tecnologia%20de%20obten%C3%A7%C3%A3o%20do%20sil%C3%ADcio%20mono%20cristalino%20v2.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5574841/mod_resource/content/1/A%20tecnologia%20de%20obten%C3%A7%C3%A3o%20do%20sil%C3%ADcio%20mono%20cristalino%20v2.pdf). Acesso em: 5 dez. 2024.

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA.** Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023, set. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>. Acesso em: 6 jan. 2024.

**BRASIL.** Lei 14300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), [2023]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm). Acesso em: 6 jan. 2024.

**NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY.** Perovskite Solar Cells, fev. 2017. Disponível em: <https://www.nrel.gov/pv/perovskite-solar-cells.html>. Acesso em: 6 jan. 2025.

**APPLIED PHYSICS REVIEWS.** Challenges in the design of concentrator photovoltaic (CPV) modules to achieve highest efficiencies, nov. 2019. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aip/apr/article-abstract/5/4/041601/998839/Challenges-in-the-design-of-concentrator?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 6 jan. 2025.

**CANAL SOLAR.** Como é feito um painel solar?, nov. 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YDV2NgAhCVw&t=929s>. Acesso em: 5 jan. 2025.

**PAIXÃO, Barbara; BRANDÃO, Danilo; FERNANDES, Nicolas; LOPES, Bruno; UTURBEY, Wadaed.** Comparação de vida útil entre bancos de baterias de íon-lítio e chumbo-ácido no contexto da compensação de energia com fotovoltaicos e tarifa branca. Disponível em: [https://www.sba.org.br/open\\_journal\\_systems/index.php/sbse/article/view/2153/1883](https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/2153/1883). Acesso em: 8 jan. 2025.

**NEOSOLAR.** Equipamentos do kit solar I neosolar. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/kit-solar>. Acesso em: 8 jan. 2025.

**NBR 5410.** Instalações elétricas de baixa tensão. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/23327/abnt-nbr5410-instalacoes-eletricas-de-baixa-tensao>. Acesso em: 11 jan. 2025.

**DATASHEET SOLIS 75K.** Inversores trifásicos on-grid da solis. Disponível em: [https://www.solisinverters.com/br/solarinverter16/75-110k\\_5g-pro\\_br.html](https://www.solisinverters.com/br/solarinverter16/75-110k_5g-pro_br.html). Acesso em: 11 jan. 2025.

**CANAL SOLAR.** Estudo de caso: queda de tensão no circuito de CC segundo a NBR 16690. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/estudo-de-caso-queda-de-tensao-no-circuito-de-cc-segundo-a-nbr-16690/>. Acesso em: 11 jan. 2025.

**CORFIO.** Fios e cabos elétricos. Disponível em: [https://www.corfio.com.br/documentos/Catalogo\\_de\\_Produtos-Corfio.pdf](https://www.corfio.com.br/documentos/Catalogo_de_Produtos-Corfio.pdf). Acesso em: 11 jan. 2025.

**SANTIL.** Kit de aterramento. Disponível em: <https://www.santil.com.br/produto/kit-aterramento-haste-58-x-240-metros-comercial-olivo-conector-58-caixa-de-inspecao-pvc-conica-com-tampa/5510630?srsId=AfmBOopCegTxI6wnKYY6U2WCiOgGOI80POJy9SCVz1whj9CEkzDOOVEH>. Acesso em: 11 jan. 2025.

**SCHNEIDER.** Disjuntor 125A 3P EZC250N EZC250N3125. Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/product/EZC250N3125/disjuntor-125a-3p-ezc250n-ezc250n3125/>. Acesso em: 11 jan. 2025.

**ANDALUZ.** Catálogo de produtos. Disponível em: <https://andaluz.ind.br/wp-content/uploads/2021/07/Catalogo-de-Produtos.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2025.

**CLAMPER.** Protetor contra surtos (DPS) para quadros elétricos - CLAMPER Front V 45kA – 275V. Disponível em: <https://www.lojaclamper.com.br/clamper-front-v-45ka/p>. Acesso em: 11 jan. 2025.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL.** Relatório Anual 2023. São Paulo: ABPA, 2023. Disponível em: [https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/relatorioanual\\_abpa\\_2023.pdf](https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/relatorioanual_abpa_2023.pdf). Acesso em: 11 jan. 2025.

**OPRESENTE RURAL.** Brasil é o segundo maior produtor de frangos do mundo e maior exportador. Disponível em: <https://opresenterural.com.br/brasil-e-o-segundo-maior-produtor-de-frangos-do-mundo-e-maior-exportador/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

**IDR PARANÁ.** RenovaPR já viabilizou 6.662 projetos de energia sustentável em propriedades rurais. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/RenovaPR-ja-viabilizou-6662-projetos-de-energia-sustentavel-em-propriedades-rurais>. Acesso em: 20 set. 2024.

**ABSOLAR.** Agronegócio já responde por 13,1% da energia solar do país. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/agronegocio-ja-responde-por-131-da-energia-solar-do-pais/>. Acesso em: 10 out. 2024.

**ABSOLAR.** Participação do solar na matriz elétrica sobe de 11,6% para 17% em um ano. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/https-canalsolar-com-br>

participacao-da-solar-na-matriz-eletrica-sobe-de-116-para-17-em-um-ano/. Acesso em: 12 jan. 2025.

**ANEEL.** Resolução Normativa nº 1.059/2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>. Acesso em: 18 jan. 2025.

**AIRWAY.** Ventilador para galpão de frango. Disponível em: <https://www.airway.ind.br/ventilador-galpao-frango>. Acesso em: 22 jan. 2025.

**FANCOM.** Agricultural lighting for broiler farms. Disponível em: <https://www.fancom.com/blog/agricultural-lighting-broiler-farm>. Acesso em: 25 jan. 2025.

**ARCOTHERM.** Saiba mais sobre os tipos de comedouros para galinhas. Disponível em: <https://arcotherm.com.br/saiba-mais-sobre-os-tipos-de-comedouros-para-galinhas/>. Acesso em: 28 jan. 2025.

**TESTAR ENERGIA.** Selo solar: o que é e como adquirir o seu. Disponível em: <https://www.testarienergia.com.br/selo-solar-o-que-e-e-como-adquirir-o-seu/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

**INPE.** Atlas Brasileiro de Energia Solar. Disponível em: [http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao\\_rev-01-compactado.pdf](http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_rev-01-compactado.pdf). Acesso em: 1 fev. 2025.

**MF ENERGY.** Sistema fotovoltaico sombreado parcialmente gera energia. Disponível em: <https://mfenergy.com.br/2023/06/27/sistema-fotovoltaico-sombreado-parcialmente-gera-energia/>. Acesso em: 2 fev. 2025.

**SUNERGIA.** Redução do efeito das sombras nos módulos fotovoltaicos. Disponível em: <https://sunergia.com.br/blog/reducao-do-efeito-das-sombras-nos-modulos/>. Acesso em: 2 fev. 2025.

**NDIAYE, A. et al.** PV module discoloration: causes and effects. *Renewable Energy*, v. 55, p. 347-352, 2013.

**SUNPROP.** Estrutura P-3 para painel solar em telha metálica trapezoidal. Disponível em: <https://www.sunprop.com.br/conectores/estrutura-p-3-painel-placa-solar-telha-metalica-trapezoidal>. Acesso em: 3 fev. 2025.

**ABSOLAR.** Pequeno agricultor tem crédito para energia solar. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/pequeno-agricultor-tem-credito-para-energia-solar/>. Acesso em: 3 fev. 2025.

**BNDES.** Pronaf Mais Alimentos. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/pronaf-mais-alimentos>. Acesso em: 3 fev. 2025.

**ESTUDO ESTRATÉGICO: GERAÇÃO DISTRIBUÍDA 2024 | Dados do 1o semestre 2024 / setembro 2024.** Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-setembro-2024-dados-do-2o-semester-2024/>. Acesso em: 11 jan. 2025.

**PORTAL SOLAR.** Folha de dados do painel solar: o que você precisa saber. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/folha-de-dados-do-painel-solar-o-que-voce-precisa-saber.html>. Acesso em: 20 fev. 2025.

**ALDO.** O que são painéis monocristalinos e quais são suas vantagens? Blog Aldo, [s.d.]. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/blog/o-que-sao-paineis-monocristalinos-e-quais-sao-suas-vantagens/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

**CANAL SOLAR.** Energia solar pode reduzir 6 bilhões de toneladas de CO2 até 2050. Canal Solar, [s.d.]. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-pode-reduzir-6-bilhoes-de-toneladas-de-co2-ate-2050/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

**HEPEL.** Painel solar fotovoltaico monocristalino e policristalino: qual a diferença? Hepel, [s.d.]. Disponível em: <https://hepel.com.br/painel-solar-fotovoltaico-monocristalino-e-policristalino-qual-a-diferenca/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

**LIGADOS E INTEGRADOS.** Automação traz sustentabilidade e redução de perdas na avicultura. Canal Rural, [s.d.]. Disponível em: <https://ligadoseintegrados.canalrural.com.br/avicultura/automatizacao-traz-sustentabilidade-e-reducao-de-perdas-na-avicultura/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

**NATURE'S GENERATOR.** Solar Panel Series vs Parallel. Nature's Generator, [s.d.]. Disponível em: <https://naturesgenerator.com/blogs/news/solar-panel-series-vs-parallel>. Acesso em: 20 fev. 2025.

**PORTAL SOLAR.** Vantagens e desvantagens do painel solar de filme fino. Portal Solar, [s.d.]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-do-painel-solar-de-filme-fino>. Acesso em: 20 fev. 2025.

**SOLAR CALCULATOR.** How Solar Batteries Work. Solar Calculator, [s.d.]. Disponível em: <https://solarcalculator.com.au/battery-storage/how-solar-batteries-work/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

**WATTAGNET.** How Lighting Impacts Broiler Worker Welfare. Wattagnet, [s.d.]. Disponível em: <https://www.wattagnet.com/poultry-future/new-technologies/news/15664912/how-lighting-impacts-broiler-worker-welfare>. Acesso em: 20 fev. 2025.

**TERRA DO MANDU.** Sul de minas tem mais uma manhã com temperaturas negativas e geada. Disponível em: <https://terradomandu.com.br/index.php/2024/08/12/sul-de-minas-tem-mais-uma-manha-com-temperaturas-negativas-e-geada/>. Acesso em: 10 fev. 2025.

**ASTRONERGY.** Astro 5 monofacial. Disponível em: [https://www.astronergy.com/wp-content/uploads/2023/04/182540555ASTRO-5-Semi\\_CHSM72M-HC\\_2278x1134x35\\_EN\\_20230419.pdf](https://www.astronergy.com/wp-content/uploads/2023/04/182540555ASTRO-5-Semi_CHSM72M-HC_2278x1134x35_EN_20230419.pdf). Acesso em: 11 fev. 2025.