

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**SÉRGIO RICARDO FAGÁ JÚNIOR**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE UMA MINIGERAÇÃO PARA  
CONSUMIDORES DO GRUPO A**

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2022**

**SÉRGIO RICARDO FAGÁ JÚNIOR**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE UMA MINIGERAÇÃO PARA  
CONSUMIDORES DO GRUPO A**

**Analysis of the feasibility of installing a mini-generation for group A  
consumers**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Ulisses Pereira Rosa Borges.

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2022**



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

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



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**Campus Cornélio Procópio**  
**Departamento Acadêmico de Elétrica**  
**Curso de Engenharia Elétrica**



## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Sérgio Ricardo Fagá Júnior**

### **Análise da viabilidade da instalação de uma minigeração para consumidores do grupo A**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 08:00hs do dia 24/06/2022 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof(a). Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges - Presidente (Orientador)

---

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto - (Membro)

---

Prof(a). Esp. Eduardo Heinemann - (Membro)

Dedico este trabalho à minha família, amigos e todos aqueles que contribuíram na minha formação.

## RESUMO

Devido ao alto custo da energia no nosso país, o assunto de geração de energia está cada vez mais nos holofotes. Este trabalho busca propor, através da minigeração distribuída de energia fotovoltaico a viabilidade de implementação de um sistema de geração, a fim de tornar mais econômico o consumo de energia, por fim, traçar parâmetros de comparação entre a viabilidade financeira de um sistema de minigeração parcial e integral para uma unidade consumidora do grupo A.

Palavras-chave: Minigeração distribuída; Fotovoltaico; Consumidores grupo A; Economia financeira com energia.

## **ABSTRACT**

Due to the high cost of energy in our country, the subject of energy generation is increasingly in the spotlight. This work seeks to propose, through distributed minigeneration of photovoltaic energy, the feasibility of implementing a generation system, in order to make energy consumption more economical, finally, to draw parameters for comparison between the financial feasibility of a partial minigeneration system and integral for a unit consumed from group A.

Keywords: Distributed mini-generation; Photovoltaic; Group A consumers; Financial savings with energy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Consumo médio de energia elétrica no Brasil por classe .....	14
Figura 2 – Incidência solar na superfície da terra durante as estações do ano	14
Figura 3 – Média da irradiação solar por região .....	17
Figura 4 – Efeito fotovoltaico em uma célula.....	14
Figura 5 – Arranjo fotovoltaico .....	19
Figura 6 – Arranjo em série .....	19
Figura 7 – Arranjo em paralelo.....	20
Figura 8 – Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	21
Figura 9 – Ângulo de incidência solar .....	22
Figura 10 – Irradiância do estado do Paraná .....	27
Figura 11 – Marcas dos módulos FV importados no Brasil.....	30
Figura 12 – Marcas dos inversores FV importados no Brasil .....	31
Gráfico 1 – Payback sistema FV de 143,32kWp.....	35
Gráfico 2 – Geração do sistema FV de 143,32kWp.....	35
Gráfico 3 – Payback sistema FV de 86,45kWp.....	37
Gráfico 4 – Geração do sistema FV de 86,45kWp.....	37
Gráfico 5 – Payback sistema FV de 227,5kWp.....	38
Gráfico 6 – Geração do sistema FV de 227,5kWp.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tarifas da concessionária com impostos inclusos .....	26
Tabela 2 – Principais características do módulo.....	30
Tabela 3 – Principais características do Inversor de 75kW .....	32
Tabela 4 – Principais características do Inversor de 125kW .....	32
Tabela 5 – Cotação dos sistemas FV.....	34
Tabela 6 – Fluxo de caixa do sistema FV de 143,32kWp.....	34
Tabela 7 – Fluxo de caixa do sistema FV de 86,45kWp .....	36
Tabela 8 – Fluxo de caixa do sistema FV de 227,5kWp .....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPE	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FV	Fotovoltaico
NBR	Normas Brasileiras
ROI	Retorno sobre investimento
UC	Unidade consumidora
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VLP	Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
CA	Corrente alternada
CC	Corrente continua
m <sup>2</sup>	Metros quadrados
MW	Megawatt
kV	Quilovolt
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
KWp	Quilowatt pico
V	Volt
W	Watt

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>15</b>
1.3.1	Objetivo geral.....	15
1.3.2	Objetivos específicos.....	15
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Recurso solar</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Irradiação solar no Brasil</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Energia solar fotovoltaica</b> .....	<b>18</b>
2.3.1	Efeito fotovoltaico.....	18
2.3.2	Sistemas fotovoltaicos.....	18
<u>2.3.2.1</u>	<u>Modulo fotovoltaico</u> .....	<u>18</u>
<u>2.3.2.2</u>	<u>Inversor fotovoltaico</u> .....	<u>20</u>
2.3.3	Desempenho do sistema.....	21
<b>2.4</b>	<b>Normas e resoluções</b> .....	<b>22</b>
2.4.1	Resolução Normativa nº 1000, de 07 de dezembro de 2021.....	22
2.4.2	Composição Tarifária.....	23
2.4.3	Classes de fornecimento.....	23
2.4.4	Lei Nº 14.300, de 07 de janeiro de 2022 – Diário oficial da união.....	24
<b>2.5</b>	<b>Indicadores para a viabilidade econômica</b> .....	<b>25</b>
2.5.1	Valor Presente Líquido (VPL).....	25
2.5.2	Tempo de retorno do investimento – <i>Payback</i> .....	25
2.5.3	Retorno sobre investimento (ROI).....	26
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DAS ANÁLISES</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Composição tarifária da unidade</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>Dimensionamento de um sistema fotovoltaico</b> .....	<b>27</b>
3.2.1	Irradiância.....	27
3.2.2	Perdas envolvendo o sistema.....	28
3.2.3	Calculo do sistema para atender a UC.....	28
<b>3.3</b>	<b>Tecnologia</b> .....	<b>29</b>
<b>3.4</b>	<b>Escolha dos sistemas a ser avaliado</b> .....	<b>33</b>

3.4.1	Sistema que atende integralmente a UC.....	33
3.4.2	Sistema que atende parcialmente a UC.....	33
3.4.3	Sistema com projeção de aumento de carga na UC.....	33
<b>3.5</b>	<b>Cotação dos sistemas.....</b>	<b>33</b>
<b>3.6</b>	<b>Avaliação financeira.....</b>	<b>34</b>
3.6.1	Sistema FV de 143,32kWp.....	34
3.6.2	Sistema FV de 86,45kWp.....	36
3.6.3	Sistema FV de 227,5kWp.....	38
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

# **1 INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO**

## **1.1 Introdução**

O Brasil vem em uma grande crescente do consumo de energia elétrica ao longo dos anos, e em consequência disso vem aumentando a procura por novas fontes de energia, alinhado com a procura por fontes geradoras de menor impacto ambiental e fontes renováveis, tendo em vista a preocupação global com o meio ambiente. Com isso abre-se precedentes para novas tecnologias, buscando fontes de energia limpa e renováveis.

O Brasil tem uma grande diversidade de fontes geradoras de energia naturais, como as grandes bacias hidrográficas, ventos fortes, sol ou até mesmo a biomassa, fazendo com que apenas uma pequena parte desta geração seja proveniente de combustíveis fósseis, minimizando os danos causados ao meio ambiente e na geração de energia.

Uma destas formas de gerar energia elétrica vem por meio de módulos fotovoltaicos, podendo ser gerada em grandes parques horizontais ou até mesmo por pequenos sistemas fotovoltaicos distribuídos em telhados de casas e empresas, fazendo com que os consumidores consigam gerar ao menos uma parte da eletricidade que precisam no seu próprio telhado e injetando na rede a sobra desta energia.

Atualmente, o preço para a geração própria fotovoltaico (FV) diminuiu muito comparada com a década passada, no entanto, o preço da energia comercializada pelas concessionárias estão em uma crescente, fazendo com que o custo de energia produzida ao longo da vida útil do sistema fotovoltaico seja mais barato e vantajoso, em relação ao custo da energia proveniente da rede.

## **1.2 Justificativa**

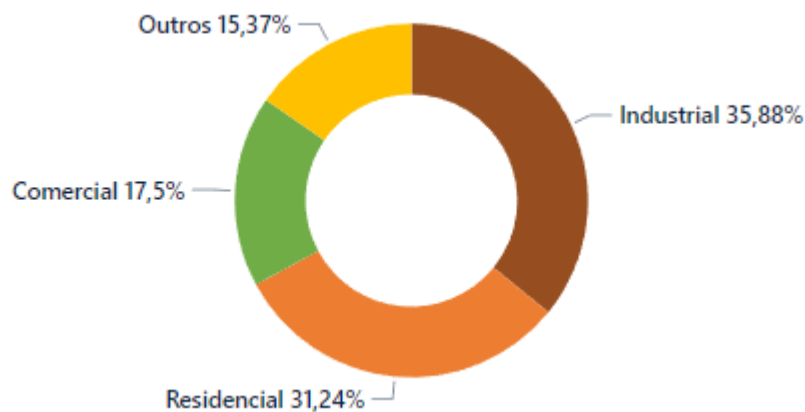
Em um cenário no qual o consumo de energia elétrica está cada vez mais crescente e a preocupação com os impactos ambientais na sua geração também aumentam, as fontes renováveis aparecem em ascensão, tentando minimizar essa crescente e ganhando espaço das fontes geradoras com alta capacidade de danos ambiental. A geração fotovoltaica é um dos modos de obter-se energia limpa,

renovável e ainda sendo gerada na própria unidade consumidora, diminuindo as perdas pela transmissão.

Pensando em aspectos econômicos, o preço da energia proveniente das concessionárias vem cada vez mais aumentando e, por consequência, os equipamentos FV vêm se popularizando e aumentando na produção mundial, fazendo com que seu preço torne-se cada vez mais acessível nos últimos anos. O governo também vem tentando criar atrativos financeiros, como a redução nos impostos de importação dos equipamentos e não taxando a geração de energia própria. Com esses atrativos, nos últimos anos, aumenta-se os adeptos a geração de energia proveniente dos módulos fotovoltaicos.

Analisando o cenário no país, na qual, o maior consumo de energia elétrica é proveniente da indústria e das residências, segundo o EPE (Empresa de Pesquisa de Energética), demonstrado na Figura 1, que representa o consumo médio de energia elétrica no país durante o período de janeiro de 2021 a abril de 2022.

**Figura 1 – Consumo médio de energia elétrica no Brasil por classe**



**Fonte: EPE (2022)**

Tendo em vista todos esses aspectos, a implantação de uma mini usina fotovoltaica em uma indústria pode-se trazer benefício financeiro interessante ao gerar sua própria energia e abater parte dela ao final na sua conta de energia elétrica. Para isso, serão realizadas simulações de diferentes sistemas a fim de analisar a viabilidade financeira para a implementação desta minigeração fotovoltaica.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Este trabalho visa analisar a viabilidade e a atratividade financeira da implementação de uma minigeração FV de modo a atender parcial ou integral unidades consumidoras do grupo A.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- a) Analisar e dimensionar alguns sistemas fotovoltaicos que atendam de maneiras diferentes uma unidade consumidora do grupo A.
- b) Escolher as tecnologias de módulos e inversores comerciais (que apresentam maior utilização de mercado) para serem utilizados nos diferentes sistemas.
- c) Fazer cotação de mercado a fim de encontrar uma estimativa de preço a esses sistemas FV.
- d) Avaliar a atratividade financeira do retorno do investimento gerado pelos sistemas FV.
- e) Fazer comparações entre os diferentes sistemas e seus retornos financeiros gerados.

## **1.4 Estrutura do trabalho**

Este trabalho foi dividido da seguinte maneira: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados e Considerações Finais

No capítulo 1 é apresentada a Introdução, em que aborda uma breve explicação na qual o trabalho se enquadra.

No capítulo 2, a Revisão Bibliográfica aponta os conceitos básicos relacionados ao tema, como recurso solar, energia solar fotovoltaica, inversores e indicadores de desempenho.

O capítulo 3 apresenta a Metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos.

Já no capítulo 4 apresenta os resultados e as análises com algumas considerações finais sobre o trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

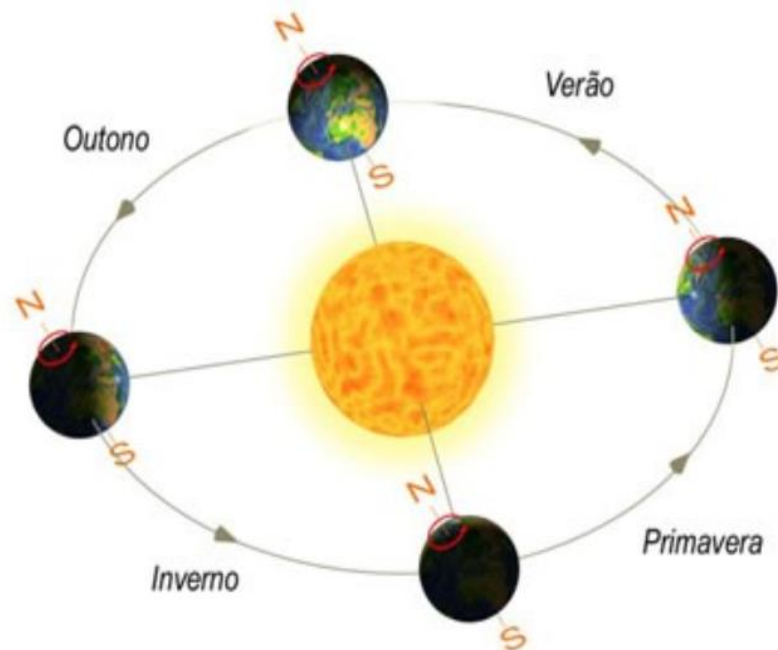
### 2.1 Recurso solar

A energia solar se faz presente a décadas, suas funcionalidades foram sendo aprimoradas ao longo do tempo, podendo pensar que a energia fornecida por meio da irradiação solar já foi utilizada para o cozimento de alimentos, a secagem de materiais, o aquecimento de água, até como sua função mais básica, a iluminação de moradias, na atualidade, convertida em energia elétrica.

A superfície radiante do sol tem uma temperatura média de cerca de 5800 Kelvin, essa superfície do sol consegue emitir uma irradiância de aproximadamente 63 MW/m<sup>2</sup>, mas esta energia é emitida em todas as direções. A terra por sua vez recebe uma pequena parte dessa irradiância total, tendo uma média de 1kW/m<sup>2</sup>, contudo o valor varia ao longo do ano, em função do movimento de translação e do eixo de rotação da terra, variando o nível de irradiação solar na superfície da terra.

A Figura 2 mostra como é a incidência solar na superfície da terra durante as estações do ano.

Figura 2 – Incidência solar na superfície da terra durante as estações do ano



Fonte: AGROPÓS

## 2.2 Irradiação solar no Brasil

Segundo a organização América do Sol, tem-se que a incidência diária no Brasil é entre 4,4 kWh/ m<sup>2</sup> e 5,5 kWh/ m<sup>2</sup>, essa variação vem de acordo com a época do ano e a região que ela se encontra, podendo até fazer um comparativo para facilitar a visualização desses números, considerando lâmpadas de 100W a energia vinda do sol é capaz de manter ligada de 44 a 54 lâmpadas simultâneas por metro quadrado do país (Tiba, 2000).

Pode-se observar essa diferença da média de irradiação por região no Brasil conforme a Figura 3.

**Figura 3 – Média da irradiação solar por região**



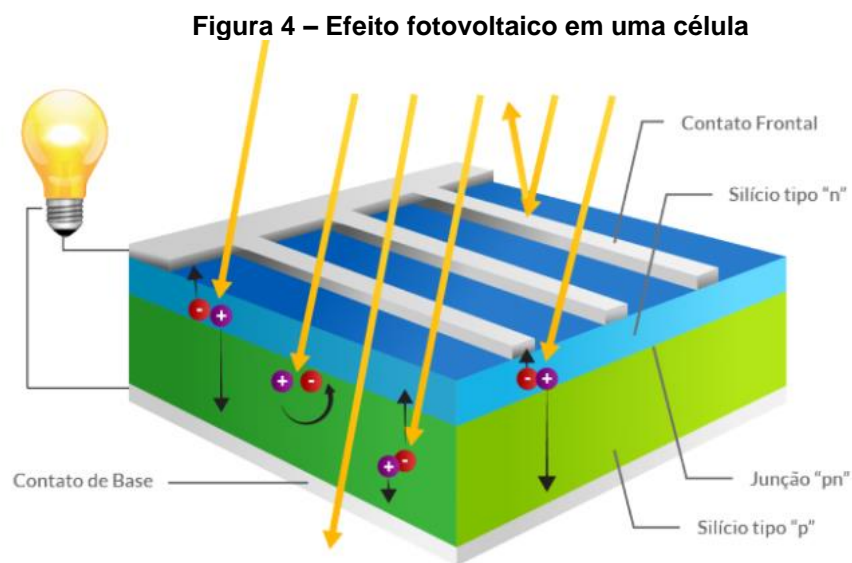
Fonte: América Do Sol

## 2.3 Energia solar fotovoltaica

### 2.3.1 Efeito fotovoltaico

As células fotovoltaicas são feitas de material semicondutor, em sua maioria o silício, por ser um semicondutor em abundância na terra e de fácil obtenção, mas o silício em sua forma mais pura não possui elétrons livres fazendo com que seja um mal condutor. Por meio de um processo chamado dopagem adicionam-se outros elementos ao silício, fazendo com que a célula tenha lados polarizados, com a incidência de luz sobre as células fotovoltaicas um fluxo de elétrons é gerado e transportado até uma carga externa (ARAÚJO,2004).

Este efeito pode ser observado na Figura 4, que mostra que uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, mas sim mantém um fluxo de elétrons enquanto houver a incidência de luz sobre ela.



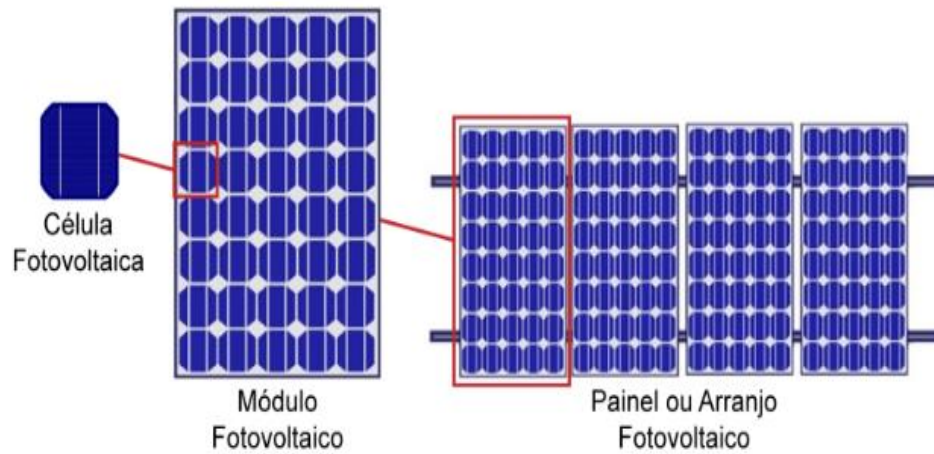
Fonte: Araújo (2004)

### 2.3.2 Sistemas fotovoltaicos

#### 2.3.2.1 Modulo fotovoltaico

O sistema fotovoltaico é composto por diversas células FV que geram energia elétrica, essas células são agrupadas e formam os módulos que por sua vez são conectados em série e/ou em paralelo para formar a captação de energia de um sistema fotovoltaico.

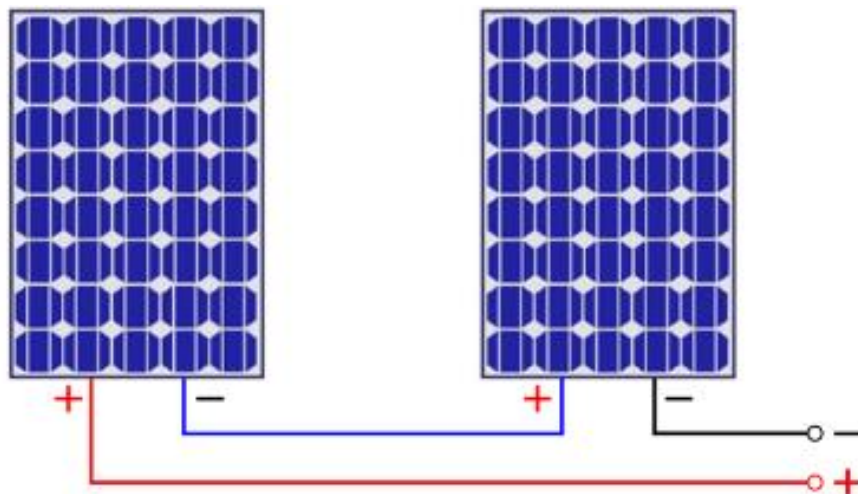
Figura 5 – Arranjo fotovoltaico



Fonte: Moraes (2020)

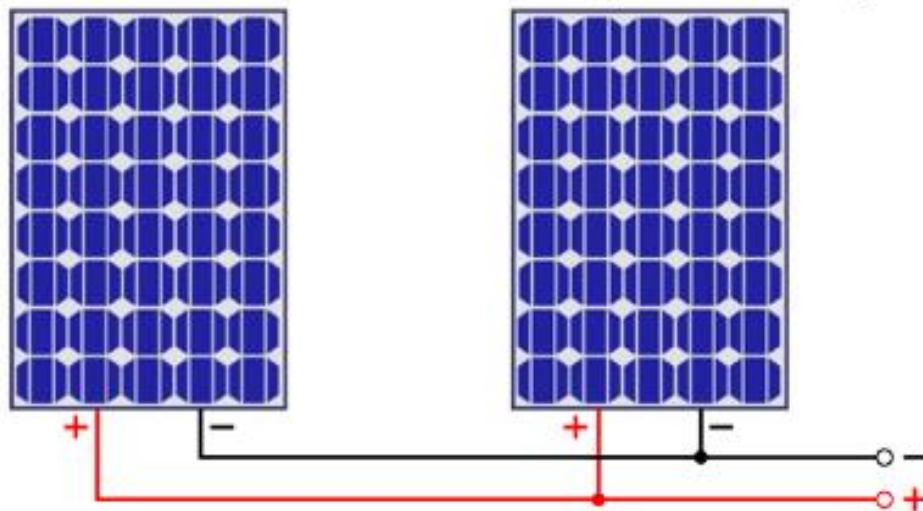
A ligação em série dos módulos é a mais comum no mercado, onde as tensões de saída dos módulos são somadas e mantém-se as correntes da *string*, que é a denominação de um conjunto de módulos, já a ligação dos módulos em paralelo faz com que se mantenha a tensão da *string* e enquanto são somadas as correntes da saída dos módulos (MORAES, 2020).

Figura 6 – Arranjo em série



Fonte: Moraes (2020)

Figura 7 – Arranjo em paralelo

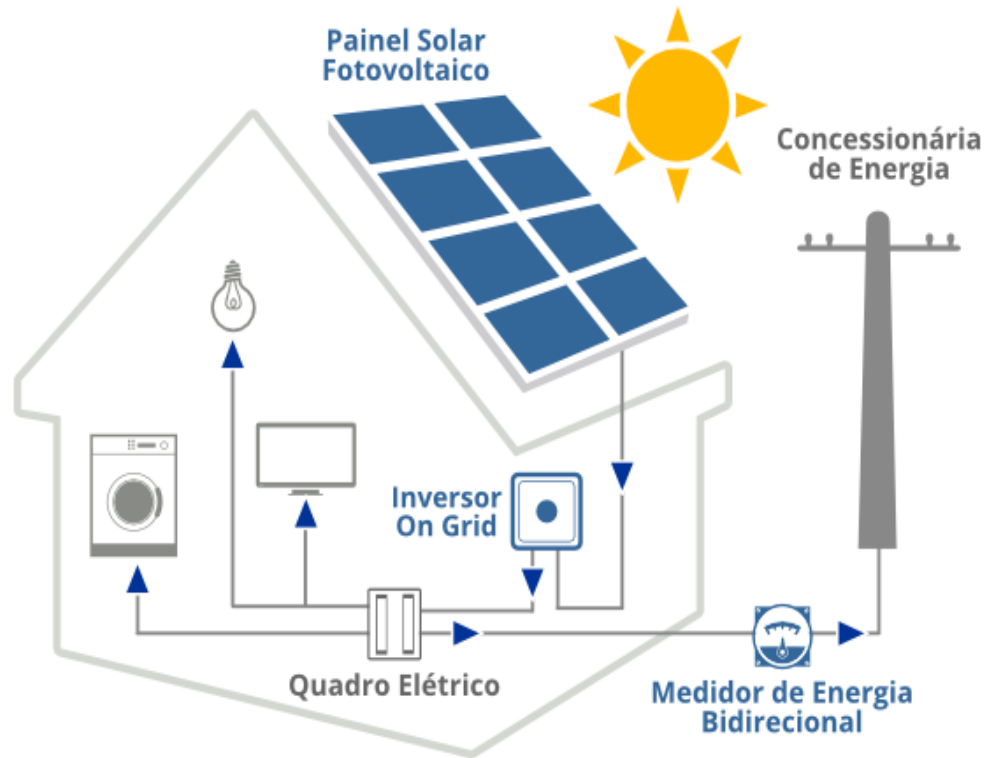


Fonte: Moraes (2020)

### 2.3.2.2 Inversor fotovoltaico

Existem vários tipos de inversores, mas os mais comuns e utilizados são o *off grid* e *on grid*. O inversor *off grid* é conhecido como inversor autônomo que significa que ele em sua construção é feito para alimentar um sistema fora da rede elétrica, sendo um grupo de cargas ou até mesmo um banco de baterias. O sistema *on grid* é o sistema mais utilizado atualmente, pois seu funcionamento é feito para receber dos módulos o sinal em corrente contínua (CC) e fazer a sua transformação para um sinal de corrente alternada (CA) com as características semelhantes a da rede, onde após passar por essa transformação a energia elétrica conduzida até a rede interna, podendo ser consumida pelas cargas do local e o restante é injetada na rede elétrica da concessionária.

**Figura 8 – Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica**



**Fonte: Siqueira (2019)**

### 2.3.3 Desempenho do sistema

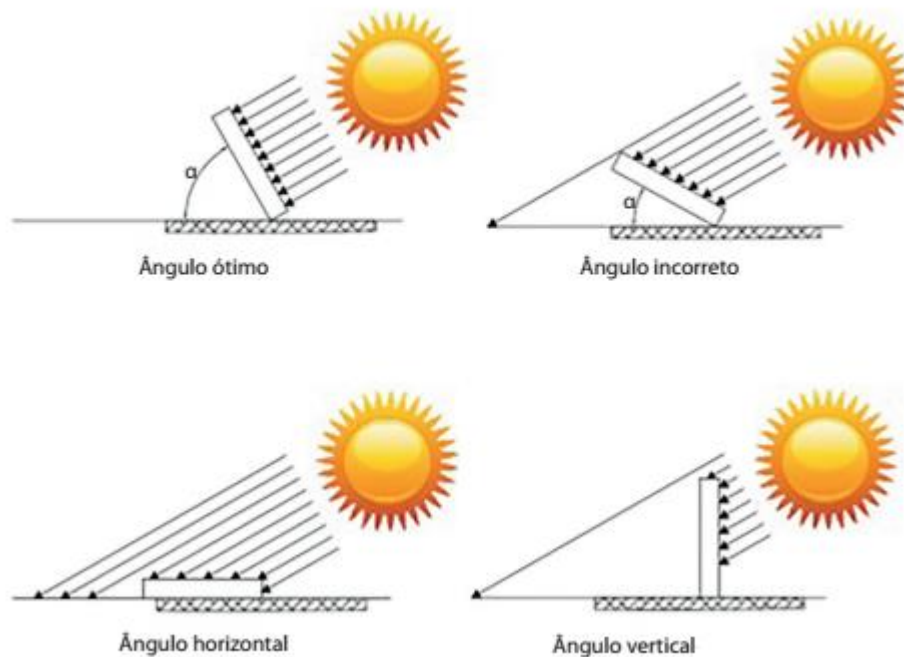
O desempenho do sistema FV varia com diversos fatores, como por exemplo a localização que os módulos estão instalados, de acordo com a irradiação do sol. No Brasil para obter o máximo de desempenho no quesito irradiação, as faces dos módulos devem estar apontadas para o norte, obtendo assim a melhor irradiação ao longo do ano.

Outro ponto a se levar em conta, é a questão do sombreamento parcial, esse é outro fator a se analisar antes da instalação, como mostrado anteriormente a maior parte dos sistemas apresentam a ligação dos módulos em série, se uma parte da string estiver sombreada, sua tensão será reduzida, isso faz com que toda a string seja prejudicada em sua geração. Outro fator, que diminui a captação solar nos módulos, assim como o sombreamento parcial, é a sujeira acumulada ao longo do tempo. Quanto maior o número de sujeira acumulada na superfície dos módulos, menor é a produção direta de energia gerada pelo sistema.

O ângulo da instalação desses painéis também tem uma influência no seu desempenho, pois a incidência solar em cada lugar é diferente, tanto a orientação

angular quanto à orientação cardinal vão fazer a diferença no desempenho direto do sistema. Uma regra para facilitar, usar o ângulo de inclinação de acordo com o ângulo de latitude do local para garantir um melhor desempenho (VILLALVA, 2020).

**Figura 9 – Ângulo de incidência solar**



**Fonte: Eletricista Consciente**

## **2.4 Normas e resoluções**

### **2.4.1 Resolução Normativa nº 1000, de 07 de dezembro de 2021**

A Resolução Normativa nº 1000, define a unidade consumidora e todo o seu conjunto, conceitua as normativas para a distribuidora de energia, na qual é a titular da concessão ou permissão e que presta esse serviço público de distribuição de energia.

A normativa define e apresenta as condições de demanda, onde a demanda é a média das potências elétricas ativas ou reativas solicitadas pela unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado, expressa em quilowatts (kW) e quilovolt-ampère-reactivo (kvar). O valor de contrato fixado pela unidade consumidora e a distribuidora deve ser expresso em quilowatts (kW), e o mesmo é pago integralmente independente de seu uso.

#### 2.4.2 Composição Tarifária

A composição tarifária tem como fatores para o cálculo do encargo de uso do sistema de distribuição, a soma da tarifa de uso pelo respectivo tempo de uso do sistema de distribuição e de energia contratados. Os encargos referentes ao consumo de energia são os seguintes:

a) Tarifa de energia – TE: valor em R\$/MWh, referente ao faturamento mensal do consumo de energia;

b) Tarifa de uso do sistema de distribuição – TUSD: valor em R\$/MWh ou em R\$/kW, utilizado para efetuar o faturamento mensal pelo uso do sistema de distribuição de energia elétrica.

#### 2.4.3 Classes de fornecimento

Estas são as classes de fornecimento de energia elétrica apresentada Resolução Normativa nº 1000.

Grupo A: fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa binômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

Subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;

Subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;

Subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;

Subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;

Subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;

Subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Grupo B: fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômia e subdividido nos seguintes subgrupos:

Subgrupo B1 - residencial;

Subgrupo B2 - rural;

Subgrupo B3 - demais classes;

#### Subgrupo B4 - Iluminação pública.

##### 2.4.4 Lei Nº 14.300, de 07 de janeiro de 2022 – Diário oficial da união

A Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012), antes apresentada como resolução que regulamentava a geração distribuída, teve uma grande alteração, tendo agora em seu lugar a Lei nº 14.300 (BRASIL,2022), considerada o marco regulamentador da geração de energia no Brasil, na qual define as condições gerais para acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Pela normativa, é considerado minigeração distribuída quando uma central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW ou fontes renováveis de energia elétrica, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

A Normativa estabelece as regulamentações para o autoconsumo remoto, que é quando o mesmo titular da unidade consumidora possui mais de uma unidade consumidora atendida pelo mesmo sistema de micro ou minigeração distribuída, mesmo as unidades sendo locais diferentes de consumo, se for dentro da mesma área de concessão ou permissão, esta energia pode ser compensada.

O sistema de compensação de energia elétrica é o sistema no qual a energia ativa injetada é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. A compensação é feita de maneira que a unidade consumidora passa a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida dentro de um prazo de 60 (sessenta) meses relativo à energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora. No faturamento é deduzido a energia injetada e os créditos de energia acumulado de faturamentos anteriores, e sobre esse faturamento deverão incidir todas as componentes da tarifa em R\$/MWh.

Com relação a demanda contratada, as unidades consumidoras com sistema de geração fotovoltaica instalado, deve ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo da demanda contratada para o consumidor do Grupo A, desde que seja igual ou maior a potência de saída do sistema FV.

## 2.5 Indicadores para a viabilidade econômica

Existem diversas maneiras para avaliar um investimento em um sistema de geração de energia fotovoltaica, onde o principal se baseia nos custos para gerar a própria energia e a tarifa para a concessionária de energia. Nesse estudo será feita a comparação da viabilidade econômica entre três sistemas fotovoltaicos para um mesmo consumidor inserido no grupo A e analisar o retorno deste investimento.

### 2.5.1 Valor Presente Líquido (VPL)

Um dos métodos para avaliar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico é o Valor Presente Líquido, por meio do qual avalia-se os benefícios gerados pelo projeto em relação aos seus custos.

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Fct}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$I_0$ =representa o investimento inicial;

$Fct$ = representa o fluxo do projeto no tempo  $t$ ;

$r$ = representa a taxa de desconto;

$t$ = o período em questão;

$n$ = o horizonte de tempo para a análise do fluxo de caixa.

Se o VPL for positivo, as receitas superam o valor investido somado às despesas, desta forma, são considerados economicamente viáveis os projetos que apresentam VPL maior do que zero.

### 2.5.2 Tempo de retorno do investimento – *Payback*

O *payback* é a avaliação de quanto tempo leva para que o fluxo de caixa acumulado se torne positivo. Para esse estudo foi usado o *payback* simples, onde não é levado em consideração os descontos do dinheiro ao longo do tempo, apenas é levado em consideração os retornos acumulados ao longo do tempo em relação ao investimento inicial.

$$Payback = \frac{Investimento\ inicial}{Ganhos\ no\ período} \quad (2)$$

### 2.5.3 Retorno sobre investimento (ROI)

Este método é utilizado para mensurar quanto o investimento trouxe de retorno financeiro, onde seus fatores de análise são o quanto foi investido e quanto foi retornado de lucro ou então quanto deixou-se de gastar através do investimento inicial.

$$ROI = \frac{\text{Lucro} - \text{Investimento inicial}}{\text{Investimento inicial}} \quad (3)$$

## 3 DESENVOLVIMENTO DAS ANÁLISES

Este trabalho tem como objetivo avaliar a atratividade financeira de uma minigeração fotovoltaica para uma unidade consumidora com média de consumo mensal de 16.000 kWh/mês e com 150kW de demanda contratada, supondo que a mesma esteja localizada no estado do Paraná e tenha viabilidade na instalação de um sistema *on grid* em seu telhado.

### 3.1 Composição tarifária da unidade

Para compor uma estimativa dos gastos mensais com energia elétrica desta unidade foram levados em conta os valores atuais da concessionária de energia que atende à unidade que no caso é a Copel.

Nesta composição são levados em conta a demanda contratada, a energia fora de ponta, que é a energia consumida das nove da noite a seis da tarde, e a energia de ponta, que é a energia consumida das seis da tarde as nove da noite.

**Tabela 1 – Tarifas da concessionária com impostos incluídos**

	Valor(R\$)
Demanda (R\$/kW)	25,40
Consumo Fora de Ponta (R\$/kW)	0,53
Consumo na Ponta (R\$/kW)	2,08

Fonte: O Autor

$$\text{Tarifa Final em R\$} = (D * 25,40 + CFP * 0,53 + CP * 2,08) \quad (4)$$

*D*=Demanda contratada

*CFP*=Consumo fora de ponta

*CP*=Consumo na Ponta

$$\text{Tarifa Final em R\$} = (150 * 25,40 + 16000 * 0,53 + 300 * 2,08) \quad (4.1)$$

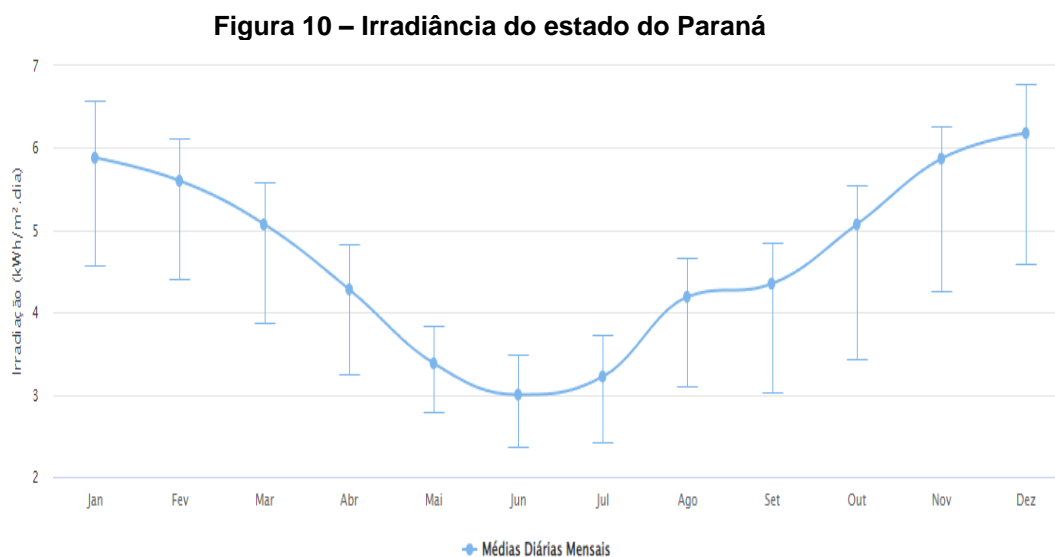
O resultado obtido para o valor da fatura, foi de aproximadamente R\$ 12.914,00 ao mês de gastos com energia elétrica.

### 3.2 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico

Para dimensionar um sistema fotovoltaico alguns fatores foram levados em consideração, como a quantidade de energia necessária gerar para atender as necessidades da média mensal de consumo de energia da unidade consumidora, a irradiância solar do local da UC, as perdas envolvendo o sistema como as perdas por sujeira, eficiência do equipamento entre outras.

#### 3.2.1 Irradiância

No Paraná a média de irradiância é de  $5.0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$ , porém esse valor é uma média do estado, através do (Atlas de energia solar, 2021) consegue-se obter exatamente o valor de irradiância por cidade e a sua variação de acordo com os meses do ano. A figura 10 apresenta a irradiância para o estado do Paraná ao longo dos meses do ano.



**Fonte: Atlas solar (2021)**

### 3.2.2 Perdas envolvendo o sistema

Todo sistema tem perdas que geralmente variam entre 15% a 25% calculadas em projeto. Para este estudo algumas perdas foram levadas em consideração, como 3% para sujeira, 8% com relação a temperatura, 4% para a perda nos cabos, 2% para sombreamento e 3% para o inversor, totalizando 20% de perdas na geração do sistema.

### 3.2.3 Cálculo do sistema para atender a UC

Para estimar o tamanho do sistema necessário para atender a unidade consumidora leva-se em consideração alguns dados já levantados anteriormente, primeiro calcula-se o fator de correção entre a diferença da tarifa de ponta e a tarifa fora de ponta, onde a tarifa de ponta sempre tem um valor bem mais elevado. Atualmente esse valor chega a ser quase 4 vezes maior. Esse fator de correção é levado em consideração no dimensionamento do sistema para ser gerado uma quantidade maior de energia, onde a mesma vai ser utilizada para fazer o abatimento também do valor cobrado pela energia na ponta. Na equação a baixo é cálculo o fator de correção.

$$\text{Fator de correção} = \frac{\text{Tarifa ponta}}{\text{Tarifa fora ponta}} \quad (5)$$

$$\text{Fator de correção} = \frac{2,08}{0,53} \quad (5.1)$$

$$\text{Fator de correção} = 3,92 \quad (5.2)$$

Com o valor do fator de correção calculado, estipula-se o valor necessário de geração para atender esta unidade levando em consideração seu gasto fora de ponta e o seu gasto na ponta corrigido.

$$\text{Geração Necessária (kWh)} = \text{CFP} + \text{FC} * \text{CP} \quad (6)$$

$$\text{Geração Necessária (kWh)} = 16000 + 3,92 * 300 \quad (6.1)$$

$$\text{Geração Necessária (kWh)} = 16000 + 1176 \quad (6.2)$$

$$\text{Geração Necessária} = 17176 \text{ kWh} \quad (6.3)$$

Com o valor da geração necessária para atender a demanda desta unidade durante o período de um mês, busca-se dimensionar a potência do sistema FV, onde a geração necessária no mês dividida por trinta dias apresenta o valor necessário diário de geração, com o valor calculado da necessidade diária de geração e os fatores de irradiância local e perdas do sistema, chega-se na fórmula para o cálculo da potência do sistema em quilowatt pico (kWp), que no caso representa o valor máximo que o sistema consegue gerar.

$$Potência\ do\ sistema(kWp) = \frac{Geração\ necessária}{30 * Irradiância * (1 - Perdas)} \quad (7)$$

$$Potência\ do\ sistema(kWp) = \frac{17176}{30 * 5,0 * (1 - 0,2)} \quad (7.1)$$

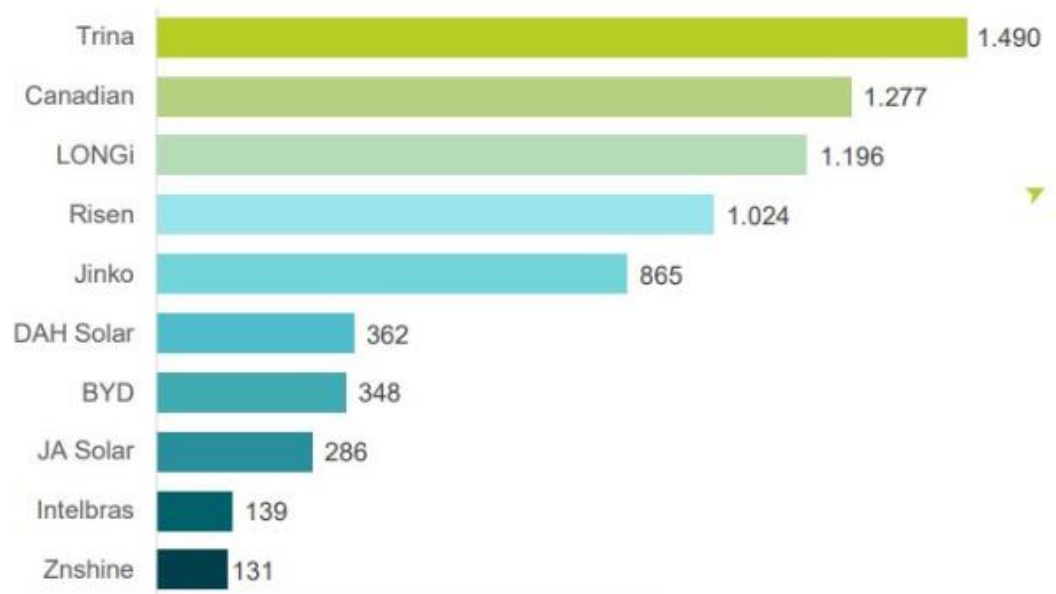
$$Potência\ do\ sistema(kWp) = 143,13\ kWp \quad (7.2)$$

Para que a geração atenda a unidade consumidora o valor de potência deste sistema tem que ser de no mínimo 143 quilowatt pico(kWp), lembrando que essa é uma média e o sistema passa por variação ao longo do ano de acordo com as estações do ano e condições climáticas, sendo que no verão o sistema vai apresentar o melhor desempenho na geração de energia e no inverno o sistema vai obter o seu menor desempenho.

### 3.3 Tecnologia

A escolha dos equipamentos para o sistema fotovoltaico foi baseada em uma pesquisa de mercado da Greener (2022). A marca escolhida do módulo é a Canadian, uma marca muito lembrada quando se fala de módulos solares no Brasil e pela pesquisa de importação a mesma no ano de 2021 ficou em segundo lugar com volume de importação para o Brasil. A Figura 11 apresenta as 10 marcas mais importadas de módulos no Brasil.

**Figura 11 – Marcas dos módulos FV importados no Brasil**  
**TOP 10 – Módulos Fotovoltaicos**  
 Volumes importados [MWp] - 2021



Fonte: Greener (2022)

O módulo fotovoltaico escolhido da Canadian é feito de silício monocristalino, tem potência máxima nominal de 455W por módulo e a Tabela 2 apresenta as principais características deste módulo.

**Tabela 2 – Principais características do módulo**

Potência Nominal (Wp)	Vmp (V)	Impp (A)	Voc (V)	Isc (A)
455	30,9	10,89	48,9	11,54

Fonte: Próprio autor

Vmp = Tensão de máxima potência;

Impp = Corrente de máxima potência;

Voc = Tensão de circuito aberto;

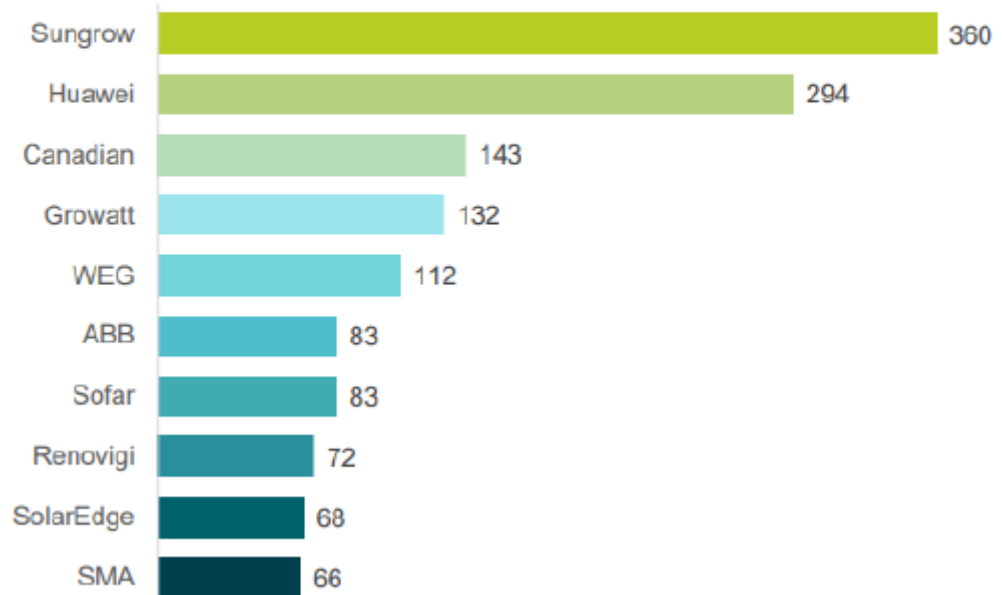
Isc = Corrente de circuito aberto.

A escolha da marca do inversor também foi baseada na pesquisa de mercado da Greener (2022). A Figura 12 apresenta as marcas mais importadas no Brasil no ano de 2020.

Figura 12 – Marcas dos inversores FV importados no Brasil

## TOP 10 – Inversores fotovoltaicos – 2020

Inversores de potência acima de 50 kW [MW]



Fonte: Greener (2022)

Como vão ser diferentes sistemas a serem avaliados a marca que apresentou um fácil acesso no mercado e uma grande variedade de potências, também se encontra entre as marcas mais lembradas e importadas no Brasil, foi a marca Growatt.

Para os sistemas fotovoltaicos foram escolhidos os inversores da Growatt de 75kW e o de 125kW.

**Tabela 3 – Principais características do Inversor de 75kW**

Entrada (DC)		
Tensão Máxima entrada	1100	V
Limites de tensão PV, MPPT	195-1000	V
Máxima corrente de entrada	25	A
Máxima corrente de entrada por arranjo	25	A
Número de rastreadores MPPT	7	
Máxima número de <i>strings</i> por MPPT	2	
Saída (AC)		
Potência Aparente de Saída Máxima	75	kVA
Corrente Máxima de saída	112,7	A
Tensão Nominal AC / Range	220-380	V
Fator de potência (cos $\phi$ )	0,8-0,8	Capacitivo e Indutivo
Conexão AC	3	Trifásico

Fonte: Próprio autor

**Tabela 4 – Principais características do Inversor de 125kW**

Entrada (DC)		
Tensão Máxima entrada	1100	V
Limites de tensão PV, MPPT	180-1000	V
Máxima corrente de entrada	32	A
Máxima corrente de entrada por arranjo	40	A
Número de rastreadores MPPT	10	
Máxima número de <i>strings</i> por MPPT	2	
Saída (AC)		
Potência Aparente de Saída Máxima	125	kVA
Corrente Máxima de saída	198,5	A
Tensão Nominal AC / Range	380-400	V
Fator de potência (cos $\phi$ )	0,8-0,8	Capacitivo e Indutivo
Conexão AC	3	Trifásico

Fonte: Próprio autor

### **3.4 Escolha dos sistemas a ser avaliado**

#### **3.4.1 Sistema que atende integralmente a UC**

Primeiro, calcula-se o sistema que atenda integralmente a geração necessária para a unidade consumidora, nesse sistema foram usados 315 unidades de módulos com potência 455W e um inversor de 125000W, onde o sistema tem como referencial máximo 143,32kWp.

#### **3.4.2 Sistema que atende parcialmente a UC**

Este vai ser um sistema onde a geração vai atender 60% da necessidade de energia da unidade consumidora, sendo assim o sistema vai contar com 190 módulos de potência 455W e um inversor de 75000W, sendo um sistema de 86,45kWp.

#### **3.4.3 Sistema com projeção de aumento de carga na UC**

Este sistema foi pensado para caso a empresa esteja em expansão e aumente o número de equipamentos que dependam de energia elétrica. Como a empresa tem uma demanda contratada de 150kW mês o máximo que o inversor poderia ter é 150kW de potência, mas pensando na necessidade de aumentar está demanda contratada até 200kW de potência, pode-se prever um sistema fotovoltaico de 500 módulos de potência de 455W e 2 inversores, um de potência 75000W e outro de 125000W, totalizando 200kW que é o limite da demanda contratada da empresa. Então chega-se a um sistema de 227,5 kWp.

### **3.5 Cotação dos sistemas**

Após a definição do tamanho de cada sistema fotovoltaico e quais equipamentos vão ser utilizados em cada, são cotados os valores de mercado destes sistemas, fazendo um levantamento aproximado do preço de mercado do sistema, contando já todos os equipamentos necessários mais a mão de obra, ou seja, o sistema instalado e funcionando.

**Tabela 5 – Cotação dos sistemas FV**

Sistema fotovoltaico (kWp)	Valor (R\$)
86,45	330.470,00
143,32	525.350,00
227,5	810.780,00

Fonte: Próprio autor

### 3.6 Avaliação financeira

#### 3.6.1 Sistema FV de 143,32kWp

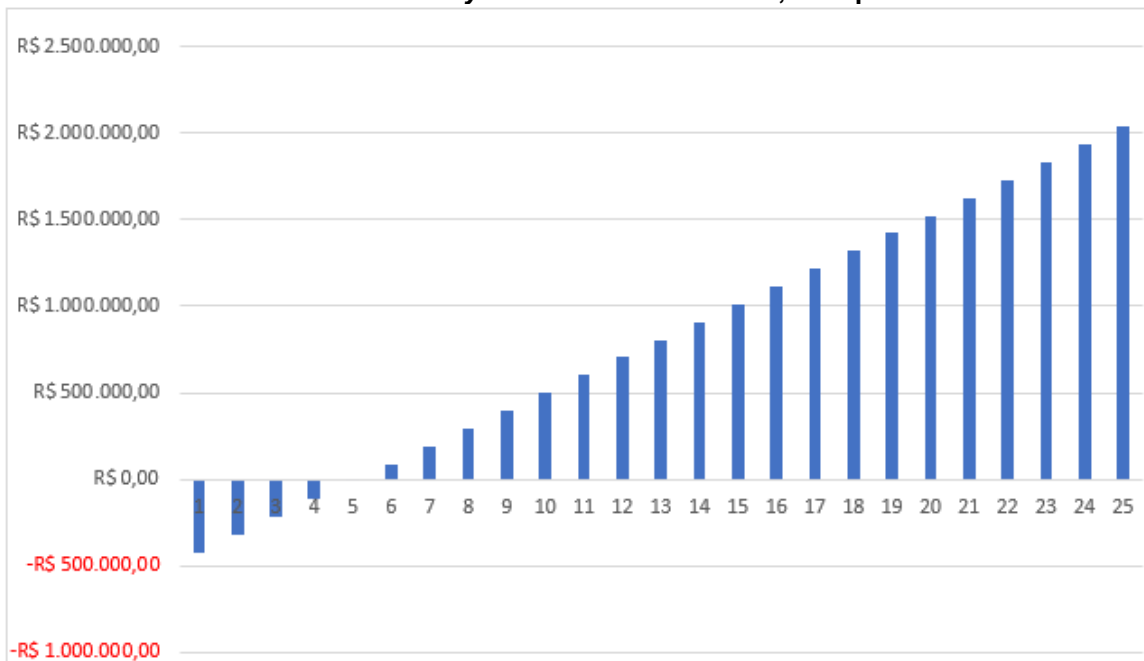
**Tabela 6 – Fluxo de caixa do sistema FV de 143,32kWp**

Ano	Fluxo de Caixa	Saldo
0	-R\$525.350,00	-R\$ 525.350,00
1	R\$ 102.467,03	-R\$ 422.882,97
2	R\$ 102.467,03	-R\$ 320.415,93
3	R\$ 102.467,03	-R\$ 217.948,90
4	R\$ 102.467,03	-R\$ 115.481,86
5	R\$ 102.467,03	-R\$ 13.014,83
6	R\$ 102.467,03	R\$ 89.452,21
7	R\$ 102.467,03	R\$ 191.919,24
8	R\$ 102.467,03	R\$ 294.386,28
9	R\$ 102.467,03	R\$ 396.853,31
10	R\$ 102.467,03	R\$ 499.320,35
20	R\$ 102.467,03	R\$ 1.523.990,69
25	R\$ 102.467,03	R\$ 2.036.325,86

Fonte: Próprio autor

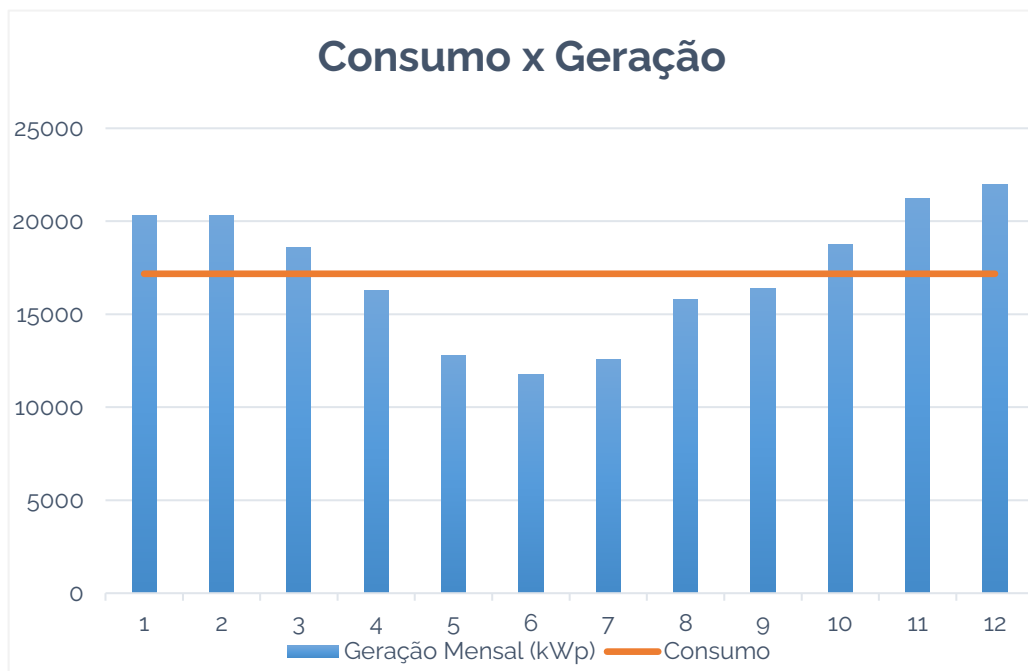
A tabela 6 apresenta o fluxo de caixa ao longo dos anos, sendo no ano apresentado como zero o aporte financeiro para o projeto, por este motivo apresentado como valor negativo. Os valores demonstrados nos anos seguintes de maneira positiva, são a diferença entre o valor gasto com energia sem o sistema FV e o valor gasto com o sistema FV, gerando assim um lucro anual apresentado.

Gráfico 1 – Payback sistema FV de 143,32kWp



Fonte: Próprio autor

Gráfico 2 – Geração do sistema FV de 143,32kWp



Fonte: Próprio autor

Para o sistema fotovoltaico de 143,32kWp onde a sua proposta é exatamente a geração necessária para atender a demanda da unidade consumidora, tem-se uma viabilidade muito boa, com um VPL de 2.036.325,86 reais ao final dos 25 anos avaliados, estes 25 anos são levando em conta o tempo de vida útil dos módulos, por se tratar da maior fatia do valor investido, podendo ser necessário a substituição do

inversor ao logo deste período, fazendo com que o sistema consiga chegar ao seu tempo máximo esperado de utilização, entretanto para os fins desta pesquisa não foi levado em consideração este reinvestimento, por se tratar de uma pequena porcentagem, não alterando com efetividade os resultados finais . O investimento apresenta ainda um ROI de 288% ao final dos 25 anos e um *payback* do investimento em apenas 5,1 anos.

### 3.6.2 Sistema FV de 86,45kWp

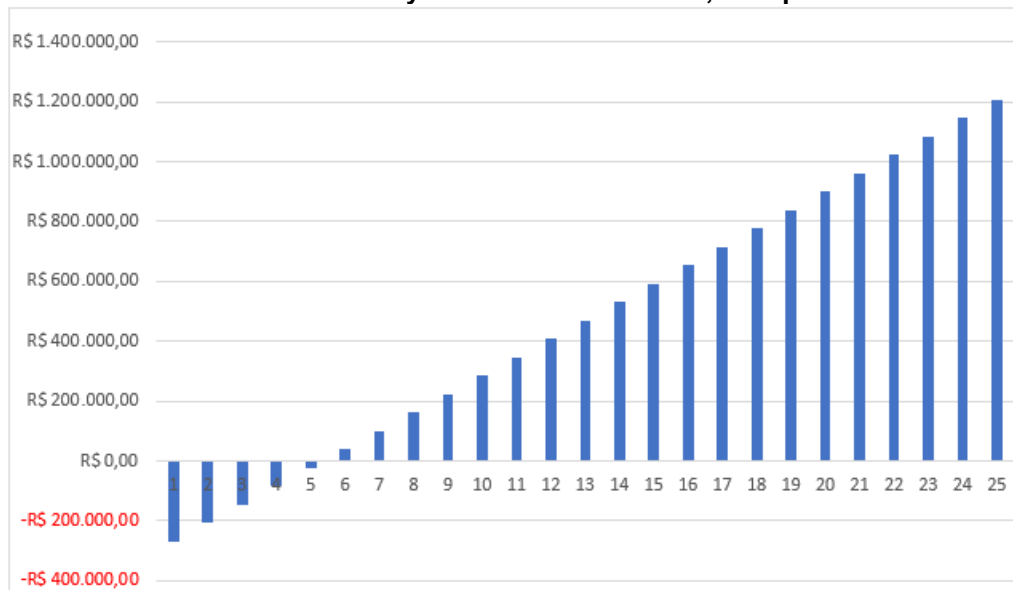
**Tabela 7 – Fluxo de caixa do sistema FV de 86,45kWp**

Ano	Fluxo de Caixa	Saldo
0	-R\$ 330.470,00	-R\$ 330.470,00
1	R\$ 61.553,13	-R\$ 268.916,87
2	R\$ 61.553,13	-R\$ 207.363,74
3	R\$ 61.553,13	-R\$ 145.810,60
4	R\$ 61.553,13	-R\$ 84.257,47
5	R\$ 61.553,13	-R\$ 22.704,34
6	R\$ 61.553,13	R\$ 38.848,79
7	R\$ 61.553,13	R\$ 100.401,92
8	R\$ 61.553,13	R\$ 161.955,06
9	R\$ 61.553,13	R\$ 223.508,19
10	R\$ 61.553,13	R\$ 285.061,32
20	R\$ 61.553,13	R\$ 900.592,64
25	R\$ 61.553,13	R\$ 1.208.358,30

Fonte: Próprio autor

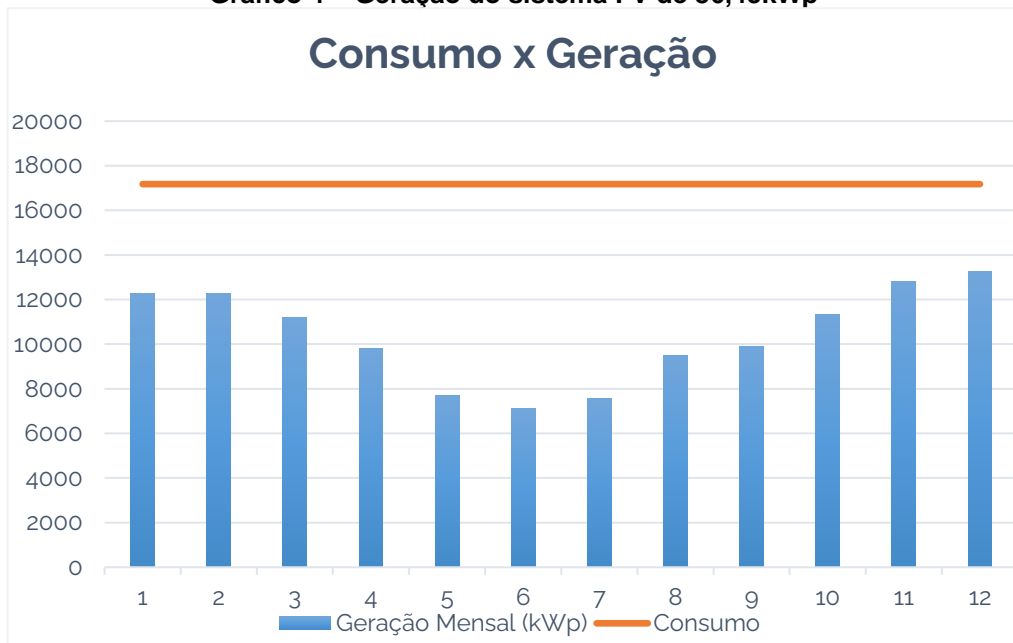
A tabela 7 é composta de maneira semelhante a tabela 6, apresentando o aporte inicial e o fluxo de caixa ao longo dos anos, levando em consideração as mesmas observações do processo anterior.

Gráfico 3 – Payback sistema FV de 86,45kWp



Fonte: Próprio autor

Gráfico 4 – Geração do sistema FV de 86,45kWp



Fonte: Próprio autor

Para o sistema fotovoltaico de 86,45kWp onde a sua proposta é uma geração parcial de 60% do consumo de energia elétrica da unidade consumidora, apresenta-se uma viabilidade muito boa, com um VPL de 1.208.358,30 reais ao final dos 25 anos avaliados, chegando a um ROI de 266% ao final dos 25 anos e um *payback* do investimento em apenas 5,4 anos.

## 3.6.3 Sistema FV de 227,5kWp

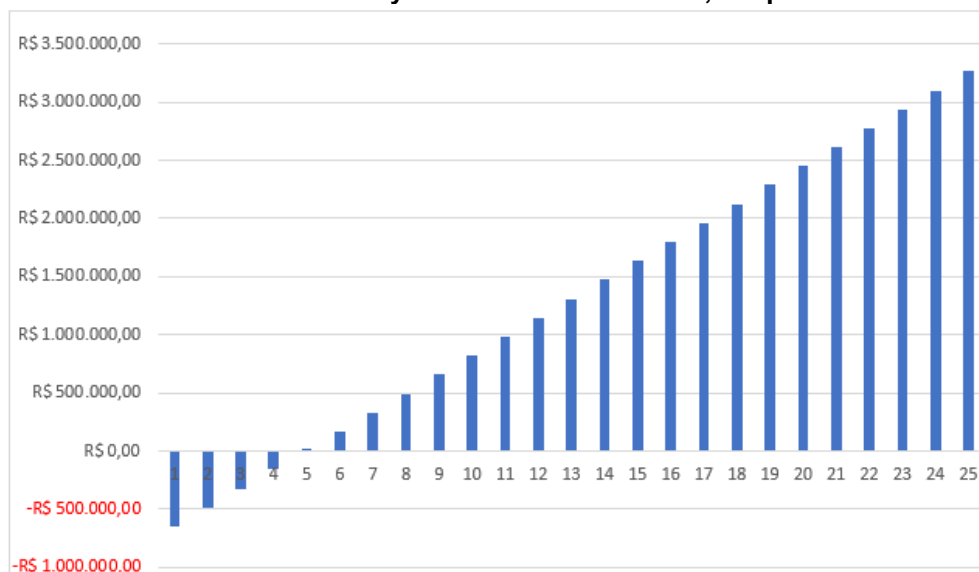
Tabela 8 – Fluxo de caixa do sistema FV de 227,5kWp

Ano	Fluxo de Caixa	Saldo
0	-R\$ 810.780,00	-R\$ 810.780,00
1	R\$ 163.019,61	-R\$ 647.760,39
2	R\$ 163.019,61	-R\$ 484.740,78
3	R\$ 163.019,61	-R\$ 321.721,17
4	R\$ 163.019,61	-R\$ 158.701,56
5	R\$ 163.019,61	R\$ 4.318,05
6	R\$ 163.019,61	R\$ 167.337,66
7	R\$ 163.019,61	R\$ 330.357,27
8	R\$ 163.019,61	R\$ 493.376,88
9	R\$ 163.019,61	R\$ 656.396,49
10	R\$ 163.019,61	R\$ 819.416,10
20	R\$ 163.019,61	R\$ 2.449.612,21
25	R\$ 163.019,61	R\$ 3.264.710,26

Fonte: Próprio autor

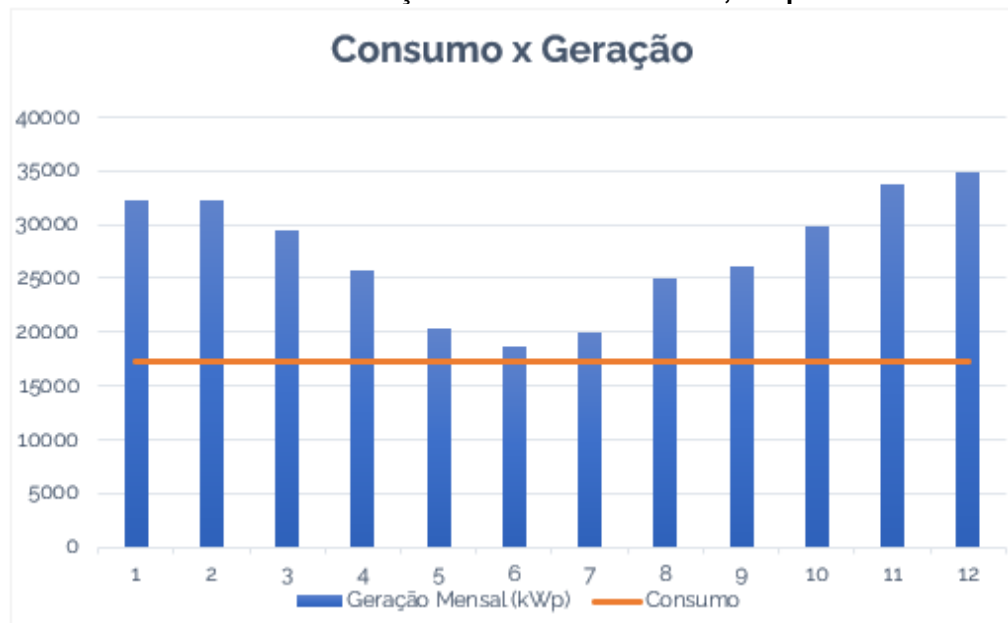
A tabela 8 é composta de maneira semelhante a tabela 6 e 7, apresentando o aporte inicial e o fluxo de caixa ao longo dos anos, levando em consideração as mesmas observações do processo anterior.

Gráfico 5 – Payback sistema FV de 227,5kWp



Fonte: Próprio autor

Gráfico 6 – Geração do sistema FV de 227,5kWp



Fonte: Próprio autor

Para o sistema fotovoltaico de 227,5kWp onde a sua proposta é um aumento de demanda na unidade consumidora, já prevendo um gasto maior com energia elétrica, pode-se observar a viabilidade deste aumento, com um VPL de 3.264.710,26 reais ao final dos 25 anos avaliados, chegando a um ROI de 304% ao final dos 25 anos e um *payback* do investimento em apenas 4,9 anos.

#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após todo esse estudo para obter comparativos na viabilidade de uma minigeração para consumidores do grupo A, é possível perceber a atratividade e a viabilidade financeira para a implementação de um sistema fotovoltaico.

Em média, o *payback* foi de 5 anos, o que é considerado um tempo de retorno curto e com um VPL em todos os casos positivos e com números bem satisfatórios, o retorno do investimento ao final de 25 anos para ambos os casos foi quase 3 vezes maior que o valor investido.

A partir dos resultados foi possível perceber que quanto maior o gasto com energia mais rápido é o retorno financeiro mesmo considerando o aumento no investimento. Isso mostra a viabilidade na implementação de um sistema de geração em uma empresa que vai fazer um aumento na sua demanda contratada, mesmo fazendo com que seu gasto mínimo fique maior.

Portanto, pode-se concluir que os sistemas fotovoltaicos são uma nova realidade no Brasil, por meio do qual nos três casos avaliados consegue-se perceber não só a viabilidade econômica como também a vantagem ambiental na implementação de um sistema fotovoltaico. A geração própria com sistema de painéis solares reduz consideravelmente as faturas com energia, podendo assim a empresa investir em outras áreas. Com os incentivos dos órgãos públicos e a redução dos preços destes equipamentos tende a aumentar no Brasil a geração própria, acarretando um crescimento no país de produção de energia por fontes alternativas, limpas e renováveis.

Por fim, entende-se que o presente trabalho atingiu os objetivos propostos, gerando conhecimento a respeito de geração distribuída, minigeração fotovoltaica e a análise técnica e econômica de projetos.

## REFERÊNCIAS

AGROPÓS. Estações Climáticas: Entenda Melhor sobre cada uma Delas! Disponível em: <https://agropos.com.br/estacoes-climaticas/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

AMÉRICA DO SOL. **Potencial solar no Brasil**. Disponível em: <https://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>. Acesso em: 24 jun. 2022.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/>. Acesso em: 05 abr. 2022.

ANEEL. Cadernos Temáticos ANEEL - Micro e Minigeração Distribuída. 2016.

ANEEL. **Resolução normativa n. 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. <https://www.enel.com.br/content/dam/enel-br/one-hub-brasil---2018/sp/documents/bren2010414.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2022.

ANEEL. **Resolução normativa n. 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. <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2022.

ANEEL. **Resolução normativa n. 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2022.

ANEEL. **Resolução normativa ANEEL n. 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>. Acesso em: 28 mai. 2022.

ARAUJO, C. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**: um estudo em Lavras. 2004. Dissertação de Pós-Graduação em Fontes alternativas de energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

ATLAS DE ENERGIA SOLAR, 2022. Disponível em: <https://atlassolarparana.com/charts>. Acesso em: 20 mai. 2022.

BRASIL. Diário Oficial da União. **LEI Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 24 jun. 2022.

CANADIANSOLAR. Datasheet Hiku 430W ~ 455W. Disponível em: [https://www.csisolar.com/test-br/wp-content/uploads/sites/7/2020/11/pt\\_Canadian\\_Solar-Datasheet-HiKu\\_CS3W-MS\\_v5.59.pdf](https://www.csisolar.com/test-br/wp-content/uploads/sites/7/2020/11/pt_Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-MS_v5.59.pdf). Acesso em: 23 mai. 2022.

COPEL. Tarifas de energia elétrica, 2021. Disponível em: [https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/#grupoA?utm\\_source=taxas-tarifas&utm\\_medium=grupoA&utm\\_campaign=menu-lateral](https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/#grupoA?utm_source=taxas-tarifas&utm_medium=grupoA&utm_campaign=menu-lateral). Acesso em: 20 mai. 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas)**: Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 23 mai. 2022.

GREENER. Relatório Trimestral de Módulos e Inversores 1º tri 2022. Disponível em: <https://www.greener.com.br/relatorio-de-importacao-de-modulos-e-inversores-1o-tri-2022/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

GROWATT. Datasheet Growatt MAX 75kW. Disponível em: <https://energeasysolar.com.br/wp-content/uploads/2020/03/Datasheet-Growatt-MAX-75-kW.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2022.

MORAIS, C. **Eletrônica De Potência**. Célula fotovoltaica: tudo que você precisa saber. Disponível em: <https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

SIQUEIRA, N. Como Funciona a Energia Solar?. 19 fev. 2019. Disponível em: <https://fotonengenharia.com/como-funciona-a-energia-solar/>. Acesso em: 23 mai. 2022.

TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Pernambuco: UFPE, 2000.

VILLALVA, M. **Como determinar o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos?**. 11 jul. 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/como-determinar-o-angulo-de-inclinacao-dos-modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 23 mai. 2022.