

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**ÍCARO HAMMER CALIXTO**

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE RETORNO  
FINANCEIRO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICO NO HOTEL FAZENDA MONTE SIÃO,  
EM SANTA LEOPOLDINA, ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA  
2021

ÍCARO HAMMER CALIXTO

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE RETORNO  
FINANCEIRO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO  
FOTOVOLTAICO NO HOTEL FAZENDA MONTE SIÃO,  
EM SANTA LEOPOLDINA, ESPÍRITO SANTO**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação  
do aluno **Ícaro Hammer Calixto**,  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico  
da Universidade Federal do Espírito Santo,  
como requisito parcial para obtenção do  
grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Paulo J. M. Menegáz

VITÓRIA  
2021

ÍCARO HAMMER CALIXTO

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE RETORNO FINANCEIRO DE  
UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO NO HOTEL  
FAZENDA MONTE SIÃO, EM SANTA LEOPOLDINA,  
ESPÍRITO SANTO**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Ícaro Hammer Calixto**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 8 de outubro de 2021.

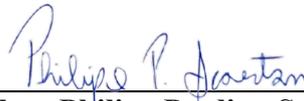
**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Paulo J. M. Menegáz**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

---

**Prof. Dra. Jussara Farias Fardin**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinadora



---

**Eng. Philippe Paulino Scarton**  
Geramais Engenharia LTDA  
Examinador



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
PAULO JOSE MELLO MENEGAZ - SIAPE 2236444  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE/CT  
Em 13/10/2021 às 13:38

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/286327?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
JUSSARA FARIAS FARDIN - SIAPE 295059  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE/CT  
Em 14/10/2021 às 02:11

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/287045?tipoArquivo=O>

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente a todos que me acompanharam nesta jornada de conhecimento, desde quem me influenciou na escolha do curso até todos os demais que estiveram ao meu lado durante esse período.

Devo gratidão a minha família, que nunca mediu esforços em me apoiar, aos meus colegas de curso, que sempre compartilharam as vivências dessa experiência e que contribuíram para meu crescimento pessoal, em todos os aspectos.

Agradeço, também, a todos os professores que de alguma forma contribuíram com cada bloco dessa construção tão valiosa que é o conhecimento.

Ao Prof. Dr. Paulo J. M. Menegáz, por toda a ajuda durante a confecção deste trabalho. Pelos conselhos e atenção, meu obrigado mais sincero.

## **RESUMO**

A ascensão de sistemas geradores fotovoltaicos é notória em todo o mundo. Diferente das demais fontes, a facilidade com que um consumidor pode fazer parte do sistema como agente ativo, isto é, gerando energia para o sistema, atrai mais pessoas a cada ano. A sedução por esse caminho vem com o objetivo financeiro e este trabalho é um estudo de caso para uma instalação rural, localizada em Santa Leopoldina, no estado do Espírito Santo. Será projetado e dimensionado um sistema fotovoltaico gerador, bem como, será feita a análise de retorno financeiro para saber em quanto tempo o investimento é revertido em benefício ao investidor. Concluído o projeto, caberá ao proprietário decidir sobre a aplicação financeira, uma vez que, tratado como investimento, existem outras formas de aplicação.

Palavras-chave: Geração de energia. Sistemas fotovoltaicos. Dimensionamento. Viabilidade econômica.

## **ABSTRACT**

The increasing use of photovoltaic systems is notorious around the world. Unlike other energy sources, the final consumer can be actively part of the system by generating its own electric power. This feature attracts a lot of people, due to the financial savings obtained.

This paper is a case study carried out for a rural installation located in Santa Leopoldina, in the state of Espírito Santo. A photovoltaic generator system will be designed and dimensioned, and an analysis of the financial return will be made based on how long the investment is reverted to the benefit of the investor. Once the project is completed, it will be up to the owner to decide on its financial application, since, as an investment, there are other options available.

**Key words:** Power generation. Photovoltaic systems. Dimensioning. Feasibility study.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Modelo Rutherford-Bohr.....   | 17 |
| Figura 2 – Modelo planetário do elemento silício .....                             | 18 |
| Figura 3 – Ligações covalentes no silício.....                                     | 18 |
| Figura 4 – Volume de silício de formação natural .....                             | 19 |
| Figura 5 – Arranjo atômico do elemento silício .....                               | 20 |
| Figura 6 – Arranjo atômico de semicondutor tipo N.....                             | 21 |
| Figura 7 – Arranjo atômico de semicondutor tipo P.....                             | 21 |
| Figura 8 – Região de depleção.....   | 22 |
| Figura 9 – Painel solar .....  | 23 |
| Figura 10 – Mapa de incidência de irradiação.....                                  | 26 |
| Figura 11 – Hotel Fazenda Monte Sião .....   | 29 |
| Figura 12 – Local escolhido para instalação dos módulos FV e área disponível. .... | 37 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 – Panorama nacional da matriz elétrica.....                       | 24 |
| Gráfico 2 – Fontes renováveis .....   | 25 |
| Gráfico 3 – Evolução da participação de energia solar .....                 | 25 |
| Gráfico 4 – Top 10 módulos fotovoltaicos 2020 - Volumes importados MWp..... | 33 |
| Gráfico 5 – Evolução da recuperação do investimento inicial .....           | 40 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Irradiação solar na região do Hotel Fazenda Monte Sião. ....  | 30 |
| Tabela 2 – Consumo de energia elétrica do Hotel Fazenda Monte Sião. .... | 31 |
| Tabela 3 – Precificação dos elementos do projeto.....                    | 38 |
| Tabela 4 – VPL com TMA de 10%.....                                       | 41 |

## **LISTA DE QUADROS**

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – Informações Técnicas do Módulo FV escolhido para o projeto.....           | 35 |
| Quadro 2 – Principais informações técnicas do inversor escolhido para o projeto..... | 36 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|      |  |
|------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas                 |
| BEN  | Balanco Energético Nacional                              |
| EPE  | Empresa de Pesquisa Energética                           |
| FV   | Fotovoltaico   |
| IBGE | Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IEEE | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> |
| Mtep | Milhões de toneladas equivalentes de petróleo            |
| SFCR | Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede                    |
| TE   | Tarifa de Energia  |
| TUSD | Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição                 |
| UFES | Universidade Federal do Espírito Santo                   |
| UC   | Unidade Consumidora                                      |
| VPL  | Valor Presente Líquido                                   |
| TMA  | Taxa Mínima de Atratividade                              |
| TIR  | Taxa Interna de Retorno                                  |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|         |  |
|---------|--|
| ABSOLAR | Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica                            |
| ANEEL   | Agência Nacional de Energia Elétrica   |
| CRESESB | Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito         |
| EDP     | Energias de Portugal   |
| GFV     | Gerador Fotovoltaico   |
| IEA     | <i>International Energy Agency</i>   |
| LHC     | <i>Large Hadron Collider</i>   |
| NBR     | Norma Brasileira   |
| PRODIST | Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional |
| SEP     | Sistema Elétrico de Potência   |
| SFV     | Sistema Fotovoltaico   |
| VPL     | Valor Presente Líquido   |

## SUMÁRIO

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>2</b>   | <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....                                   | <b>16</b> |
| <b>2.1</b> | <b>O átomo</b> .....   | <b>16</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Ligações químicas e a regra do octeto</b> .....                 | <b>17</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Efeito fotovoltaico</b> .....                                   | <b>19</b> |
| 2.3.1      | Os semicondutores .....  | 19        |
| 2.3.2      | Dopagem de materiais.....  | 21        |
| 2.3.3      | Célula solar e o efeito fotovoltaico .....                         | 22        |
| <b>2.4</b> | <b>Célula fotovoltaica e seu funcionamento</b> .....               | <b>22</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Panorama nacional da matriz elétrica</b> .....                  | <b>24</b> |
| 2.5.1      | Fontes renováveis.....   | 24        |
| <b>2.6</b> | <b>Potencial nacional para energia fotovoltaica</b> .....          | <b>26</b> |
| <b>2.7</b> | <b>Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012</b> .....     | <b>27</b> |
| <b>2.8</b> | <b>NBR 16690</b> .....   | <b>27</b> |
| <b>2.9</b> | <b>Padrão técnico EDP</b> .....                                    | <b>28</b> |
| <b>3</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO</b> .....                    | <b>29</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Caracterização física e geográfica do local de estudo</b> ..... | <b>29</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Solarimetria do local</b> .....                                 | <b>29</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Perfil de consumo energético do local de estudo</b> .....       | <b>30</b> |
| <b>4</b>   | <b>ESTUDO DE CASO</b> .....  | <b>32</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Dimensionamento e escolha dos painéis fotovoltaicos</b> .....   | <b>32</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Dimensionamento dos inversores</b> .....                        | <b>35</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Escolha do local de instalação</b> .....                        | <b>37</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Retorno financeiro do investimento</b> .....                    | <b>38</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.4.1 Valor do investimento .....       | 38        |
| 4.4.2 Payback .....                     | 39        |
| 4.4.3 Valor presente líquido .....      | 40        |
| 4.4.4 Taxa interna de retorno .....     | 41        |
| <b>5 CONCLUSÕES .....</b>               | <b>42</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>44</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

O uso de energia pela humanidade, sob as suas mais variadas formas, aumenta vertiginosamente com o passar das décadas. Sua aplicação vai desde os processos necessários para colocar na mesa o alimento que dá sustento às pessoas, até questões intrínsecas à vida da sociedade moderna, como mobilidade, comunicação, conforto humano, iluminação, condicionamento ambiental, entre outras. Neste contexto, a necessidade de incrementar a geração de energia por meio das fontes primárias é primordial para garantir o suprimento desta demanda sempre crescente. Naturalmente, com a evolução do conhecimento científico, surgem novas alternativas de fontes primárias. O que um dia foi lenha para aquecer uma caldeira, se tornou gasolina. O que era carvão, quando possível, foi suprimido por potencial hídrico. Hoje, em adição, se tem a energia vinda do sol, que, além de dar vida à Terra, pode ajudar a suprir as necessidades energéticas diárias modernas pela sua conversão direta ou indiretamente em energia elétrica.

É evidente que, com o passar dos anos, os combustíveis fósseis se esgotarão ou serão priorizados para outros fins. Existe ainda a discussão calorosa do impacto ambiental que estes tipos de combustíveis trazem, inequivocadamente, na forma de emissão de gases do efeito estufa. Fato é que este é um debate que atinge a política mundial e que influencia economicamente as decisões dos países (PORTAL G1, 2019). Evidência disso é o surgimento do mercado do crédito de carbono, onde uma tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) corresponde a um crédito de carbono que pode ser negociado entre países e usado pelos que não atingiram as metas de emissão (INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2021).

A transição de fontes findáveis para outras consideradas ilimitadas se torna inevitável. Ela já se iniciou através do crescimento na participação de fontes renováveis como o vento e o sol na matriz energética mundial. De acordo com a *International Energy Agency* (IEA), a geração de energia solar no mundo cresceu cerca de 22% em 2019, o que representa mais 131 TWh de energia gerada utilizando esta fonte. Estudos desta mesma agência também demonstram que o crescimento global da energia gerada através do sol tem sido exponencial, devendo chegar à ordem de 1940 TWh em 2025 e 3268 TWh em 2030 (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2020a). No caso do Brasil, números mostrados pela IEA mostram que o país dobrou sua capacidade de geração solar no ano de 2019, se comparado a 2018, tendo aumentado cerca de 2,1 GW (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, 2020b).

Desta forma, é possível observar que o uso da energia solar é promissor e já é realidade em diversos lugares. Através dos módulos solares pode-se aproveitar esse recurso considerado inesgotável. No entanto, é necessário um estudo adequado, antes da instalação de todo o aparato para verificar se seu uso é viável economicamente em uma unidade consumidora (UC) específica. Afinal, em um país tão variado geograficamente e em clima, nuances destes parâmetros podem aumentar o tempo de recuperação financeira do investimento. Assim sendo, a individualidade de cada local e o estudo detalhado, por meio de um projeto, de um sistema fotovoltaico (SFV) se faz necessário para uma tomada de decisão por parte do investidor.

A proposta deste trabalho, engloba um estudo de caso a ser realizado na zona rural de Santa Leopoldina, no estado do Espírito Santo, tendo como finalidade projetar um sistema de geração fotovoltaico para suprir a demanda de energia elétrica da instalação e determinar o tempo de retorno deste investimento na forma de economia de energia elétrica com o passar dos anos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para elaborar um bom projeto é importante que se tenha a compreensão teórica que o fundamenta. Ela sustenta toda a construção das ideias, desde sua base, e é como um leme para que se chegue à conclusão dele de forma eficaz e eficiente.

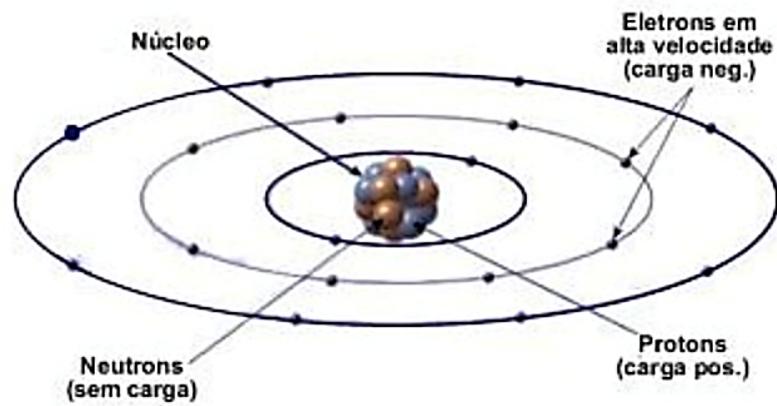
Em adição, é importante que se observem as normas e regulamentações estabelecidas neste tipo de projeto para que haja harmonia e segurança na interação entre um sistema de geração distribuída deste tipo, com o Sistema Elétrico de Potência (SEP).

### 2.1 O átomo

Existem perguntas para as quais a ciência busca, incessantemente, respostas. Uma delas é: do que as coisas, desde uma maçã até um grão de areia, são feitas? Entre 546 e 460 a.C., Demócrito, filósofo grego, conceituou que toda a matéria era constituída de partículas menores, chamadas por ele de átomos. Nessa concepção, as partículas pequenas e indivisíveis, juntas, formavam tudo o que é físico no universo (PAULA, 2010). Toda a matéria era resultado de uma combinação de átomos de 4 elementos fundamentais: água, terra, fogo e ar. Essa ideia, no entanto, não foi aceita unanimemente. Aristóteles acreditava que a matéria não poderia ser discreta e que não fazia sentido algo ser indivisível. A partir daí, duas correntes de pensamento se formaram (UNIVERSIDADE VIRTUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

A partir do século XIX, a discussão sobre a constituição da matéria voltou ao palco e pode ser estudada com novos recursos, antes não disponíveis (UNIVERSIDADE VIRTUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020). Para fins didáticos, hoje, o modelo atômico apresentado e tido como suficientemente correto para a compreensão do assunto é o de Niels Bohr (BASSO, 2004). Em 1913 o cientista propôs um modelo baseado em um já existente, do cientista Ernest Rutherford, respondendo algumas perguntas do modelo anterior. Neste novo modelo, apresentado na Figura 1, também conhecido como Rutherford-Bohr, os elétrons se moviam em órbitas circulares em torno do núcleo atômico, cada uma com um nível bem definido de energia (OLIVEIRA, 2006). Eletrosfera é o nome do espaço ocupado pelos elétrons em órbita com carga negativa. Enquanto o núcleo é constituído por partículas de cargas positivas e neutras, denominadas prótons e nêutrons, respectivamente. O núcleo tem a maior concentração de massa do átomo como um todo (MUNDO EDUCAÇÃO, 2020).

Figura 1 – Modelo Rutherford-Bohr



Fonte: Curso Enem gratuito (2020).

Na natureza, um átomo se difere de outro, em tipo, pelo chamado número atômico, que é o número de prótons existente em seu núcleo. Isso classifica os elementos conhecidos atualmente, como o Hidrogênio, Oxigênio e Silício, por exemplo. Eles estão catalogados na conhecida tabela periódica (BRASIL ESCOLA, 2018).

## 2.2 Ligações químicas e a regra do octeto

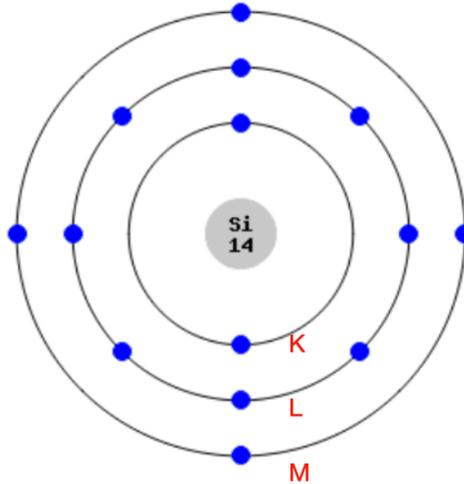
Na natureza um elemento é raramente encontrado de forma isolada. Eles tendem a se agrupar e a forma como isso ocorre é dada pela configuração de sua eletrosfera. Esses agrupamentos formam os materiais que conhecemos, desde a areia até os tecidos do corpo humano (FELTRE, 2004). Para os elementos conhecidos até o momento, são, no máximo, sete as camadas de energia que configuram a eletrosfera, denominadas: K, L, M, N, O, P e Q. A Figura 2 representa o modelo planetário do elemento Silício.

Nota-se que para este elemento, os elétrons ocupam as camadas de energia K, L e M, apenas, e, para esta última existem 4 elétrons. Em um átomo, a última camada que é ocupada por elétrons é também chamada de camada de valência.

O químico e cientista alemão Walther Kossel, em 1916, notou que na natureza, os elementos que eram mais estáveis, isto é, que não faziam ligações com outros elementos, eram os gases nobres. Esta observação foi publicada no artigo “Teoria Eletrônica da Valência”. Deste trabalho, surgiu a Regra do Octeto (DESCOMPLICA, 2020). Nela, estabelece-se que um átomo

tende a ter 8 elétrons em sua camada de valência, assim como um gás nobre. No caso, ambos buscam a estabilidade.

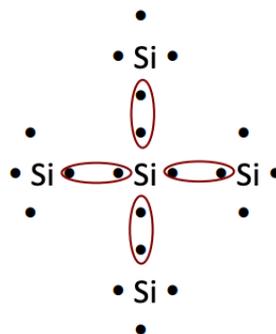
Figura 2 – Modelo planetário do elemento silício



Fonte: CHEMICALAID (2020).

Para que isso aconteça, ligações com outros átomos se formam de tal maneira que existe uma troca de elétrons entre um átomo e outro e, por conseguinte, obtém-se a estabilidade. Ainda tomando o Silício como exemplo, como já visto, este tem 4 elétrons em sua camada de valência, sendo assim, almeja mais 4 para formar o octeto. Uma das formas que ele pode conseguir sua estabilidade é ligando-se a mais 4 átomos de silício, formando 4 ligações covalentes, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Ligações covalentes no silício



Fonte: Fregonezi (2017).

Na prática, em cada par de ligações, existe uma troca de elétrons entre os dois átomos e dessa forma, ambos atingem sua estabilidade. Nessa situação em especial temos um efeito cascata

que acarreta numa rede cristalina de Silício. A Figura 4 apresenta um volume de silício de formação natural, encontrado na natureza.

Figura 4 – Volume de silício de formação natural



Fonte: Lira (2018).

Este elemento, tratado da maneira certa se torna o principal elemento constituinte da maioria das placas solares.

### **2.3 Efeito fotovoltaico**

A ciência e a engenharia estão intimamente ligadas. A ciência faz o estudo da natureza em busca de respostas e a engenharia se aproveita das conclusões de tais estudos e traz efeitos práticos em prol da humanidade, inclusive, inventos que beneficiam de volta a ciência, formando-se um *loop*.

Todos os sistemas de geração fotovoltaica se baseiam, fundamentalmente, em um único princípio: o efeito fotovoltaico. Este é caracterizado pela formação de uma tensão elétrica que surge após a exposição de um material à luz. Para entender em absoluto tal efeito é importante compreender o que são materiais semicondutores (BLUESOL, 2017).

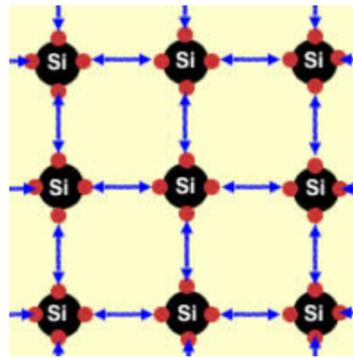
#### *2.3.1 Os semicondutores*

Elementos condutores são aqueles que possuem elétrons livres em suas últimas camadas, ou seja, na banda de condução, e, que por conseguinte, são mais fracamente ligados ao núcleo atômico. Desta forma, a movimentação de elétrons ocorre mais facilmente de um átomo para outro. Em contrapartida, outros elementos têm seus elétrons fortemente ligados ao núcleo, por isso, o fluxo de cargas é nulo, pois os elétrons estão na banda de valência. Neste caso, são

caracterizados como isolantes ou dielétricos. Já os materiais semicondutores podem ser bons isolantes ou bons condutores, isso depende das condições as quais estão submetidos (PORTAL EDUCAÇÃO, 2020).

Silício e Germânio são os elementos semicondutores mais utilizados no mercado. A Figura 5 apresenta a ligação atômica do silício em seu estado natural (BISQUOLO, 2020).

Figura 5 – Arranjo atômico do elemento silício



Fonte: Bisquolo (2020).

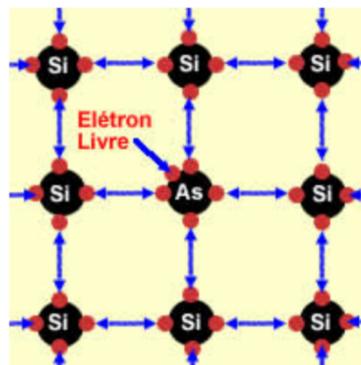
Observa-se que, sem perturbações externas, em um cenário hipotético de 0° Kelvin, cada átomo se liga ao seu vizinho de forma equilibrada, em que todas as quatro ligações estão bem estabelecidas. Nesse cenário, percebemos que o material é um isolante e seus elétrons estão na banda de valência. No entanto, com o aumento da temperatura, há ganho de energia dos elétrons e passa a existir o que denominamos de agitação térmica da estrutura cristalina. Como consequência, algumas ligações covalentes são quebradas, produzindo um elétron livre na faixa de condução. Ao receber energia através de fótons do espectro de luz visível, os elétrons da banda de valência podem saltar para a banda de condução, produzindo uma corrente elétrica no interior da estrutura cristalina do material semicondutor (PORTAL SOLAR, 2018).

Ao fazer parte da banda de condução, o elétron deixa vacante sua antiga posição, que é logo ocupada por outro elétron. Este é o efeito conhecido por recombinação. Essa dinâmica faz com que o semicondutor fique, sob uma ótica macro, eletricamente neutro (BLUESOL, 2017). Fica evidente que os semicondutores se comportam de maneiras distintas, sendo submetidos a diferentes condições externas.

### 2.3.2 Dopagem de materiais

Algo interessante acontece ao inserir outro elemento no arranjo. O nome desse processo de adição de impureza é dopagem do material, que, nada mais é que inserir um elemento estranho ao corpo. A adição de arsênio, na composição da Figura 6, configura um arranjo diferente, pois este elemento tende a estabelecer cinco ligações com átomos vizinhos, enquanto o silício tende a formar apenas quatro ligações. Como resultado, um elétron fica livre para “transportar” uma carga elétrica (BISQUOLO, 2020).

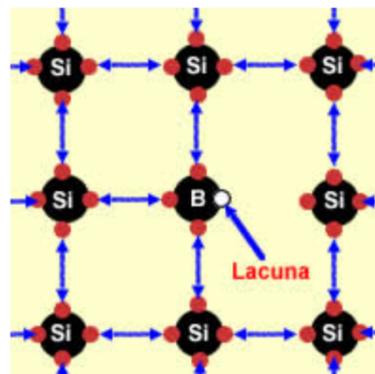
Figura 6 – Arranjo atômico de semicondutor tipo N



Fonte: Bisquolo (2020).

Quando esse tipo de arranjo é formado, se dá o nome de semicondutor do tipo N. Por outro lado, ao se dopar silício com Boro, que tende a estabelecer apenas 3 ligações com átomos vizinhos, temos o resultado apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Arranjo atômico de semicondutor tipo P



Fonte: Bisquolo (2020)

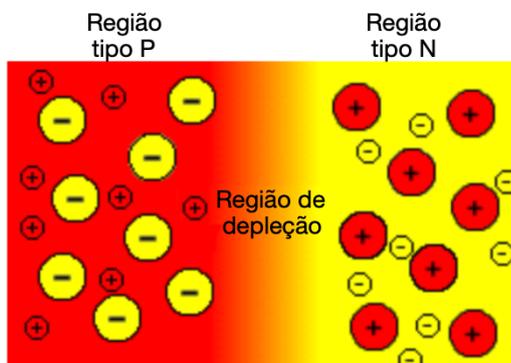
A lacuna indicada na figura se comporta como uma carga positiva, pois, se submetermos este material a uma diferença de potencial, o elétron disponível no silício irá em direção ao lado de

maior potencial, enquanto a lacuna se estabelecerá para o lado de menor potencial. Chamamos este material de semiconductor de tipo P (BISQUOLO, 2020).

### 2.3.3 Célula solar e o efeito fotovoltaico

A união de semicondutores do tipo P com N forma o que podemos chamar de célula solar. Na junção destes, é formada uma zona denominada região de depleção, que é eletricamente neutra, e, que possuem íons positivos e negativos fixos da estrutura. A Figura 8 ilustra o estado final desta união (LABORATÓRIO DE SISTEMAS INTEGRÁVEIS, 2020).

Figura 8 – Região de depleção



Fonte: Laboratório de Sistemas Integráveis (2020).

Finalmente, com essa organização, fica claro que ao receber energia através da luz solar, os elétrons são energizados, havendo então, uma diferença de potencial entre as duas regiões (P e N). Se criada uma ponte condutora entre elas, haverá o fluxo de cargas, ou seja, corrente elétrica. Este é o efeito fotovoltaico e é através dele que a célula fotovoltaica foi concebida, com o intuito de fazer proveito dessa dinâmica. Observa-se que numa visão global desse processo aplicado, temos a conversão de energia solar para elétrica.

## 2.4 Célula fotovoltaica e seu funcionamento

A célula fotovoltaica é um dispositivo eletrônico que faz a conversão de energia solar para elétrica. Como visto, seu funcionamento é baseado no efeito fotovoltaico. Fica evidente que, quanto mais radiação incidir sobre a superfície, maior será a transferência de energia e mais cargas elétricas poderão fluir de uma face da célula para a outra (BLUESOL, 2017).

Um dos fatores que aumenta o rendimento de uma célula fotovoltaica é quando o ângulo de incidência de raios solares com a superfície é de 90°. Além disso, a medida em que o sol perde

tal perpendicularidade com referência à célula, a camada atmosférica se torna mais espessa e contribui para uma redução nos níveis que radiação que chegam até ela.

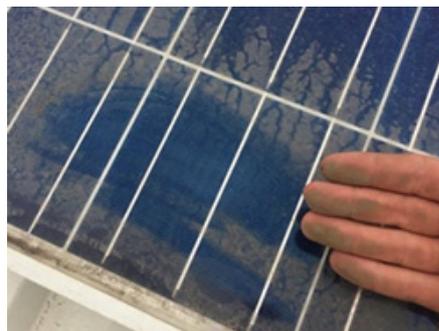
De maneira simplista, existem quatro configurações que caracterizam a forma como a radiação incide sobre a superfície da placa solar. A radiação difusa chega até seu alvo depois de atravessar um meio em que há reflexão e refração do feixe de luz original, sendo assim, ela não chega de forma direta ao destino. Já a radiação direta, por intuição, é a que não enfrenta obstáculos até chegar ao painel. A refletida é o tipo de radiação obtida após o fenômeno de reflexão ocorrer em uma estrutura vizinha. Por fim, a radiação global, é a soma destas caracterizações. Fica claro que se almeja sempre obter a radiação direta, pois ela é que tem maior influência energética nesse contexto.

Na prática, esses são fatores que estão intimamente relacionados com a latitude e longitude do local alvo da instalação dos painéis fotovoltaicos. Demais fatores, como: relevo geográfico e incidência pluviométrica, por exemplo, são derivados destes, uma vez que influenciam diretamente nos parâmetros discutidos.

Outro ponto que não pode ser desconsiderado, ainda sobre os arredores do local, é o potencial que partículas do solo têm para serem suspensas no ar. Isso acarreta, em um momento posterior, na sedimentação destas sobre os painéis solares, prejudicando seu bom funcionamento. A Figura 9 ilustra como tal circunstância pode afetar a plena eficiência de uma placa solar.

Os aspectos apresentados mostram como é importante levar em conta, não só a especificação técnica do aparato a ser adquirido no investimento, mas outros pontos essenciais e que podem afetar negativamente a eficiência do projeto como um todo.

Figura 9 – Painel solar



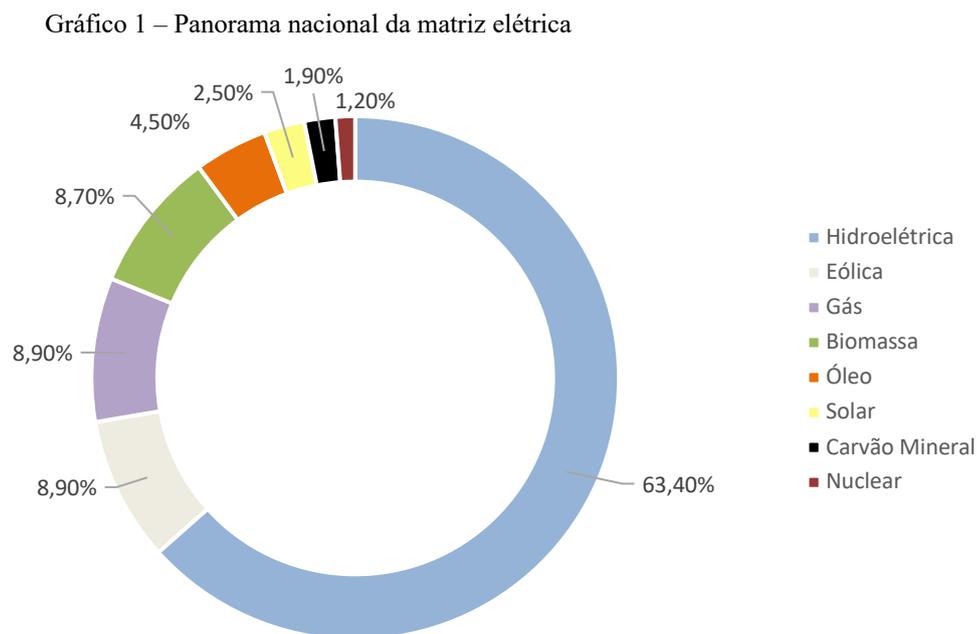
Fonte: Portal Solar (2018).

## 2.5 Panorama nacional da matriz elétrica

Ao final de 2019, o Brasil alcançou a marca de 170 GW em sua capacidade instalada de geração elétrica. (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2020)

O país está entre os primeiros do mundo na produção de energia elétrica derivada da geração por fontes renováveis (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2021). Excelente sob ótica ambiental, fontes não renováveis representam apenas 16,5% da potência instalada no escopo nacional, como mostra o Gráfico 1.

Fica evidente que o Brasil faz proveito de forma predominante de sua vasta rede fluvial. É interessante, no entanto, que se tenha uma boa diversificação na matriz elétrica nacional, não dependendo quase que exclusivamente de uma única fonte (FRAGMAQ, 2014).

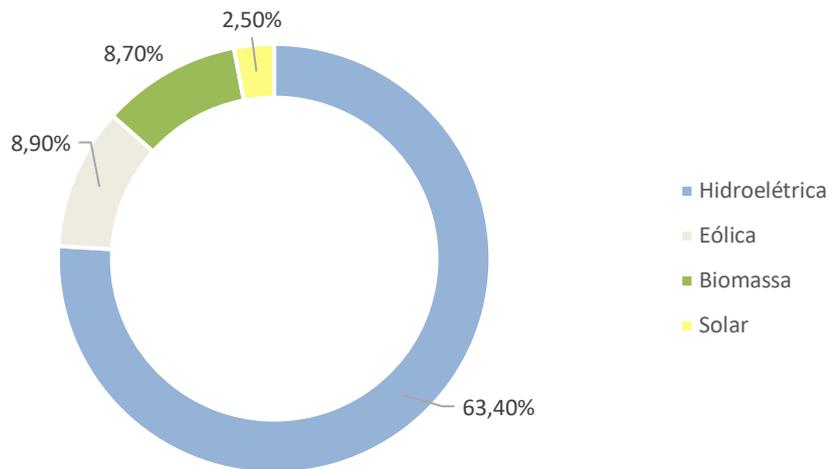


Fonte: Ministério de Minas e Energia (2020).

### 2.5.1 Fontes renováveis

Hoje, mais de 83% da potência instalada no Brasil deriva de fontes renováveis (BRASIL, 2020). O Gráfico 2 apresenta a composição das fontes de energia renovável no Brasil, separada por tipos.

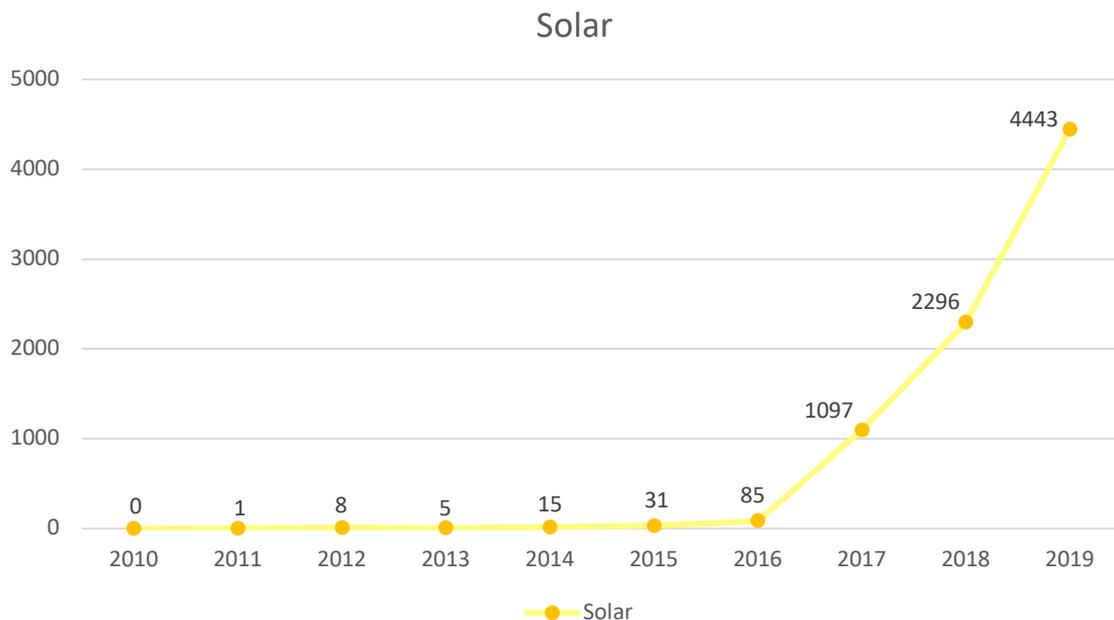
Gráfico 2 – Fontes renováveis



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2020).

Apesar da capacidade instalada das geradoras FV ter alcançado a marca de 2,5% do total nacional no final de 2019, o que pode não ser tão significativo, mas não menosprezado, é importante atentar-se para o crescimento do setor com o passar dos anos.

Gráfico 3 – Evolução da participação de energia solar



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2020).

Nota 1: Capacidade instalada (MW)

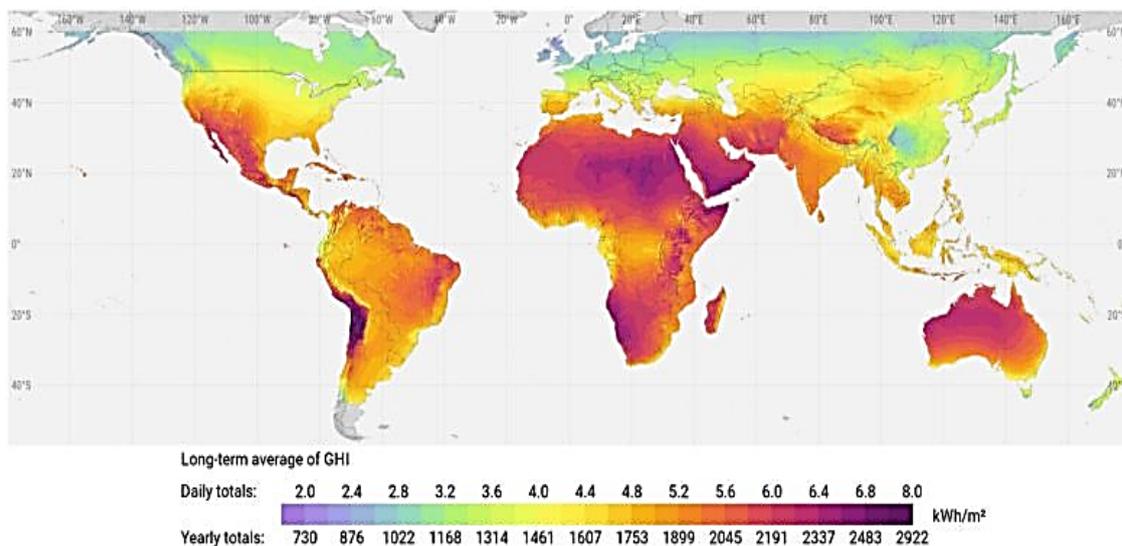
Observando o Gráfico 3, de evolução da participação da energia solar na matriz elétrica nacional, nota-se que, a partir de 2017, ele disparou, pois naquele ano diversos parques foram

inaugurados. Parque Solar Nova Olinda (PI) com capacidade de 292 MW; Parque Solar Ituverava (BA) com 254 MW; Parque Solar de Bom Jesus da Lapa (BA) com 158 MW e Parque Solar Horizonte (BA) com capacidade de 103 MW (INSTALO SOLAR, 2018). E a capacidade instalada nacionalmente deste setor duplicou a cada ano. Em 2018 a EPE afirmava que o esperado era que até 2030 a geração solar no Brasil alcançaria 10% da potência total instalada (PORTAL SOLAR, 2018). Com o avanço dos números, fica fácil acreditar na previsão.

## 2.6 Potencial nacional para energia fotovoltaica

O Brasil tem um alto potencial de geração solar. Para fins comparativos, a Alemanha, que hoje ocupa uma das principais posições no cenário mundial, tem em sua região mais ensolarada um índice de radiação solar menor que a menos favorável do Brasil (ATLAS SOLAR GLOBAL, 2019). O mapa mostrado na Figura 10 é uma aproximação simplificada da quantidade de irradiação que incide sobre uma superfície.

Figura 10 – Mapa de incidência de irradiação



Fonte: Atlas Solar Global (2019).

Nota <sup>1</sup>: média de longo prazo de GHI<sup>7</sup>

<sup>2</sup>: totais diários

<sup>3</sup>: totais anteriores

Além do aspecto de posicionamento geográfico, que dá essa vantagem, o território é vasto e o país conta com uma das maiores reservas de silício do mundo (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009). Todos esses fatores, se bem trabalhados e até mesmo incentivados por

governos, através de pesquisas ou incentivos fiscais, podem tornar essa forma geração peça importante no cenário energético nacional.

### **2.7 Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012**

A Resolução Normativa nº482 de 17 de abril de 2012 é um marco importante para os interessados em ser micro ou minigeradores constituintes do sistema elétrico nacional. Ela estabelece, como cita em seu artigo 1º: “...as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.”

Podem-se destacar alguns pontos principais na resolução, sendo: estabelece que o consumidor deve pagar, minimamente, o valor referente ao custo de disponibilidade da rede para o caso de consumidores do grupo B ou ainda da demanda contratada para consumidores do grupo A.

Quanto ao consumo em si, será faturado a diferença entre o que foi consumido e o que foi fornecido à rede por meio do sistema fotovoltaico. Se a geração suprir todo o consumo e houver excedente, este poderá ser abatido nas futuras faturas ou ainda em outras unidades consumidoras pertencentes ao mesmo titular.

Cabe também salientar que os custos referentes ao sistema de medição são de responsabilidade do interessado, isto é, do contratante da UC. A resolução também estabelece critérios a serem seguidos pelo contratado, baseados na seção 3.7 do módulo 3 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

Em 2015, a ANEEL aplicou uma nova resolução normativa, a de número 687, de 24 de novembro, que traz diversos ajustes na 482. Na classificação das geradoras, por exemplo, as de microgeração passaram a ser de potência menor que 75 kW, e para minigeração, entre 75 kW e 3 MW (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015).

### **2.8 NBR 16690**

A segurança de toda a instalação é um ponto crucial em um projeto. Um dos documentos fundamentais seguidos até 2018 para um projeto FV era a NBR 5410, mas, alguns elementos tratados nela eram insuficientes para particularidades dos sistemas fotovoltaicos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018). A NBR 16690 veio para suprir essa necessidade e é baseada na IEC/TS 62548:2013. Ela estabelece as condições

mínimas de segurança para um projeto fotovoltaico, sendo: toda a parte de proteção, aterramento, cabeamento e arranjos possíveis. O documento servirá como referência para elaboração do projeto elétrico.

## **2.9 Padrão técnico EDP**

Com base na resolução normativa nº482 de 17 de abril de 2012, a Energias de Portugal (EDP) estabeleceu o padrão técnico para as conexões em sistemas de distribuição de baixa tensão (ENERGIAS DE PORTUGAL, 2019). No documento, todas as informações básicas são fornecidas para que se haja um ponto comum de entendimento na aplicabilidade técnica no momento da conexão do sistema à rede. Também disponibiliza o contrato a ser celebrado e as etapas burocráticas que envolvem a solicitação para se tornar uma unidade de geração distribuída.

O documento é essencial para o projeto, pois traz de forma clara o que se espera de uma instalação desse tipo e os deveres no que tange à qualidade da energia gerada. Para evitar contratempos burocráticos é primordial que se siga de forma estrita, o que está indicado no documento.

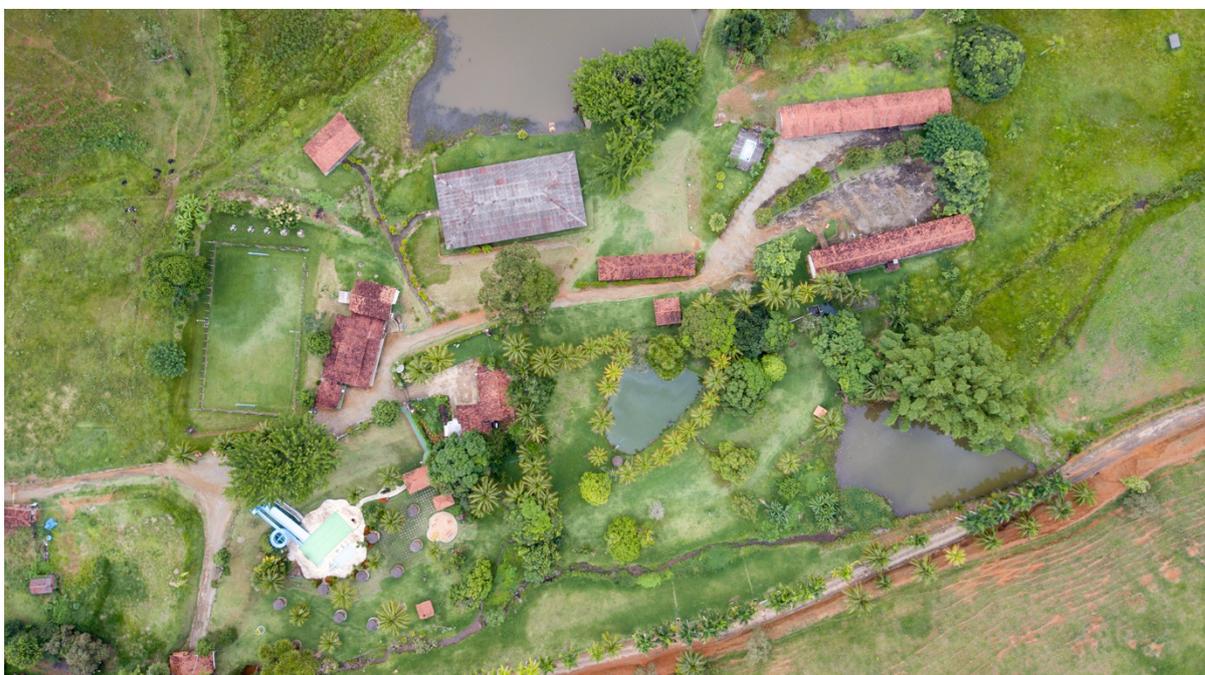
### 3 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO

#### 3.1 Caracterização física e geográfica do local de estudo

Nosso alvo do estudo de caso é o Hotel Fazenda Monte Sião, localizado no distrito de Santa Leopoldina, no estado do Espírito Santo.

Seu funcionamento ocorre unicamente aos finais de semana, atendendo a grupos que buscam fuga dos centros urbanos, e conta com 30 suítes, um salão para eventos, sala de jogos, restaurante, piscinas a vasta área verde. A Figura 11 apresenta uma vista superior do local.

Figura 11 – Hotel Fazenda Monte Sião



Fonte: Google Maps (2020).

Em coordenadas geográficas, o Hotel fazenda fica em -20.04312 Sul, -40.45586 Oeste. Nota-se, pela Figura 11, que há larga disponibilidade para a instalação de painéis fotovoltaicos, seja ela em coberturas ou em espaços abertos ao solo.

#### 3.2 Solarimetria do local

Os dados de irradiação solar são obtidos do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB), que conta com um banco de dados de mais de 17.000 pontos distribuídos em território nacional, que informa a média diária por mês, de energia solar recebida por metro quadrado, nesses pontos.

Escolhemos a estação mais próxima do local, que fica a 4,9KM em linha reta. A plataforma apresenta os dados solarimétricos para quatro planos de inclinação: horizontal, igual à latitude, maior média anual e maior mínimo mensal.

A Tabela 1 apresenta a irradiação diária média mensal na estação de coleta de dados mais próxima da UC.

Tabela 1 – Irradiação solar na região do Hotel Fazenda Monte Sião.

| Mês          | Plano horizontal (0°) | Ângulo igual a latitude (20°) | Maior média anual (17°) | Maior mínimo mensal (21°) |
|--------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Janeiro      | 5,84                  | 5,32                          | 5,43                    | 5,28                      |
| Fevereiro    | 6,09                  | 5,81                          | 5,88                    | 5,78                      |
| Março        | 5,09                  | 5,19                          | 5,21                    | 5,19                      |
| Abril        | 4,33                  | 4,77                          | 4,73                    | 4,78                      |
| Mai          | 3,73                  | 4,42                          | 4,34                    | 4,45                      |
| Junho        | 3,49                  | 4,31                          | 4,21                    | 4,34                      |
| Julho        | 3,58                  | 4,33                          | 4,24                    | 4,36                      |
| Agosto       | 4,13                  | 4,7                           | 4,64                    | 4,72                      |
| Setembro     | 4,58                  | 4,8                           | 4,79                    | 4,8                       |
| Outubro      | 4,67                  | 4,55                          | 4,59                    | 4,54                      |
| Novembro     | 4,67                  | 4,34                          | 4,41                    | 4,31                      |
| Dezembro     | 5,57                  | 5,02                          | 5,13                    | 4,99                      |
| <b>Média</b> | <b>4,65</b>           | <b>4,80</b>                   | <b>4,80</b>             | <b>4,79</b>               |

Fonte: Cresesb (2021).

O Cresesb apresenta estes valores como um índice conhecido como Horas de Sol Pleno, em que uma superfície de 1m<sup>2</sup> ficaria exposta à radiação constante de 1000W, de tal forma que a energia total durante esse período fosse equivalente à quantidade de energia obtida de uma curva de irradiância típica, com sua distribuição em todas as horas de um dia.

Com exceção dos resultados para o plano horizontal, as demais médias anuais são muito similares, como se pode notar.

### 3.3 Perfil de consumo energético do local de estudo

Do ponto de vista de demanda energética, os faturamentos mensais variam bastante, como pode ser visto na tabela a seguir. Os dados captados contemplam o período de 2016 a 2019, de forma a fugir de cenários atípicos como o atual pandêmico, que acaba por afugentar clientes.

Tabela 2 – Consumo de energia elétrica do Hotel Fazenda Monte Sião.

| Mês          | 2016         |                  | 2017         |                  | 2018         |                  | 2019         |                  |
|--------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
|              | kWh          | R\$              | kWh          | R\$              | kWh          | R\$              | kWh          | R\$              |
| Janeiro      | 0            | 29,39            | 1640         | 1.130,00         | 760          | 606,82           | 2320         | 1.889,89         |
| Fevereiro    | 440          | 303,52           | 640          | 474,29           | 2840         | 2.048,08         | 1080         | 947,83           |
| Março        | 1440         | 973,95           | 3480         | 2.437,89         | 800          | 585,91           | 3240         | 2.728,79         |
| Abril        | 1720         | 1.183,50         | 2480         | 1.689,09         | 1880         | 1.308,11         | 1240         | 1.028,33         |
| Mai          | 2040         | 1.418,93         | 2480         | 1.719,41         | 640          | 483,81           | 520          | 455,80           |
| Junho        | 800          | 560,45           | 1000         | 762,48           | 880          | 686,14           | 440          | 273,12           |
| Julho        | 2480         | 1.595,17         | 480          | 338,34           | 360          | 326,25           | 920          | 759,43           |
| Agosto       | 1360         | 989,50           | 520          | 427,79           | 1160         | 955,25           | 600          | 472,35           |
| Setembro     | 1280         | 879,84           | 360          | 277,87           | 960          | 870,26           | 1040         | 807,45           |
| Outubro      | 2480         | 1.139,03         | 960          | 728,37           | 1800         | 1.691,96         | 2120         | 1.690,61         |
| Novembro     | 2160         | 1.457,84         | 1520         | 1.136,99         | 2360         | 2.085,06         | 1480         | 1.224,30         |
| Dezembro     | 1200         | 850,11           | 680          | 519,74           | 2880         | 2.323,71         | 1720         | 1.283,82         |
| <b>Total</b> | <b>17400</b> | <b>11.381,23</b> | <b>16240</b> | <b>11.642,26</b> | <b>17320</b> | <b>13.971,36</b> | <b>16720</b> | <b>13.561,72</b> |

Fonte: Produção do próprio autor.

Apesar de variações mensais, os valores anuais de consumo da UC se mantêm próximos, com uma média de 16.920 [kWh]. Quem atende a essa demanda é a EDP, tanto na parte de geração quanto na de transmissão. A unidade pertence ao grupo B, subgrupo B3.

## 4 ESTUDO DE CASO

Com as informações apresentadas, pode-se dar início as pontualidades do projeto como o local exato da propriedade onde serão instalados os painéis e inversores, bem como seus dimensionamentos.

### 4.1 Dimensionamento e escolha dos painéis fotovoltaicos

O mercado brasileiro, hoje, atua de forma pouco flexível na venda dos painéis fotovoltaicos disponíveis nas prateleiras, se comparado a países já mais maduros neste mercado. Isso porque os principais distribuidores nacionais vendem arranjos (*kits*) de painéis e inversores de maneira pré-estabelecida. Ainda assim, os arranjos são discretizados de forma que é possível se chegar, com alguns kits, ao que o projeto demanda.

Existem inúmeras marcas de painéis e de inversores no mercado global. Entretanto, o leque de opções é reduzido em fronteiras nacionais. Almejando uma escolha mais confiável e próxima da realidade de mercado, como filtro inicial para essa escolha, foi usado o Estudo Estratégico apresentado pela Greener, no segundo semestre de 2020, que é uma empresa que oferece ferramentas digitais, assessoria e estudos na área de energia solar, visando fornecer uma estratégia mais eficiente para novos empreendedores do setor (GREENER, 2020).

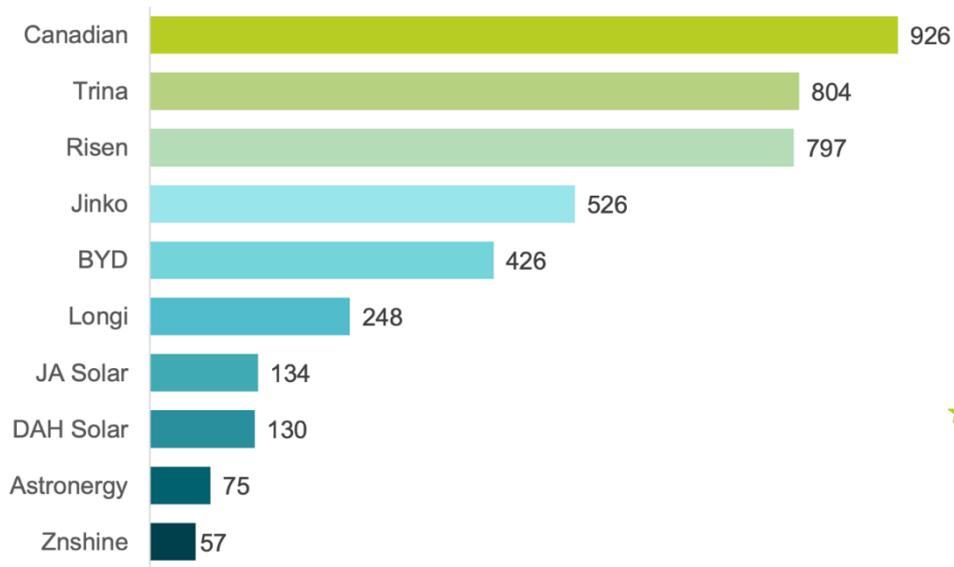
O Estudo Estratégico foi realizado com a colaboração de 1579 empresas do ramo, com amostragem de empresas de todo o país. Também contou com dados de 30 empresas distribuidoras de equipamentos, que foram responsáveis pela importação de 57% de todo o volume importado em 2021.

De acordo com Greener (2020), o Gráfico 4 apresenta as *top 10* marcas de módulos fotovoltaicos mais importadas em 2020.

O próximo passo é identificar a disponibilidade dos produtos de tais fabricantes no mercado.

A Aldo é uma das maiores distribuidoras de equipamentos fotovoltaicos do Brasil e atualmente trabalha com as seguintes marcas de painéis solares: BYD Solar, Trina Solar, Jinko e Phono Solar. Com exceção da última citada, todas as demais pertencem ao *ranking* de fabricantes mais importadas, de acordo com o estudo da Greener.

Gráfico 4 – Top 10 módulos fotovoltaicos 2020 - Volumes importados MWp



Fonte: Greener (2020).

Tipicamente, os fabricantes lançam painéis com potências entre 300W e 450W. Atualmente, os modelos de painéis disponíveis para aquisição na Aldo Componentes Eletrônicos LTDA são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Modelos de módulos FV disponíveis para venda em Aldo Componentes Eletrônicos LTDA.

| Fabricante  | Modelo        | Potência nominal | Tecnologia     |
|-------------|---------------|------------------|----------------|
| BYD Solar   | 335PHK-36     | 335 W            | Policristalino |
| Trina Solar | TSM-DE08M(II) | 375 W            | Monocristalino |
| BYD Solar   | 400MIK-36     | 400 W            | Monocristalino |
| Jinko       | JKM450M-60HL4 | 450 W            | Monocristalino |

Fonte: Aldo (2021).

Há diversas formas de se dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR), baseado na necessidade do projeto (JUNIOR, 2019). De acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014), para encontrar a potência nominal que o arranjo deve ter, foi utilizado o método indicado pela CRESESB, onde a abordagem se baseia no consumo médio de energia elétrica da UC.

A equação (1) calcula a potência nominal do GFV.

$$P_{FV} = \frac{E}{HSP_{MA}} \quad (1)$$

onde:

$P_{FV}$  é a potência de pico do painel fotovoltaico (Wp);

$E$  é o consumo diário médio anual da edificação (kWh/dia);

$TD$  é a taxa de desempenho (adimensional);

$HSP_{MA}$  é o número de horas plenas no plano do painel fotovoltaico (h);

Como já apresentado, a UC tem um consumo anual médio de 16.920 [KWh], mas é necessário se levar em conta a taxa mínima de consumo estabelecido pela fornecedora, que é de 100 KWh. Esse valor deve ser descontado da média, já que será cobrada a tarifa sobre esse montante, independentemente do consumo. Portanto, o consumo diário médio anual da edificação é de 43,06 kWh.

A taxa de desempenho escolhida para o sistema foi de 0,70, ainda baseando-se no método do Cresesb. Vale ressaltar que o método seguido indica uma faixa de valor entre 0,70 e 0,85. De acordo com o método, esse índice foi obtido tomando por referência mais de 500 sistemas FV na Europa Ocidental. Como as condições climáticas são distintas, optou-se pelo valor de 0,70. Em adição, em consulta à empresa Geramais, que trabalha majoritariamente no estado do Espírito, corroborou-se que o valor de 0,70 é uma boa escolha para TD nas condições do estudo de caso em tela. Como a inclinação do telhado, com face ao norte, tem 20°, a irradiação diária média anual (horas de sol pleno) é de 4,8h. Conclui-se que a potência nominal do sistema gerador deve ser de 12,818 kW. Em outras palavras, um conjunto de módulos com potência nominal de 12,818 kW será capaz de entregar, em condições reais, a média diária anual de 43,06 kWh.

Determina-se, então, o número de painéis necessários para a montagem do arranjo, por meio da equação (2).

$$N_{PFV} = \frac{P_{FV}}{P} \quad (2)$$

onde:

$N_{PFV}$  é o número de painéis fotovoltaicos;

$P$  é a potência nominal por módulo (Wp);

Por meio da equação (2) e baseada nos modelos de módulos disponíveis apresentados na Tabela 3, a Tabela 4 apresenta quantos painéis são necessários para cada modelo, bem como o valor estimado total de compra.

Tabela 4 – Número e precificação de módulos para o GFV.

| Modelo        | Potência nominal | Nº de módulos | Preço unitário | Preço total   |
|---------------|------------------|---------------|----------------|---------------|
| 335PHK-36     | 335 W            | 38,3          | R\$ 715,41     | R\$ 27.185,58 |
| TSM-DE08M(II) | 375 W            | 34,2          | R\$ 814,91     | R\$ 27.706,94 |
| 400MIK-36     | 400 W            | 32,0          | R\$ 844,76     | R\$ 27.032,32 |
| JKM450M-60HL4 | 450 W            | 29,1          | R\$ 1.023,86   | R\$ 29.691,94 |

Fonte: Aldo (2021).

Com um olhar de médio e longo prazo, nota-se que a diferença entre os valores finais é pouca. Dentre as três fabricantes listadas, a Trina Solar é a de maior confiabilidade já que teve maior volume importado. Uma vez que a diferença de valores é ínfima, com exceção da última listada, optou-se pelo módulo TSM-DE08M(II).

Portanto, quanto ao dimensionamento dos módulos FV, a escolha seria pela aquisição de 35 unidades de 375 Wp do modelo TSM-DE08M(II). A potência do GFV será de 13,125 kWp.

As principais especificações do modelo escolhido são apresentadas no quadro a seguir e estão disponíveis para consulta no Anexo A.

Quadro 1 – Informações Técnicas do Módulo FV escolhido para o projeto.

| Modelo                                    | TSM-DE08M(II)         |
|---|-----------------------|
| Potência de pico (STC)                    | 375 (Wp)              |
| Tensão de circuito aberto (STC)           | 41,6 (V)              |
| Corrente de curto-circuito (STC)          | 11,45 (A)             |
| Composição da célula                      | Monocristalina        |
| Período de garantia de entrega de energia | 25 anos               |
| Dimensões                                 | 1736 x 1040 x 35 (mm) |
| Peso                                      | 20 (kg)               |

Fonte: Produção do próprio autor.

## 4.2 Dimensionamento dos inversores

Determinada a potência de pico do GFV pode-se, então, dimensionar o inversor para o sistema. Normalmente os inversores são subdimensionados em potência, com relação ao GFV. Essa prática é adotada, pois dificilmente um conjunto de módulos FV atinge sua potência de pico,

ainda que a irradiância nos módulos seja próxima de 1000 W/m<sup>2</sup>. Isso porque a potência é reduzida com o aumento da temperatura durante a operação. Ante tal condição, inerente aos módulos fotovoltaicos, surge, então, um coeficiente de correção, denominado Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI), determinado pela relação exposta na equação (3).

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{FV}} \quad (3)$$

onde:

$P_{Nca}$  é potência nominal em corrente alternada do inversor (W);

Nota-se que o FDI tem relação íntima com o custo do projeto, afinal, normalmente, quanto maior a potência do inversor, mais caro ele é. Além disso, um inversor sobredimensionado se traduz em potencial não aproveitado durante todos os anos de operação do sistema. Seguindo essa ideia, o FDI mais adequado, seria obtido com resultados numéricos de um sistema, na região alvo. Obter tais dados numéricos, no entanto, leva tempo, pois traduz-se na coleta de informações durante um longo período, por vezes anos. Ele é mais indicado para grandes usinas FV, uma vez que qualquer ponto percentual a mais ou a menos, reflete em grandes cifras. Para projetos menores, como o deste trabalho, por exemplo, adota-se por prática, valores de FDI entre 0,75 e 0,85, como sugerido pelo próprio manual do Cresesb. Com o FDI de 0,75, tem-se, pela equação (3), que a potência nominal do inversor em corrente alternada deve ser de 9,84 kW. Ainda na mesma distribuidora (Aldo), a escolha mais atrativa seria por uma unidade da fabricante Growatt, de 10kW de potência. Essa fabricante está em primeiro lugar no ranking de maior volume importado de inversores, de acordo com o estudo da Greener. Após pesquisa de mercado realizada, o modelo escolhido, foi o de 10kW, triplo MPPT, ao preço de R\$ 6.159,05 por unidade. As especificações do inversor escolhido constam no quadro a seguir.

Quadro 2 – Principais informações técnicas do inversor escolhido para o projeto.

| Modelo                     | MIN 10000TL-X           |
|----------------------------|-------------------------|
| Potência máxima de entrada | 15000 (W)               |
| Tensão máxima de entrada   | 600 (V)                 |
| Faixa de tensão do MPP     | 60 – 550 (V)            |
| Número de MPP trackers     | 3                       |
| Máxima potência de saída   | 10000 (W)               |
| Tipo de conexão da rede CA | Monofásico              |
| Tensão CA                  | 220 (V) / 160 – 300 (V) |

Fonte: Produção do próprio autor.

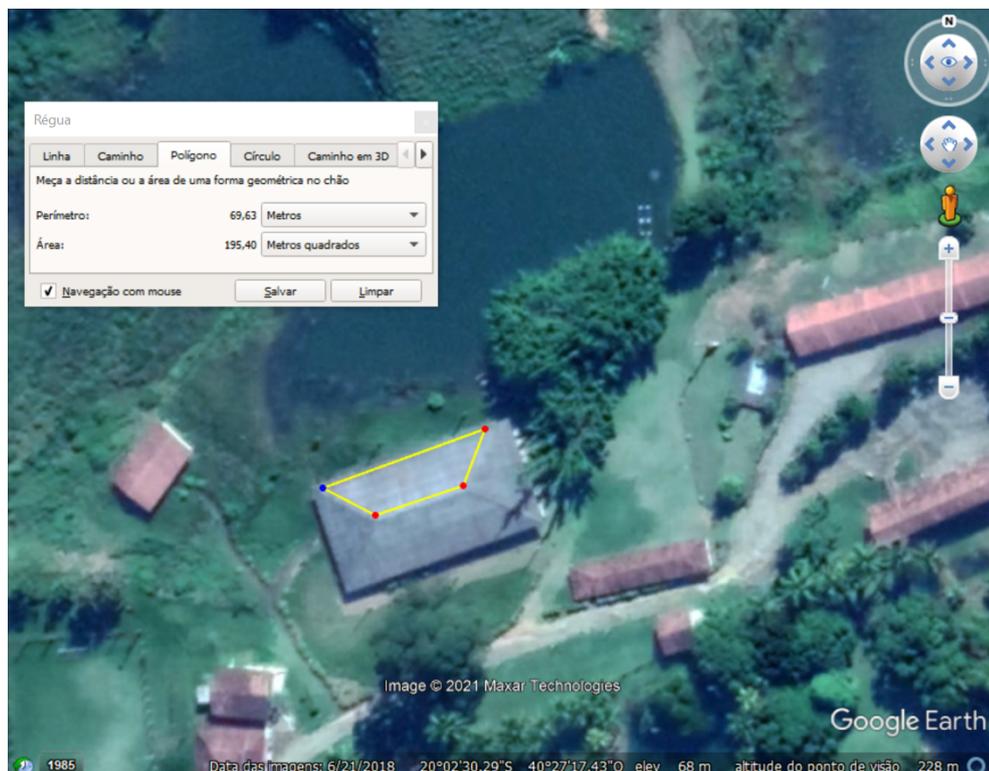
Ainda quanto ao dimensionamento do inversor, é importante, também, verificar se as especificações de máxima tensão de CC são atendidas, uma vez que as tensões nos terminais de entrada do inversor não podem ultrapassar os valores máximos estabelecidos pelo fabricante.

De acordo com o Datasheet do modelo escolhido (Anexo B), a máxima tensão CC de entrada para cada terminal MPPT, é de 600V. Como a tensão de circuito aberto de cada módulo FV, no STC, é de 41,6V, o arranjo mais adequado das strings seria de forma a equilibrar as potências em cada MPPT. Assim sendo, dois MPPT's lidarão com 12 módulos cada, enquanto um deles ficará conectado a apenas 11 módulos.

### 4.3 Escolha do local de instalação

A Figura 11 mostra todos os possíveis locais para instalação dos módulos. Três deles têm suas faces voltadas para o norte e área significativa. Dois deles, no entanto, são usados como dormitórios e por esse motivo serão evitados. O local escolhido, portanto, será o telhado sobre a construção que comporta o salão de eventos. A Figura 12 mostra o local em maiores detalhes, incluindo a medida aproximada, em metros quadrados, da área disponível.

Figura 12 – Local escolhido para instalação dos módulos FV e área disponível.



Fonte: Google Maps (2020).

#### 4.4 Retorno financeiro do investimento

Como já comentado, do ponto de vista do agente que se insere neste tipo de projeto, seja pessoa física ou jurídica, é de suma importância tratá-lo como um investimento. É evidente que existem pontos que fogem da alçada econômica como, por exemplo, o benefício ecológico deste tipo de sistema e, também, a vantagem ao SEP como um todo, dado que as fontes de energia se tornam mistas, o que causa menos dependência de um único setor. Entretanto, do ponto de vista prático, o projeto se resume à questão pecuniária, se olhado pelo prisma do investidor.

Visto dessa forma, se torna lógico e intuitivo que se tenha um olhar comparativo com outros investimentos. Dois pontos importantes devem ser tomados em consideração. O primeiro é de que o investimento é de longo prazo, uma vez que para se obter o retorno da cifra total aplicada no projeto, são necessários anos. O segundo ponto é que um sistema FV pode ser considerado de baixo risco. Isso porque, como já explorado nos tópicos iniciais deste trabalho, um movimento nacional e mundial tem se mostrado constante, no sentido de que esse é apenas o começo desse tipo de energia, como contribuição na matriz energética de um país.

##### 4.4.1 Valor do investimento

Antes de estimar qualquer retorno financeiro do sistema, é necessário determinar seu custo. O sistema FV do caso em tela já foi dimensionado e os principais equipamentos escolhidos. Entretanto, ainda há outros elementos que influenciam significativamente na cifra inicial do projeto. A Tabela 3 indica esses valores:

Tabela 3 – Precificação dos elementos do projeto

| Item  | Valor                |
|---|----------------------|
| Módulos FV  | R\$ 27.706,94        |
| Inversor  | R\$ 6.159,05         |
| Estrutura para os módulos   | R\$ 1.000,00         |
| Outros (cabearamento, dispositivos de proteção, conectores, etc.) | R\$ 2.000,00         |
| Mão de obra (projeto e execução)                                  | R\$ 8.000,00         |
| <b>Total</b>  | <b>R\$ 44.865,99</b> |

Fonte: Produção do próprio autor.

A mão de obra prevê a contratação de dois profissionais aptos e certificados para a execução deste tipo de trabalho. Estima-se que dois dias serão necessários para a completa instalação. Além disso, também contempla a remuneração do engenheiro envolvido no projeto. Quanto à

estrutura para fixação dos módulos, será utilizada a adequada para o tipo de telhado em questão, no caso, fibrocimento ondulado.

#### 4.4.2 Payback

Em um investimento, o payback é o tempo que se leva para se recuperar o valor total aplicado inicialmente. Alguns parâmetros devem ser observados e incluídos nos cálculos ao se estimar essa variável.

Primeiramente é importante determinar o custo do serviço de energia elétrica, que é dado pelo valor da Tarifa de Energia (TE) somada à Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). Entretanto, a estes valores incorrem o ICMS calculado “por dentro”, PIS e COFINS.

A tarifa vigente destes serviços em 2021 para o grupo B3 é de R\$ 0,30118 de TE e R\$ 0,24493 para a TUSD. Para encontrar a tarifa equivalente, já com os impostos incidentes, a equação (4) é utilizada.

$$TS_{eq} = \frac{(TE+TUSD)_{vigente}}{1-(ICMS+PIS+COFINS)} \quad (4)$$

onde:

$TS_{eq}$  é a tarifa de serviço equivalente (R\$/KWh)

No corrente ano, a tarifa de serviço equivalente é de R\$ 0,765/ KWh. Tendo este valor como ponto de partida, já que a análise começa no ano de 2021, é importante levar em conta o reajuste anual dessa tarifa. Essa é uma estimativa difícil de ser prevista, mas uma média anual pode ser estabelecida, baseando-se em uma amostra de anos anteriores. No caso particular, fixou-se um valor de 7% de aumento ao ano.

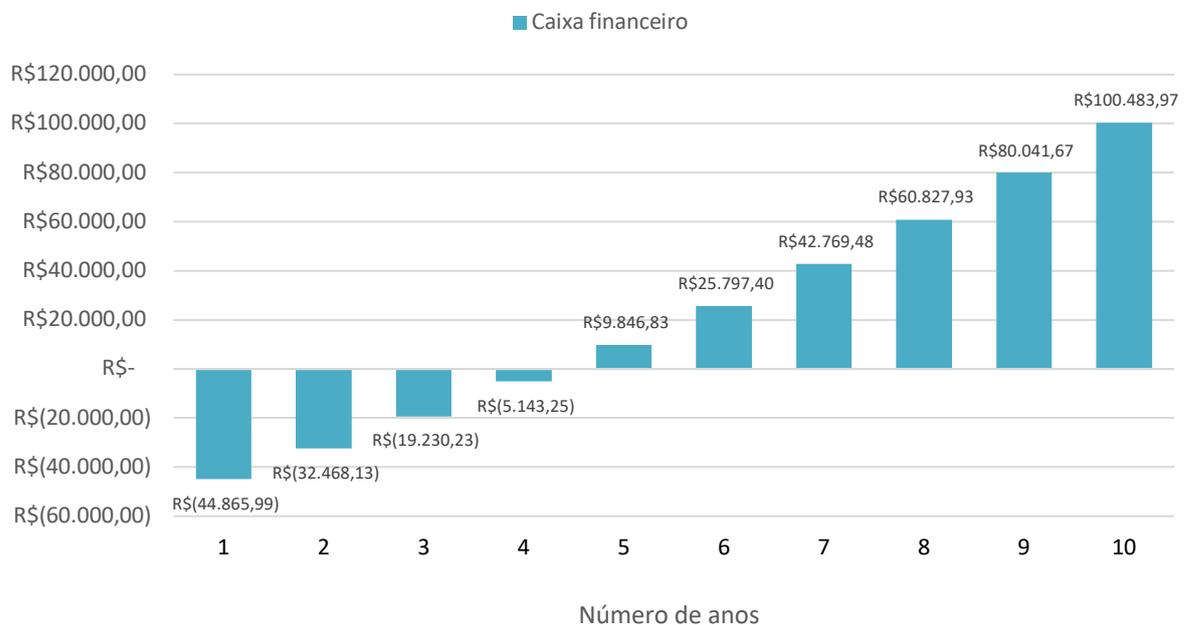
Outra variável importante, já mencionada anteriormente, é o custo de disponibilidade da rede, que é o preço da tarifa aplicada a 100 KWh de consumo, que é o valor mínimo que a instalação deve pagar à EDP no caso de um sistema trifásico. Também deve ser levado em conta o desempenho dos módulos FV com o passar dos anos.

Para calcular o *Payback* do sistema, basta observar a progressão de economia dada pelo projeto com o passar dos anos, até que o valor investido inicialmente seja compensado pelos ganhos do

sistema. O detalhamento para 25 anos da garantia dada pelo fabricante dos painéis FV podem ser conferidas no Apêndice A. O Gráfico 5 exibe um período de 10 anos de compensação financeira dada pela economia oferecida pelo sistema. O valor inicial representa o custo inicial do projeto.

Nota-se que o quinto ano já se inicia com fluxo de caixa positivo, isso significa que em algum momento do quarto ano o investimento se pagou por meio da economia gerada pelo sistema. Portanto, com o dimensionamento proposto, o *payback* do projeto seria de 4 anos.

Gráfico 5 – Evolução da recuperação do investimento inicial



Fonte: Produção do próprio autor.

#### 4.4.3 Valor presente líquido

O Valor Presente Líquido (VPL) indica a viabilidade do investimento, pois traz todo fluxo de caixa futuro para valores do presente. Isso é importante, pois o valor de qualquer moeda não é o mesmo com passar do tempo. A equação (5) realiza esse cálculo.

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} \quad (5)$$

onde:

$FC_0$  é o fluxo de caixa no presente

TMA é a taxa mínima de atratividade

$j$  representa o incremento, neste caso, anual.

É importante destacar que para que o projeto seja classificado como viável, o valor de VPL deve ser positivo. Do contrário, significa que o investimento não é viável.

A TMA escolhida foi de 10% e o VPL foi calculado para alguns cenários propostos. Os resultados são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 4 – VPL com TMA de 10%

| Período | VPL            |
|---------|----------------|
| 7 anos  | R\$ 24.471,43  |
| 12 anos | R\$ 62.626,58  |
| 20 anos | R\$ 111.820,96 |
| 25 anos | R\$ 136.472,62 |

Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando os valores de VPL mostrados, pode-se concluir, portanto, que o projeto é viável.

#### 4.4.4 Taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (TIR) é um índice dado em porcentagem e indica quanto poderia se ter de desconto até que o investimento se tornasse indiferente, ou seja, com VPL igual a zero.

Por meio deste índice pode-se comparar mais facilmente o quão interessante é um investimento frente a outro. A equação (6) expressa matematicamente esse conceito.

$$VPL = 0 = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} \quad (7)$$

Para o projeto em questão o TIR encontrado para o período de 25 anos foi de 34%.

## 5 CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho, muitas considerações foram feitas para que se pudesse obter os resultados numéricos que suportassem uma análise de viabilidade econômica. Com os resultados obtidos, ficou evidente que o projeto em questão é muito mais vantajoso do que diversas outras possíveis aplicações no mercado financeiro. Já no quinto ano após o início do funcionamento, o valor investido inicialmente já seria pago.

Alguns custos adicionais não foram incluídos como, por exemplo, a troca do inversor após sua expectativa de vida ou ainda a manutenção do sistema com a limpeza dos módulos. Ainda assim, não restam dúvidas de que por mais que estes adicionais fossem incluídos nas expectativas numéricas, o resultado ainda seria favorável ao investimento.

É de suma importância, no entanto, que não se ignore os riscos envolvidos em um projeto dessa natureza. Como a variável temporal é muito extensa, imprevisibilidades podem existir e são de difícil especulação. Por exemplo, um dos valores que impulsionaram o vantajoso retorno pecuniário foi a estimativa assumida sobre a tarifa de energia. Utilizou-se 7%, mas como já citado anteriormente, esse é um item difícil de estimar.

Além disso, o mundo passa por transformações tecnológicas em uma rapidez enorme e é impossível ser certo quanto a uma outra possível tecnologia que possa surgir em 10 ou 20 anos e fazer frente às demais.

Por outro lado, ao menos atualmente, os ventos sopram forte na direção da energia solar, dado que os combustíveis fósseis não são eternos e existem indagações sobre o futuro das fontes hidro.

Não se pode subestimar, também, as políticas públicas e seus possíveis anseios tributários sobre a questão. Faz sentido que em um primeiro momento se fomente o setor, mas não é incomum que se siga a cobiça, o que pode suprimir quantitativamente as expectativas deste estudo de caso.

Apesar das incertezas discutidas e possíveis contrapontos é difícil negar que essa aplicação é muitíssimo vantajosa. Supor um cenário para daqui a 20 anos é realmente uma tarefa difícil, mas é seguro acreditar que os números utilizados nesse trabalho sejam confiáveis pelos próximos 10 anos. Além disso, as incertezas podem funcionar, também, no sentido de beneficiar o projeto, tornando-o até mais rentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. **Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e outras providências.** Brasília, DF: ANEEL, 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. **Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição.** Brasília, DF: ANEEL, 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2020.

ALDO. **Aldo Solar – Maior distribuidor de energia solar do Brasil.** 2020. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/>. Acesso em: 05 Abr. 2021.

ATLAS SOLAR GLOBAL. **Solar Resource Map.** 2019. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/download/world>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BASSO, ANDREZA CÁTIA. **O átomo de Bohr no nível médio: uma análise sob o referencial Lakatosiano.** 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/86829/205597.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 jul. 2020.

BISQUOLO, PAULO AUGUSTO. **Semicondutores – tipos mais comuns de semicondutores.** 2020. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/semicondutores-tipos-mais-comuns-de-semicondutores.htm#:~:text=S%C3%A3o%20aqueles%20que%20est%C3%A3o%20numa,mat%C3%A9rias%20s%C3%A3o%20classificados%20como%20semicondutores.&text=O%20sil%C3%ADcio%20e%20o%20germ%C3%A2nio,tomar%20como%20exemplo%20o%20sil%C3%ADcio>. Acesso em: 25 jul. 2020.

BLUESOL. **Célula Fotovoltaica – O Guia Técnico Absolutamente completo.** 2017. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo>. Acesso em: 15 jul 2020.

BLUEVISION. **Por que uma matriz energética diversificada e verde é importante?** 2018. Disponível em: <https://bluevisionbraskem.com/inteligencia/por-que-uma-matriz-energetica-diversificada-e-verde-e-importante/>. Acesso em: 25 set. 2020

BRASIL. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira.** 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 02 ago. 2020.

BRASIL ESCOLA. **Elemento Químico.** 2018. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/elemento-quimico.htm#:~:text=Elemento%20qu%C3%ADmico%20%C3%A9%20o%20conjunto%20de%20%C3%A1tomos%20de%20mesmo%20n%C3%BAmero,%C3%A1tomo%20possui%20>

em%20seu%20n%C3%BAcleo.&text=Assim%2C%20na%20Tabela%20Peri%C3%B3dica%2C%20apresentada,elementos%20qu%C3%ADmicos%20uns%20dos%20outros. Acesso em: 11 jul. 2020.

CHEMICALAID. **Silício (Si)**. 2020. Disponível em: <https://pt.intl.chemicalaid.com/element.php?symbol=Si>. Acesso em: 06 jul. 2020.

CURSO ENEM GRATUITO. **As partículas fundamentais do átomo**. 2020. Disponível em: <https://cursoenemgratuito.com.br/particulas-fundamentais-do-atomo>. Acesso em: 20 jul. 2020.

DESCOMPLICA. **O que é a teoria do Octeto?** 2020. Disponível em: <https://descomplica.com.br/artigo/o-que-e-a-teoria-do-octeto/4SV>. Acesso em: 25 jul 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2020, ano base 2019**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%2020.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2021.

\_\_\_\_\_. **Balço energético Nacional, ano base 2019**. 2020b. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020\\_sp.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf). Acesso em: 19 mar. 2021.

ENERGIAS DE PORTUGAL. **Padrão Técnico**. 2019. Disponível em: <https://www.edp.com.br/CentralDocumentos/PT.DT.PDN.03.14.012.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2020.

FELTRE, Ricardo. **Química Geral**. 1 ed. São Paulo: Moderna, 2004. p. 136.

FRAGMAQ. **A importância da diversificação da matriz energética no Brasil**. 2014. Disponível em: <https://www.agmaq.com.br/blog/importancia-diversificacao-matriz-energetica-brasil/#:~:text=Quando%20falamos%20em%20matriz%20energ%C3%A9tica,efeito%20estufa%2C%20entre%20muitos%20outros>. Acesso em: 29 jul. 2020.

FREGONEZI, MARCO AURÉLIO. **Semicondutor intrínseco**. 2017. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/fregonezi/Capitulo%2002%20-%20Semicondutor%20Intrinseco.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2020.

GOOGLE EARTH. **Google Maps**. 2020. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Fazenda+Monte+Si%C3%A3o/@-19.8873306,-41.7776459,307457m/data=!3m1!1e3!4m1!1m6!2m5!1sFazenda+Monte+Si%C3%A3o!5m3!5m2!4m1!1i2!3m8!1s0xb78861e3f51bff:0xb17b9d758152d6ae!5m2!4m1!1i2!8m2!3d-20.043171!4d-40.455844!15sChNGYXplbmRhIE1vbnRlIFNpw6NvkGEFaG90ZWw?hl=pt-BR&authuser=1>. Acesso em: 04 abr. 2021

GREENER. **Estudo Estratégico: Mercado Fotovoltaico de Geração Distribuída 2º Semestre de 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-2-semester-de-2020/>. Acesso em: 29 abr. 2020

INSTALO SOLAR. **As maiores usinas fotovoltaicas do Brasil**. 2018. Disponível em: <https://www.instalosolar.com.br/blog-instalo-solar/as-maiores-usinas-fotovoltaicas-do-brasil>. Acesso em: 29 jul. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **O que é e como funciona o mercado de carbono?** 2018. Disponível em: <https://www.instalosolar.com.br/blog-instalo-solar/as-maiores-usinas-fotovoltaicas-do-brasil>. Acesso em: 19 mar. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – INTERNACIONAL ENERGY AGENCY. **Solar PV on track**. 2020a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/solar-pv>. Acesso em: 05 fev. 2021

\_\_\_\_\_. **Brazil**. 2020b. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil>. Acesso em: 05 fev. 2021.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Country Rankings**. 2018. Disponível em: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>. Acesso em: 10 out. 2020

JUNIOR, Alcides Arruda. **Métodos para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR): síntese e aplicação**. 2019. Disponível em: DISS\_2019\_Alcides Arruda Junior.pdf. . Acesso em: 01 abr. 2021

LABORATÓRIO DE SISTEMAS INTEGRÁVEIS. **Geração e recombinação**. 2020. Disponível em: [http://www.lsi.usp.br/~eletroni/milton/ger\\_reco.htm](http://www.lsi.usp.br/~eletroni/milton/ger_reco.htm). Acesso em: 15 jul. 2020.

\_\_\_\_\_. **Junção P-N**. 2020. Disponível em: <http://www.lsi.usp.br/~eletroni/milton/depl.htm>. Acesso em: 18 jul. 2020.

LIRA, Júlio Cesar Lima. **Silício**. 2018. Disponível em: <https://www.infoescola.com/elementos-quimicos/silicio/>. Acesso em: 10 jul. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira**. 2020. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/resenha-energetica-brasileira#:~:text=A%20Resenha%20Energ%C3%A9tica%20Brasileira%20%C3%A9,al%C3%A9m%20da%20an%C3%A1lise%20de%20dados>. Acesso em: 25 jul. 2020.

\_\_\_\_\_. **A Mineiração Brasileira**. 2009. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/36108/448620/P27\\_RT37\\_Perfil\\_do\\_Quartzo.pdf/50cd24f2-6f8d-44d3-59cb-91d3e509af72?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/36108/448620/P27_RT37_Perfil_do_Quartzo.pdf/50cd24f2-6f8d-44d3-59cb-91d3e509af72?version=1.0). Acesso em: Acesso em: 25 jul. 2020.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Modelo Atômico de Rutheford-Bohr**. 2020. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/modelo-atomico-rutherford-bohr.htm>. Acesso em: 08 jul. 2020.

OLIVEIRA, ÓTOM ANSELMO DE. **Evolução dos modelos atômicos de Leucipo a Rutheford**. Natal: EDUFRN. 2006. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/denilsonmaia/evolucao-dos-modelos-atomicos>. Acesso em: 20 jul. 2020.

PAULA, RICARDO NORMANDO FERREIRA DE. **História do Átomo**. 2010. Disponível em: [https://www.infoescola.com/fisica/historia-do-atomo/#:~:text=Este%20nome%20\(%C3%A1tomo\)%20foi%20dado,\(546%20%2D%20460%20a.C.\).&text=J%C3%A1%20no%20s%C3%A9culo%20XX%2C%20Ernest,podia%20perceber%20um%20n%C3%BAcleo%20denso](https://www.infoescola.com/fisica/historia-do-atomo/#:~:text=Este%20nome%20(%C3%A1tomo)%20foi%20dado,(546%20%2D%20460%20a.C.).&text=J%C3%A1%20no%20s%C3%A9culo%20XX%2C%20Ernest,podia%20perceber%20um%20n%C3%BAcleo%20denso). Acesso em: 05 jul. 2020.

PORTAL EDUCAÇÃO. **Condutores, isolantes e semicondutores**. 2020. Disponível em: <https://siteantigo.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/educacao/condutores-isolantes-e-semicondutores/39177>. Acesso em: 20 jul. 2020.

PORTAL G1. **Cúpula do clima na ONU debate ações para conter o aquecimento global**. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/ao-vivo/cupula-do-clima-na-onu-debate-acoes-para-conter-o-aquecimento-global.ghtml>. Acesso em: 19 mar. 2021.

PORTAL SOLAR. **Geração de energia solar deve atingir 10% da matriz elétrica nacional até 2030, segundo EPE**. 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/geracao-de-energia-solar-deve-atingir-10-da-matriz-eletrica-nacional-ate-2030-segundo-epe.html>. Acesso em: 25 jul. 2020.

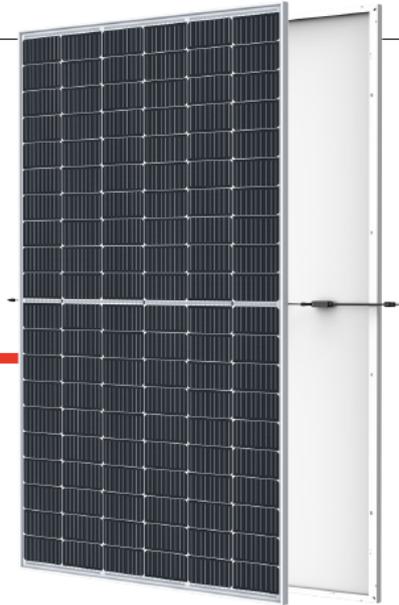
UNIVERSIDADE VIRTUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **A Evolução do modelo atômico**. 2020. Disponível em: <https://apps.univesp.br/evolucao-do-modelo-atomico/>. Acesso em: 05 jul. 2020.

## ANEXO A – DATASHEET DO MÓDULO FV

Mono Multi Soluções

# Honey<sup>M</sup>

MÓDULO MONOCRISTALINO DE 120 CÉLULAS



**120 CÉLULAS**  
MONOCRISTALINAS

PRODUTOS | FAIXA DE POTÊNCIA  
TSM-DE09M(II) | 360-380W

**360-380W**  
FAIXA DE POTÊNCIA

**20.7%**  
EFICIÊNCIA MÁXIMA

**0~+5W**  
TOLERÂNCIA DE POTÊNCIA  
POSITIVA

Fundada em 1997, a Trina Solar é líder mundial no fornecimento de soluções para energia solar. Com presença local em todo o mundo, a Trina Solar é capaz de fornecer um serviço excepcional a cada cliente, em cada mercado e entregar produtos inovadores e confiáveis sendo uma marca forte e lucrativa. A Trina Solar agora distribui seus produtos PV para mais de 100 países em todo o mundo. Estamos comprometidos em construir colaborações estratégicas e mutuamente benéficas com instaladores, desenvolvedores, distribuidores e outros parceiros para que juntos possamos impulsionar a energia inteligente.

### CERTIFICAÇÕES INTERNACIONAIS DO PRODUTO

IEC61215 / IEC61730 / IEC61701 / IEC62716 / UL1703

ISO 9001: Sistema de Gestão da Qualidade

ISO 14001: Sistema de Gestão Ambiental

ISO 14064: Verificação de Emissões de Gases de Efeito Estufa ISO

45001: Sistema de Gestão da Saúde e Segurança no Trabalho



**TrinaSolar**



### Alta Potencia

- Até 380W de potência com 20.7% de eficiência utilizando células "half-cut" e a tecnologia MBB de interconexão, melhorando o retorno do seu investimento
- Menor resistência em série e excelente rendimento de coleta de corrente com a tecnologia MBB garantindo a alta potência



### Alta Confiabilidade

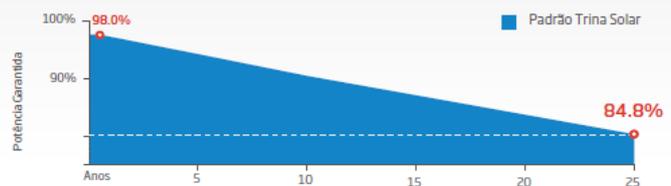
- Resistência PID garantida pelo rigoroso controle de qualidade Trina Solar
- Resistente a ambientes ácidos, salinos e com amônia
- Performance mecânica: +5400 Pa/- 2400 Pa dependendo do modo de instalação



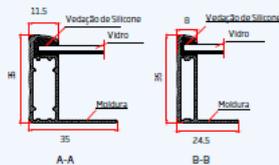
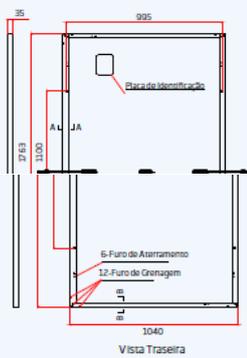
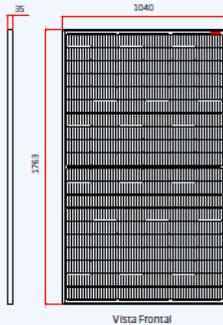
### Alta Geração de Energia

- Excelente IAM (modificador de ângulo de incidência) e ótimo desempenho a baixa irradiação, validado por certificadores internacionais
- O design exclusivo fornece produção otimizada de energia sob condições de sombreamento
- Baixo coeficiente de temperatura (-0,34%) e temperatura de operação

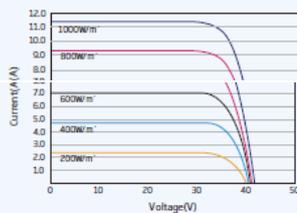
### GARANTIA DE PERFORMANCE



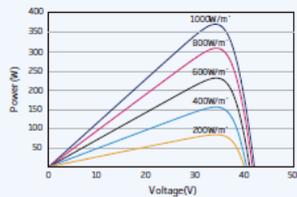
## DIMENSÕES DO MÓDULO PV (mm)



## CURVAS I-V DO MÓDULO (370W)



## CURVAS P-V DO MÓDULO (370W)



## DADOS ELÉTRICOS (STC)

|  |        |       |       |       |       |
|--|--------|-------|-------|-------|-------|
| Potência de Pico em Watts- $P_{MP}$ (WP) * | 360    | 365   | 370   | 375   | 380   |
| Tolerância de Potência- $P_{MAX}$ (W)      | 0 ~ +5 |       |       |       |       |
| Tensão Máxima de Potência- $V_{MP}$ (V)    | 33.6   | 33.9  | 34.2  | 34.4  | 34.7  |
| Corrente de Potência Máxima- $I_{MP}$ (A)  | 10.70  | 10.76 | 10.82 | 10.89 | 10.96 |
| Tensão de Circuito Aberto- $V_{OC}$ (V)    | 40.7   | 41.0  | 41.3  | 41.6  | 41.9  |
| Corrente de Curto-Circuito- $I_{SC}$ (A)   | 11.24  | 11.30 | 11.37 | 11.45 | 11.52 |
| Eficiência de Módulo $\eta$ (%)            | 19.6   | 19.9  | 20.2  | 20.5  | 20.7  |

STC: Irradiância 1000W/m<sup>2</sup>, Temperatura da Célula 25°C, Massa de Ar AM1.5\* Tolerância de medição:  $\pm 3\%$ .

## DADOS ELÉTRICOS (NOCT)

|   |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|
| Potência Máxima Watts- $P_{MP}$ (WP)      | 271  | 275  | 279  | 283  | 287  |
| Tensão Máxima de Potência- $V_{MP}$ (V)   | 31.5 | 31.8 | 32.0 | 32.2 | 32.5 |
| Corrente de Potência Máxima- $I_{MP}$ (A) | 8.60 | 8.65 | 8.71 | 8.77 | 8.83 |
| Tensão de Circuito Aberto- $V_{OC}$ (V)   | 38.3 | 38.6 | 38.9 | 39.2 | 39.4 |
| Corrente de Curto-Circuito- $I_{SC}$ (A)  | 9.06 | 9.10 | 9.16 | 9.23 | 9.28 |

NOCT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

## DADOS MECÂNICOS

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Células Solares       | Monocristalinas   |
| No Células            | 120 cells (6 x 20)  |
| Dimensões do módulo   | 1763 x 1040 x 35 mm (69.41 x 40.94 x 1.38 polegadas)  |
| Peso                  | 20.0 kg (44.1 lb)   |
| Vidro                 | 3.2 mm (0.13 pol.), Alta Transmissão, Vidro Reforçado com Revestimento Térmico Anti Reflexo   |
| Material Encapsulante | EVA   |
| Backsheet             | Branco  |
| Molde                 | Liga de Alumínio Anodizado de 35 mm (1.38 polegadas)  |
| Caixa de Derivação    | IP 68   |
| Cabos                 | Cabo de Tecnologia Fotovoltaica de 4,0 mm (0.006 polegadas),<br>Retrato: N 280mm/P 280mm (11.02/11.02 polegadas)<br>Paisagem: N 1200 mm/P 1200 mm (47.24/47.24 polegadas) |
| Conector              | MC4 EV02/TS4*   |

\*Consulte a folha de dados regional para obter o conector especificado

## COEFICIENTES DE TEMPERATURA

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| NMOT (Temperatura Operacional do Módulo Nominal) | 43°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) |
| Coefficiente de Temperatura de $P_{MAX}$         | - 0.34%/°C                     |
| Coefficiente de Temperatura de $V_{OC}$          | - 0.25%/°C                     |
| Coefficiente de Temperatura do $I_{SC}$          | 0.04%/°C                       |

(Não conecte o Fusível na caixa de Fusíveis com dois ou mais fios em conexão paralela)

## GARANTIA

- 12 anos de Garantia do Produto
- 25 anos de Garantia de Entrega de Energia
- 2% de degradação do primeiro ano
- 0.55% atenuação anual de potência

(Favor consultar o documento de garantia para maiores detalhes)

## LIMITES OPERACIONAIS

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| Temperatura Operacional      | -40 ~ +85 °C   |
| Tensão Máxima do Sistema     | 1500V DC (IEC) |
| Capacidade Máxima do Fusível | 20A            |

## CONFIGURAÇÃO DE EMBALAGEM

- Módulos por Pallet: 31 unidades
- Módulos por Container de 40': 806 unidades

## ANEXO B – DATASHEET DO INVERSOR

# MIN 10000 TL-X

- Eficiência máxima de 98.1 %
- 3 MPP trackers
- SPD Type II no lado CC
- Suporta controle de exportação
- Display OLED e Touch




**POWER  
- ING  
TOMO -  
RROW**

**Growatt**

[www.ginverter.com](http://www.ginverter.com)

| Ficha de dados   | MIN 10000TL-X     |  |  |  |
|--|-------------------|--|--|--|
| <b>Dados de entrada (CC)</b>                           |                   |  |  |  |
| Potência máxima FV máxima recomendada (por módulo STC) | 15000W            |  |  |  |
| Tensão Máxima CC                                       | 600V              |  |  |  |
| Tensão de start  | 100V              |  |  |  |
| Tensão nominal   | 360V              |  |  |  |
| Faixa de tensão MPP                                    | 60-550V           |  |  |  |
| Número de MPP trackers                                 | 3                 |  |  |  |
| Número de strings FV por MPP tracker                   | 1/1/2             |  |  |  |
| Corrente máxima de entrada por MPP tracker             | 13.5A/13.5A/27A   |  |  |  |
| Corrente máxima de curto circuito por MPP tracker      | 16.9A/16.9A/33.8A |  |  |  |

| Dados de saída (CA)                        |                           |
|--|---------------------------|
| Máxima potência nominal CA                 | 10000W                    |
| Potência máxima aparente CA                | 10000VA                   |
| Tensão nominal CA                          | 220V/160~300V             |
| Frequência da rede CA                      | 50/60Hz(44-55Hz/54-65Hz)  |
| Corrente de saída máxima                   | 45.5A                     |
| Fator de potência ajustável                | 0.8f-0.8c                 |
| THDI                                       | <3%                       |
| Tipo de conexão de rede CA                 | Monofásico                |
| Eficiência                                 |                           |
| Eficiência máxima                          | 98.1%                     |
| Eficiência europeia                        | 97.6%                     |
| Eficiência MPPT                            | 99.5%                     |
| Dispositivos de proteção                   |                           |
| Proteção de polaridade reversa CC          | Sim                       |
| Chave seccionadora CC                      | Sim                       |
| Proteção contra sobretensão CC/CA          | Type II / Type III        |
| Monitoramento de resistência de isolamento | Sim                       |
| Proteção de curto circuito CA              | Sim                       |
| Monitoramento de falha da rede             | Sim                       |
| Monitoramento da rede                      | Sim                       |
| Proteção anti-filamento                    | Sim                       |
| Monitoramento de corrente residual         | Sim                       |
| Dados Gerais                               |                           |
| Dimensões (UA/P)                           | 425/387/180mm             |
| Peso                                       | 18.2kg                    |
| Faixa de temperatura operacional           | -25 °C ... +60 °C         |
| Consumo naturo                             | < 1W                      |
| Topologia                                  | Sem transformador         |
| Resfriamento                               | Refrigeração natural      |
| Grau de proteção                           | IP66                      |
| Humidade relativa                          | 0-100%                    |
| Altitude                                   | 4000m                     |
| Conexão CC                                 | H4/MC4(Optional)          |
| Conexão CA                                 | Cable gland + OT terminal |
| Display                                    | OLED+LED/WIFI+APP         |
| Interfaces: RS485 / USB/M-F / GPRS/ RF/LAN | Sim/Sim/Sim               |
| Garantia: 5 anos/10 anos                   | Sim                       |

CE, IEC 62116, IEC 61727, IEC62109, INMETRO, AS4777

## APÊNDICE A – FLUXO DE CAIXA POR 25 ANOS

| Ano          | Eficiência do Sistema | Consumo médio anual (KWh) | Valor Anual da Conta sem Sistema (TD inclusa) | Valor Anual da Taxa de Disponibilidade | Energia gerada pelo SGFV (KWh) | Projeção da tarifa (R\$/KWh) | Arrecadação pela venda de energia gerada pelo SFV | Valor Anual da Conta com Sistema | Economia              | Acumulado da economia |
|--------------|-----------------------|---------------------------|---|--|--------------------------------|------------------------------|---|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1            | 98,00%                | 15720                     | R\$ 13.316,22                                 | R\$ 918,36                             | 15774,57                       | 0,7653                       | R\$ 12.072,28                                     | R\$ 918,36                       | R\$ 12.397,86         | R\$ 12.397,86         |
| 2            | 97,45%                | 15720                     | R\$ 14.248,36                                 | R\$ 982,65                             | 15686,04                       | 0,8189                       | R\$ 12.844,84                                     | R\$ 1.010,45                     | R\$ 13.237,90         | R\$ 25.635,76         |
| 3            | 96,90%                | 15720                     | R\$ 15.245,74                                 | R\$ 1.051,43                           | 15597,51                       | 0,8762                       | R\$ 13.666,41                                     | R\$ 1.158,76                     | R\$ 14.086,98         | R\$ 39.722,74         |
| 4            | 96,35%                | 15720                     | R\$ 16.312,94                                 | R\$ 1.125,03                           | 15508,98                       | 0,9375                       | R\$ 14.540,06                                     | R\$ 1.322,87                     | R\$ 14.990,07         | R\$ 54.712,82         |
| 5            | 95,80%                | 15720                     | R\$ 17.454,85                                 | R\$ 1.203,78                           | 15420,45                       | 1,0032                       | R\$ 15.469,06                                     | R\$ 1.504,28                     | R\$ 15.950,57         | R\$ 70.663,39         |
| 6            | 95,25%                | 15720                     | R\$ 18.676,69                                 | R\$ 1.288,05                           | 15331,92                       | 1,0734                       | R\$ 16.456,86                                     | R\$ 1.704,61                     | R\$ 16.972,08         | R\$ 87.635,47         |
| 7            | 94,70%                | 15720                     | R\$ 19.984,06                                 | R\$ 1.378,21                           | 15243,39                       | 1,1485                       | R\$ 17.507,16                                     | R\$ 1.925,61                     | R\$ 18.058,45         | R\$ 105.693,92        |
| 8            | 94,15%                | 15720                     | R\$ 21.382,94                                 | R\$ 1.474,69                           | 15154,85                       | 1,2289                       | R\$ 18.623,87                                     | R\$ 2.169,20                     | R\$ 19.213,74         | R\$ 124.907,66        |
| 9            | 93,60%                | 15720                     | R\$ 22.879,75                                 | R\$ 1.577,91                           | 15066,32                       | 1,3149                       | R\$ 19.811,13                                     | R\$ 2.437,45                     | R\$ 20.442,29         | R\$ 145.349,96        |
| 10           | 93,05%                | 15720                     | R\$ 24.481,33                                 | R\$ 1.688,37                           | 14977,79                       | 1,4070                       | R\$ 21.073,35                                     | R\$ 2.732,63                     | R\$ 21.748,70         | R\$ 167.098,65        |
| 11           | 92,50%                | 15720                     | R\$ 26.195,02                                 | R\$ 1.806,55                           | 14889,26                       | 1,5055                       | R\$ 22.415,20                                     | R\$ 3.057,20                     | R\$ 23.137,82         | R\$ 190.236,47        |
| 12           | 91,95%                | 15720                     | R\$ 28.028,67                                 | R\$ 1.933,01                           | 14800,73                       | 1,6108                       | R\$ 23.841,66                                     | R\$ 3.413,81                     | R\$ 24.614,86         | R\$ 214.851,34        |
| 13           | 91,40%                | 15720                     | R\$ 29.990,68                                 | R\$ 2.068,32                           | 14712,20                       | 1,7236                       | R\$ 25.357,98                                     | R\$ 3.805,37                     | R\$ 26.185,31         | R\$ 241.036,65        |
| 14           | 90,85%                | 15720                     | R\$ 32.090,03                                 | R\$ 2.213,11                           | 14623,67                       | 1,8443                       | R\$ 26.969,77                                     | R\$ 4.235,02                     | R\$ 27.855,01         | R\$ 268.891,66        |
| 15           | 90,30%                | 15720                     | R\$ 34.336,33                                 | R\$ 2.368,02                           | 14535,14                       | 1,9734                       | R\$ 28.682,95                                     | R\$ 4.706,17                     | R\$ 29.630,16         | R\$ 298.521,82        |
| 16           | 89,75%                | 15720                     | R\$ 36.739,87                                 | R\$ 2.533,78                           | 14446,61                       | 2,1115                       | R\$ 30.503,82                                     | R\$ 5.222,53                     | R\$ 31.517,34         | R\$ 330.039,16        |
| 17           | 89,20%                | 15720                     | R\$ 39.311,66                                 | R\$ 2.711,15                           | 14358,08                       | 2,2593                       | R\$ 32.439,08                                     | R\$ 5.788,13                     | R\$ 33.523,53         | R\$ 363.562,69        |
| 18           | 88,65%                | 15720                     | R\$ 42.063,48                                 | R\$ 2.900,93                           | 14269,55                       | 2,4174                       | R\$ 34.495,79                                     | R\$ 6.407,31                     | R\$ 35.656,16         | R\$ 399.218,85        |
| 19           | 88,10%                | 15720                     | R\$ 45.007,92                                 | R\$ 3.103,99                           | 14181,02                       | 2,5867                       | R\$ 36.681,50                                     | R\$ 7.084,83                     | R\$ 37.923,10         | R\$ 437.141,95        |
| 20           | 87,55%                | 15720                     | R\$ 48.158,48                                 | R\$ 3.321,27                           | 14092,49                       | 2,7677                       | R\$ 39.004,17                                     | R\$ 7.825,79                     | R\$ 40.332,68         | R\$ 477.474,64        |
| 21           | 87,00%                | 15720                     | R\$ 51.529,57                                 | R\$ 3.553,76                           | 14003,96                       | 2,9615                       | R\$ 41.472,29                                     | R\$ 8.635,78                     | R\$ 42.893,79         | R\$ 520.368,43        |
| 22           | 86,45%                | 15720                     | R\$ 55.136,64                                 | R\$ 3.802,53                           | 13915,42                       | 3,1688                       | R\$ 44.094,81                                     | R\$ 9.520,82                     | R\$ 45.615,82         | R\$ 565.984,25        |
| 23           | 85,90%                | 15720                     | R\$ 58.996,20                                 | R\$ 4.068,70                           | 13826,89                       | 3,3906                       | R\$ 46.881,28                                     | R\$ 10.487,44                    | R\$ 48.508,76         | R\$ 614.493,01        |
| 24           | 85,35%                | 15720                     | R\$ 63.125,94                                 | R\$ 4.353,51                           | 13738,36                       | 3,6279                       | R\$ 49.841,78                                     | R\$ 11.542,75                    | R\$ 51.583,19         | R\$ 666.076,20        |
| 25           | 84,80%                | 15720                     | R\$ 67.544,75                                 | R\$ 4.658,26                           | 13649,83                       | 3,8819                       | R\$ 52.987,04                                     | R\$ 12.694,41                    | R\$ 54.850,35         | R\$ 720.926,54        |
| <b>Total</b> |                       |                           | <b>R\$ 842.238,10</b>                         | <b>R\$ 58.085,39</b>                   | <b>367805,03</b>               | <b>-</b>                     | <b>R\$ 697.734,15</b>                             | <b>R\$ 121.311,56</b>            | <b>R\$ 720.926,54</b> | <b>R\$ 720.926,54</b> |