

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**LUIS PEDRO FROZ GONÇALVES**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA POR PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS: CASO DA AUTARQUIA DE ÁGUA E ESGOTO MUNICIPAL  
DE SANTANA DO LIVRAMENTO**

**Alegrete**

**2018**

**LUIS PEDRO FROZ GONÇALVES**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA POR PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS: CASO DA AUTARQUIA DE ÁGUA E ESGOTO MUNICIPAL  
DE SANTANA DO LIVRAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Fladimir Fernandes dos Santos

**Alegrete**

**2018**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F943e Froz Gonçalves, Luis Pedro

ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA POR  
PAINÉIS FOTOVOLTAICOS: CASO DA AUTARQUIA DE ÁGUA E ESGOTO  
MUNICIPAL DE SANTANA DO LIVRAMENTO / Luis Pedro Froz Gonçalves.  
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa,  
ENGENHARIA ELÉTRICA, 2018.

"Orientação: Fladimir Fernandes dos Santos".

1. Energia Solar Fotovoltaica. I. Título.

**LUIS PEDRO FROZ GONÇALVES**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA POR PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS: CASO DA AUTARQUIA DE ÁGUA E ESGOTO MUNICIPAL  
DE SANTANA DO LIVRAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Guilherme Sebastião Da Silva  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Roberlaine Ribeiro Jorge  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho ao meu pai e minha tia Cleuza que não mediram esforços para me dar o necessário para chegar à conclusão deste curso.

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador Fladimir Fernandes dos Santos por me aceitar como seu orientando e não medir esforços para me auxiliar neste trabalho.

Sem palavras para agradecer o pessoal do “covil”, ao João, Pietro, Vinicius Anese, Leandro, meu pai, minha namorada Micheli, minha tia Cleuza, enfim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram com incentivo ou ajuda na realização deste trabalho.

## RESUMO

O Brasil vem apresentando grandes variações nos custos de geração de energia elétrica em decorrência de fatores climáticos, mostrando que cada vez mais o consumidor vem pagando mais caro por este recurso, fazendo com que se busque alternativas para minimizar os gastos com energia elétrica. A geração distribuída através de painéis fotovoltaicos vem apresentando crescimento a nível mundial e nacional, em função de apresentar um investimento relativamente baixo se comparado a vida útil dos equipamentos. Com a finalidade de reduzir os gastos em energia elétrica de um departamento da Autarquia municipal de Água e Esgoto de Santana do Livramento foi proposto um estudo de viabilidade técnica e econômica de implementação de um sistema fotovoltaico no local da Autarquia. Este estudo de caso levou em conta fatores como vida útil dos equipamentos, manutenção, variação do preço do quilowatt hora e os valores das bandeiras tarifárias através da criação de uma planilha em Excel, obtendo como resultados técnicos o estudo dos equipamentos necessários para suprir o consumo do local, bem como o estudo dos custos de investimentos necessários. A parte que se refere a viabilidade econômica foi baseada na aplicação dos seguintes métodos econômicos: Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e *Payback*. Com o estudo observou-se que o sistema fotovoltaico se mostrou viável para o caso da Autarquia, pois, mesmo considerando despesas de manutenção, as quais o sistema pode não apresentar, obteve-se um tempo de retorno de investimento relativamente baixo. A principal vantagem do sistema pode ser vista no que se refere ao aumento da tarifa de energia elétrica, a qual não causa nenhuma desvantagem no investimento feito no sistema fotovoltaico e sim vantagens, pois, com o valor que seria gasto em faturas de energia elétrica é visto como uma entrada no fluxo de caixa, ou seja, quanto mais alto o valor do quilowatt hora, mais rápido o sistema solar dará seu retorno.

Palavras-Chave: painel fotovoltaico. Viabilidade técnica. Viabilidade Econômica.

## **ABSTRACT**

Brazil has been presenting large variations in the energy costs of electric energy in the rise of climatic components, showing that the consumer has been paying more for this resource, making it look for alternatives for the smaller expenditures with electric energy. The distribution system of digital video panels comes high all over the world and around the world. With the objective of reducing the electricity costs of a municipal water and sewage system in Santana do Livramento, it was a technical and economic study of the implementation of a photovoltaic system in the locality of the Autarchy. This case study took into account how the life of the machines, the maintenance, the price variation of the kilowatt hour and the values of the flags went through the creation of a spreadsheet in Excel, obtaining technical results of the study of the equipment to supply the consumption, as well as the necessary investment costs. The Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV) and Payback. With the study, it was observed that the photovoltaic system proved to be feasible for the case of the autarchy, because even considering maintenance costs, wich the system may not present, a relatively low investment return time was obtained. The main advantage of the system is not the same as the solar energy rate. As an input into the cash flow, that is, the higher the kilowatt hour, the faster the solar system will give his return.

**Keywords:** Photovoltaic panel. Technical viability. Economic viability

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Usina Heliotérmica.....	21
Figura 2 — Painéis solares fotovoltaicos .....	21
Figura 3 — Circuito ideal de uma célula fotovoltaica.....	25
Figura 4 — Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica .....	26
Figura 5 — Estruturas de um módulo fotovoltaico .....	28
Figura 6 — Ligação de módulos fotovoltaicos em série .....	29
Figura 7 — Ligação de módulos fotovoltaicos em paralelo.....	29
Figura 8 — Curva característica I-V de um módulo fotovoltaico.....	31
Figura 9 — Representação do diodo Bypass.....	31
Figura 10 — Comportamento da curva $V_{xI}$ conforme a intensidade de sombreamento de uma célula fotovoltaica.....	32
Figura 11 — Configurações distintas de inversores .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 12 — String Box .....	36
Figura 13 — Corrente e tensão do painel fotovoltaico KD210GX-LP conforme variação da irradiação .....	38
Figura 14 — Corrente e tensão do painel fotovoltaico KD210GX-LP conforme variação da temperatura.....	39
Figura 15 — Processo de pesquisa.....	43
Figura 16 — Participação da Engenharia no ciclo de decisões de um projeto.....	45
Figura 17 — Etapas da pesquisa.....	46
Figura 18 — Gráfico do Fluxo de caixa no horizonte de 25 anos utilizando bandeira verde ..	58
Figura 19 — Gráfico do Fluxo de caixa no horizonte de 25 anos utilizando bandeira amarela .....	59
Figura 20 — Gráfico do Fluxo de caixa no horizonte de 25 anos utilizando bandeira vermelha patamar 1 .....	60
Figura 21 — Gráfico do Fluxo de caixa no horizonte de 25 anos utilizando bandeira vermelha patamar 2 .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Valores de irradiação para diferentes ângulos de inclinação	48
Tabela 2 — Consumo em kWh	48
Tabela 3 — Custo de disponibilidade de energia	49
Tabela 4 — Variação das tarifas médias e dos indicadores econômicos	51
Tabela 5 — Inflação Histórica IPC Brasil (anual)	51
Tabela 6 — Dados do inversor	56
Tabela 7 — Dados dos painéis fotovoltaicos	56
Tabela 8 — Dados econômicos obtidos simulando a bandeira verde	58
Tabela 9 — Dados econômicos obtidos simulando a bandeira amarela	59
Tabela 10 — Dados econômicos obtidos simulando a tarifa bandeira vermelha patamar 1	60
Tabela 11 — Dados econômicos obtidos simulando a bandeira vermelha patamar 2	61
Tabela 12 — Comparativo de resultados para diferentes bandeiras tarifárias	62

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Exemplos de classificação de sistemas fotovoltaicos .....	22
Quadro 2 — Forma de cálculo/equação/autor .....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
COFINS	Contribuição para Financiamento de Seguridade Social
COPOM	Comitê de Política Monetária
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DC	Corrente Contínua
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
GW	Giga Watt
HSP	Horas de Sol Pleno
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEC	Comissão Eletrônica Internacional
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kW	Quilo-Watt
kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilo-Watt pico
NBR	Norma Brasileira
PFV	Potência Fotovoltaica
PIS	Programa de Integração Social
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
SIN	Sistema Interligado Nacional
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima Atrativa
Vcc	Tensão Corrente Contínua
VPL	Valor Presente Líquido
W	Watt
Wp	Watt-pico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>18</b>
1.1.1 Objetivo Geral .....	18
1.1.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>19</b>
<b>2. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Histórico .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Energia Solar.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Princípios e Aplicações.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 Micro e Minigeração distribuída.....</b>	<b>22</b>
<b>2.6 Células Fotovoltaicas.....</b>	<b>24</b>
2.6.1 Tipos de células fotovoltaicas.....	24
2.6.2 Circuito Ideal de uma célula fotovoltaica.....	25
2.6.3 Circuito Equivalente de uma célula fotovoltaica.....	26
<b>2.7 Componentes de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede .....</b>	<b>27</b>
2.7.1 Módulos Fotovoltaicos .....	28
2.7.1.1 Tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito .....	30
2.7.1.2 Curva Característica I-V .....	30
2.7.1.3 Diodo de Bypass .....	31
2.7.2 Inversores de Frequência .....	32
2.7.3 Caixa de Fileiras ( <i>String Box</i> ) .....	35
2.7.4 Quadros de proteção para corrente contínua e corrente alternada.....	36
2.7.5 Cabos elétricos para os lados de corrente contínua e alternada.....	36

2.7.6 Conectores MC4 .....	37
<b>2.8 Fatores locais que influenciam na geração de energia solar .....</b>	<b>37</b>
2.8.1 Radiação solar.....	37
2.8.2 Influência da Irradiação e temperatura .....	38
2.8.3 Ângulo de inclinação .....	39
<b>2.9 PRODIST: Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.....</b>	<b>39</b>
<b>2.10 Sistema de compensação: Resolução Normativa 482/2012 .....</b>	<b>40</b>
<b>2.11 Bandeiras Tarifárias.....</b>	<b>41</b>
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Caracterização da pesquisa .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2 Etapas da pesquisa.....</b>	<b>45</b>
3.2.1 Necessidade do Departamento.....	47
3.2.2 Solução proposta.....	47
3.2.3 Primeira prova .....	47
3.2.4 Segunda prova .....	50
3.2.5 Avaliação .....	52
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1 Primeira Prova.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2 Segunda Prova .....</b>	<b>57</b>
<b>4.3 Conclusão das Provas .....</b>	<b>62</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>63</b>
<b>5.1 Considerações finais .....</b>	<b>63</b>
<b>5.2 Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>64</b>

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país dependente da fonte hídrica no que se refere a geração de energia elétrica. Os níveis dos reservatórios apresentam grandes variações, fazendo com que o custo da geração acabe sendo elevado, pois há necessidade de geração a partir de outras fontes como, por exemplo, a energia térmica, que possui um custo maior.

No ano de 2013 o país passou uma estiagem, o que gerou problemas. A energia proveniente das usinas termoelétricas teve que ser despachada durante metade do ano de 2013, fazendo com que o preço pago por essa energia tenha chegado a oito vezes o preço da geração hidrelétrica. Em 2014 os níveis dos reservatórios tiveram um aumento em relação a 2013, mas o acionamento das térmicas não foi reduzido, foi considerado que o horário de ponta no verão aumentou, sendo registrado entre 14h30 e 15horas, com o uso de ar-condicionado e outros equipamentos (RITTNER; PERES, 2014).

O antigo cenário continua apresentando os mesmos problemas com reservatórios e baixa qualidade. Visto isso, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) vem propondo alterações no setor da energia elétrica, aplicando a política de compensação de energia a partir da micro e mini geração distribuída, possibilidade de utilizar tarifas diferenciadas por horário de consumo, entre outras alterações visando melhorar a qualidade do sistema de distribuição nacional.

Unindo a necessidade de uma fonte de energia mais econômica e a necessidade de conservação do meio ambiente, os modelos sustentáveis começam a se destacar no cenário mundial.

Observa-se que a tendência para os anos futuros será a geração e o consumo da energia solar, a qual está ao alcance do Brasileiro, visto que o país possui grandes reservas de silício, matéria-prima importante na construção de painéis, além de uma grande incidência de irradiação solar, que varia de 4,25 a 5,5kWh/m<sup>2</sup>/dia. Esse nível de irradiação é superior à de países onde projetos de energia solar são muito disseminados, como Alemanha, França e Espanha (NASCIMENTO, 2017).

No mundo, o mercado fotovoltaico é bem difundido e apresentou crescimento exponencial nos últimos anos (IEA, 2016). A partir de 2015, a China se tornou a líder em capacidade total instalada de energia solar fotovoltaica e, em 2017, apresentava 131 GW

instalados, seguido pelos Estados Unidos com 51 GW e o Japão como terceiro colocado com 49 GW (IEA; BE; JP, 2018).

No Brasil desde Dezembro de 2012, onde foi publicada a Resolução Normativa nº 482/12, até Maio de 2017 o número de conexões de micro e minigeração distribuída passou de 1 para 11.780 conexões, sendo que a fonte solar fotovoltaica representa 99% do número total de instalações. Somente o ano de 2016 representou um aumento de 4,4 vezes a mais do que o ano de 2015 no número de consumidores que aderiram a micro e minigeração (ANEEL, 2017a).

A potência instalada da fonte solar corresponde a 70% do total de geração distribuída instalada no Brasil (ANEEL, 2017a). Conforme Nascimento (2017), a geração solar representa 0,05% da capacidade total de energia instalada no Brasil e 0,02% das unidades consumidoras do país possuem sistemas de microgeração e minigeração distribuída solar fotovoltaicas operacionais (NASCIMENTO 2017; ANEEL 2017a).

Conforme o Balanço Energético Nacional (2017), em 2016 o Brasil possuía 56,9 MW de energia solar fotovoltaica instalados e, em 2017, o Brasil entrou no top 10 de países que aumentaram sua capacidade fotovoltaica, se colocando na décima posição com um aumento de 0,9 GW em sua capacidade instalada (IEA; BE; JP, 2018). Totalizando cerca de 0,957 GW instalados atualmente, valor que, quando comparado com a China, que apresenta cerca de 131 GW, se torna um valor relativamente baixo.

Vale ressaltar que o Brasil possui sua principal fonte de energia renovável diferente dos países que hoje estão no topo da geração solar, os quais estão mudando suas principais formas de geração de energia que, em sua maioria, não eram renováveis (NASCIMENTO, 2017).

Conforme Nascimento (2017), pode-se dizer que, mesmo sem provocar impactos ambientais, apresentando alto índice de irradiação e considerando que a matéria prima local que reduziria o seu custo, este método de geração de energia ainda é pouco difundido no Brasil. A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (2017) considera que o Brasil estaria 15 anos atrasado, se comparado a outros mercados.

Com o crescimento do conceito de geração distribuída se difundindo em âmbito mundial a ANEEL propôs algumas Resoluções Normativas como a 482, a 687, bem como tem-se ainda a ABNT NBR 11704/2008, as quais servem como incentivo a inserção da geração distribuída no Brasil. Também como medida de melhoria no setor elétrico, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vem estudando a implementação de um modelo adotado em outros países, denominado de “lastro”, o qual permite ao investidor que construir uma usina poderá receber

uma receita fixa pela capacidade disponibilizada ao sistema elétrico nacional, ainda possuindo a liberdade para negociar a sua eletricidade produzida no mercado.

Com o aumento do custo da energia elétrica no Brasil, que ocorre devido ao aumento nos custos de produção e fatores climáticos, tem-se como possibilidade a utilização da energia solar fotovoltaica, a fim de se obter uma energia renovável e limpa, bem como de se ter uma fonte de energia independente, ocasionando, também, a diminuição na conta de pagamento de energia elétrica daqueles que dela necessitam. Diante o exposto, tem-se a seguinte questão de pesquisa: é viável técnica e economicamente a implementação de um sistema de geração distribuída de energia elétrica produzida por painéis fotovoltaicos em um departamento localizado em uma Autarquia Municipal responsável pelo abastecimento de água e esgoto do Município de Santana do Livramento?

Para responder à questão de pesquisa proposta foram formulados o objetivo geral e os objetivos específicos apresentados na sequência.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Demonstrar a viabilidade técnica e econômica de um sistema de geração distribuída de energia elétrica produzida por painéis fotovoltaicos para um departamento de uma Autarquia Municipal responsável pelo abastecimento de água e esgoto do Município de Santana do Livramento.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- delinear um sistema de geração distribuída de energia elétrica produzida por painéis fotovoltaicos para um departamento de uma Autarquia municipal responsável pelo tratamento de água e esgoto da cidade de Santana do Livramento;
- verificar a viabilidade técnica do sistema fotovoltaico, visando reduzir o valor pago na fatura de energia elétrica desta Autarquia;

- analisar a viabilidade econômica do sistema completo no departamento disponibilizado pela Autarquia municipal.

## **1.2 Justificativa**

Em razão da Autarquia municipal possuir cerca de 50 contas de energia espalhadas pela cidade, e gastar cerca de R\$350.000,00 por mês em energia elétrica, se torna necessário o estudo de outros métodos geradores de energia elétrica, em função do crescimento da energia fotovoltaica no Brasil e para conhecimento próprio, tem-se a ideia de estudar sobre este tema e propor um sistema fotovoltaico em conjunto com o estudo de viabilidade econômica para um determinado Departamento desta Autarquia.

Sabendo-se da grande dependência do Brasil dos recursos hídricos no que se refere a geração de energia, o recurso solar vem ganhando lugar no cotidiano brasileiro, com o propósito de diversificar a matriz energética e, assim, reduzir a dependência da fonte hídrica.

Diante disso, com esse estudo será possível verificar se a Autarquia terá ganhos econômicos, bem como se o sistema atenderá de forma satisfatória as necessidades impostas tecnicamente, reduzindo, assim, a dependência de energia gerada pelos recursos hídricos.

## **2. CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Histórico**

Desde os tempos primórdios o homem busca fontes alternativas de energia, com o intuito de se preservar e pelo bem-estar do planeta. O sol permite ao homem condições favoráveis de vida e, ao longo do tempo, as tecnologias desenvolvidas para a utilização deste recurso vêm crescendo, chegando ao ponto onde é possível utilizar a energia gerada pelo sol no sistema elétrico de distribuição a partir do uso das células fotovoltaicas.

### **2.2 Energia Solar**

A energia solar é a energia proveniente da luz e do calor do sol, na qual pode ser aproveitada por meio de diferentes tecnologias, sendo considerada uma fonte de energia renovável e sustentável.

Segundo o Institute of Agriculture (2016), a energia irradiada pelo Sol, em um segundo, é inúmeras vezes maior que a energia consumida pela humanidade. Toda essa energia não chega até a Terra (HERMMAN; CÂMARA, 2016, p. 104). A partir de todo fluxo energético emitido pelo sol, estima-se que 51% chega a superfície da terra, 19% seja absorvido pela atmosfera e 30% se reflete novamente para o espaço.

É importante informar, como base no entendimento de Villalva e Gazoli (2013), que estudos comprovam que a energia solar estará disponível por cerca de 8 bilhões de anos, podendo ser considerada infinita. Tal tipo de energia está aí disponível e tem potencial para ser utilizada na forma de energia elétrica.

### **2.3 Princípios e Aplicações**

O aproveitamento da energia solar, na forma de energia elétrica, pode ser feito através de dois métodos, que são pela conversão heliotérmica e pela conversão fotovoltaica.

A energia solar heliotérmica utiliza refletores os quais direcionam todo foco dos raios solares para um receptor, o qual absorve a energia em forma de calor para então, ser convertida

em eletricidade. A Figura 1 representa uma Usina Heliotérmica, localizada na Califórnia, Estados Unidos, constituída de 300 mil espelhos, os quais, a partir de um software, são sincronizados (PASSOS, 2016).

Figura 1 — Usina Heliotérmica



Fonte: Ivan Pah (2018, não paginado)

A conversão da energia solar para energia fotovoltaica é realizada por meio da conversão da radiação solar luminosa em eletricidade (efeito fotovoltaico), na qual a radiação atua sobre determinados materiais normalmente semicondutores. O material semicondutor mais utilizado é o silício. A Figura 2 corresponde a conversão da energia solar utilizando o efeito fotovoltaico.

Figura 2 — Painéis solares fotovoltaicos



Fonte: Solstar (2018, não paginado)

## 2.4 Micro e Minigeração distribuída

A geração distribuída (GD) se refere a pequenas unidades geradoras que são instaladas próximas aos locais de consumo (MENDONÇA, 2017).

São dois conceitos que se referem a produção de energia elétrica utilizando fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, permitindo, ou não, ao consumidor conectar-se à rede de distribuição. A diferença entre os conceitos está relacionada a sua capacidade de gerar energia em três categorias, conforme Resolução Normativa nº 786 (ANEEL, 2017b), de 17 de outubro de 2017:

- Microgeração: sistemas com potência instalada até 75 kW;
- Minigeração: sistemas com potência instalada de 75 kW até 5 MW;
- Usinas: sistemas com potência instalada acima de 5 MW.

## 2.5 Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os sistemas de conversão fotovoltaica de energia solar para energia elétrica são classificados de acordo com a ABNT NBR 11704 (ABNT, 2008), como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 — Exemplos de classificação de sistemas fotovoltaicos

Tipo de Sistema		Alimentação dos consumidores	Acumulação de energia elétrica	Componentes básicos
<b>SISTEMAS ISOLADOS</b>	<b>Puros</b>	Tensão contínua	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)
			Sim	Controlador de carga e acumulador
		Tensão alternada	Não	Inversor
			Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor

Continua...

... continuação

	<b>Híbridos</b>	Tensão contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar
<b>SISTEMAS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA</b>	<b>Puros</b>	Tensão alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar
	<b>Híbridos</b>	Tensão alternada	Não	Inversor e gerador complementar
			Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador

Fonte: NBR 11704 (ABNT, 2008, p.3)

Pode-se dizer, no que se refere ao tipo de sistema fotovoltaico, que eles podem ser (ABNT NBR 11704/2008):

- Sistemas Isolados: não possuem conexão com o sistema de distribuição público;
- Sistemas Conectados à rede elétrica: é aquele sistema o qual está conectado ao sistema de distribuição público.

Quanto à utilização de geradores de energia, é preciso atentar que pode ocorrer por meio de (ABNT NBR 11704/2008):

- Sistemas puros: a geração fotovoltaica é o único meio gerador de energia elétrica;
- Sistemas híbridos: se refere ao sistema que, além da geração fotovoltaica, possui outra forma geradora de energia elétrica, como por exemplo a geração eólica.

O sistema isolado é popularmente conhecido como sistema “*off grid*”, o qual é comumente utilizado em locais onde não há fornecimento de energia elétrica. Este tipo de sistema pode ou não armazenar a energia gerada pelo sistema, através de um banco de baterias que possui elevado valor de investimento e vida útil pequena. Também é necessário um conversor para utilização de corrente alternada e um controlador de carga para o monitoramento das baterias (CRESESB, 2014).

O sistema fotovoltaico conectado à rede é conhecido popularmente como sistema “*on grid*”, o qual possui objetivo de gerar eletricidade para o consumo local, podendo suprir a

necessidade de energia local ou injetar o excedente produzido na rede da concessionária conforme as regras da ANEEL (CRESESB, 2014).

Os sistemas híbridos são caracterizados por utilizarem alguma forma alternativa de energia para os horários e situações as quais a disposição solar seja insuficiente ou indisponível para a carga exigida (CRESESB, 2014).

## **2.6 Células Fotovoltaicas**

As células fotovoltaicas são dispositivos elétricos os quais realizam a conversão da energia solar em energia elétrica, o que caracteriza o efeito fotovoltaico. Segundo Passos (2016), as tecnologias destas células podem ser divididas em três categorias: primeira geração (silício mono e policristalinos), segunda geração (silício amorfo e filmes finos) e terceira geração (concentrador fotovoltaico).

A conversão da energia solar em energia elétrica é chamada de efeito fotovoltaico; e esta conversão ocorre a partir da absorção da radiação solar por um material semicondutor presente nas células fotovoltaicas.

Conforme Mendonça (2017), pode-se resumir o efeito fotovoltaico em três passos:

1. Os raios solares produzem fótons, os quais são absorvidos pelo material semicondutor presente no módulo fotovoltaico, sendo o mais comum o silício.
2. Com o aumento da temperatura do material, os elétrons se excitam, migrando para camada de valência do material, fazendo com que certa quantidade de eletricidade seja produzida.
3. Um módulo fotovoltaico é composto por várias células fotovoltaicas arranjadas em série, com a finalidade de gerar uma quantidade considerável de energia.

### **2.6.1 Tipos de células fotovoltaicas**

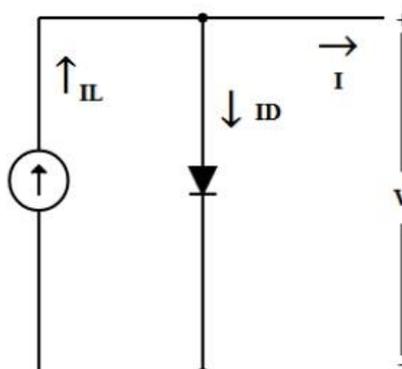
As células fotovoltaicas podem ser de três tipos: Silício (Si) monocristalino, Silício (Si) multicristalino e filmes finos. Veja-se, na sequência, a descrição de cada uma delas:

- Silício (Si) monocristalino: É um material utilizado em circuitos integrados e que possui um estudo bem explorado no que se refere a seu processo de purificação e moldagem, o que o torna um material com grande eficiência quando relacionado aos outros. Nesta composição é necessário um silício com grau de pureza na ordem de 99,99%. As células são compostas por uma fatia de um único cristal. Na prática possui eficiência entre 12% e 16% (NASCIMENTO, 2004; MENDONÇA, 2017).
- Silício (Si) multicristalino: As células são formadas pelo mesmo material, o que o difere do monocristalino é a sua composição, a qual não utiliza somente um único cristal, mas sim a união de pequenos cristais formando as fatias das células. Devido à variedade dos materiais em sua composição, sua eficiência em laboratório se difere do silício monocristalino, entretanto, na prática os valores obtidos são próximos. (NASCIMENTO, 2004; MENDONÇA, 2017).
- Filmes finos: Sua aplicação nessa área é recente. Sua proposta é de gerar energia fotovoltaica com uma pequena quantidade de material semiconductor, o que possibilita uma maior quantidade de produção e redução de custo.

### 2.6.2 Circuito Ideal de uma célula fotovoltaica

O circuito ideal de uma célula fotovoltaica (Figura 3) se baseia em uma fonte de corrente que varia conforme a incidência de radiação contida na célula (PASSOS, 2016).

Figura 3 — Circuito ideal de uma célula fotovoltaica



Fonte: Passos (2016, p. 52)

A partir da lei de Kirchoff é possível obter o valor de corrente de saída da célula fotovoltaica pela Equação 1.

$$I = I_L - I_D \quad \dots (1)$$

A corrente que circula sobre o diodo é representada pela Equação 2:

$$I_D = I_0 \left[ \exp\left(\frac{e \cdot V}{m \cdot k \cdot T_c}\right) - 1 \right] \quad \dots (2)$$

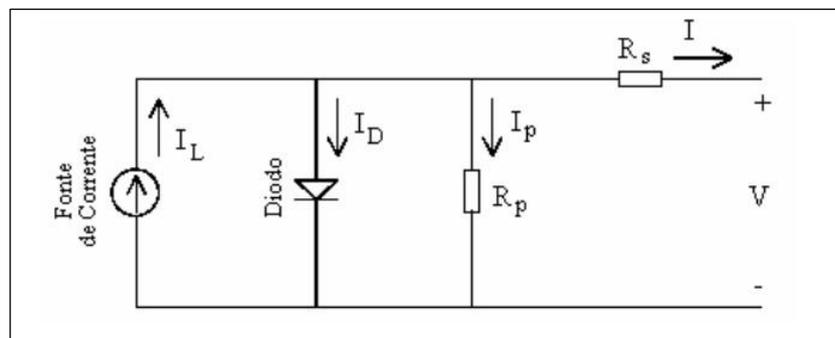
Onde:

- $I_0$  = Corrente de saturação reversa do diodo no escuro (A);
- $V$  = Tensão nos terminais do diodo (V);
- $e$  = Carga do elétron ( $1,602 \times 10^{-19}$  C);
- $m$  = Fator de idealidade do diodo (entre 1 e 2 para o silício cristalino)
- $k$  = constante de Boltzmann ( $1,381 \times 10^{-19}$  J/K);
- $T_c$  = temperatura equivalente de operação da célula fotovoltaica (298,15 K ou 25°C).

### 2.6.3 Circuito Equivalente de uma célula fotovoltaica

O circuito equivalente (Figura 4) que contém duas resistências e um diodo é o mais utilizado e conhecido como modelo real (ZILLES, 2012).

Figura 4 — Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica



Fonte: Hecktheuer (2001, p. 31)

A corrente gerada pela célula fotovoltaica é representada por uma fonte de corrente para o circuito, a resistência  $R_p$  simboliza as fugas de corrente, as quais dependem da qualidade da célula, preferencialmente essas fugas devem ser muito pequenas, fazendo com que essa resistência tenda ao infinito. Outro fator imprescindível é a queda de tensão, a qual é representada como  $R_s$  no circuito equivalente. Usualmente esses fatores variam de acordo com o material de construção e fabricantes, sendo na prática consideradas uma resistência série e outra paralela (HECKTHEUER, 2001).

A partir da lei de Kirchhoff, obtém-se a Equação 3.

$$I = I_L - I_D - I_p \quad \dots (3)$$

Onde:

- $i_p$  = correntes de fuga.

A Equação 4 descreve a corrente a partir de células fotovoltaicas conectadas em série:

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp \left( \frac{e \cdot V + I \cdot R_s}{N_s \cdot m \cdot k \cdot T_c} \right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad \dots (4)$$

Onde:

- $N_s$  = número de células associadas em série.

## 2.7 Componentes de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Um sistema fotovoltaico conectado à rede necessita de componentes imprescindíveis para seu funcionamento correto, desde a produção de energia até a sua conexão com a rede. Os principais componentes são:

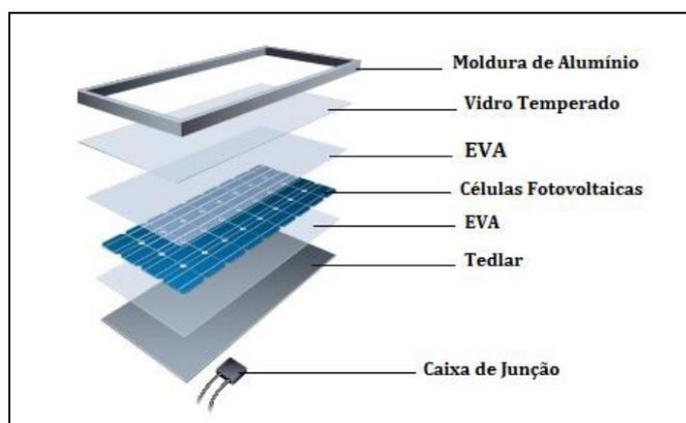
- módulos fotovoltaicos;
- inversor de frequência;
- caixa de fileiras;

- quadros de proteção para corrente contínua e para corrente alternada;
- cabos elétricos;
- conectores.

### 2.7.1 Módulos Fotovoltaicos

Um módulo fotovoltaico é formado a partir do conjunto de células fotovoltaicas, as quais produzem pouca energia sendo necessário seu agrupamento no módulo. Os módulos fotovoltaicos são constituídos pelas seguintes partes: caixa de junção, Tedlar, EVA, células fotovoltaicas, vidro temperado e moldura de alumínio, os quais podem ser observados na Figura 5.

Figura 5 — Estruturas de um módulo fotovoltaico



Fonte: Adaptado de Yingli Solar e Passos (2016)

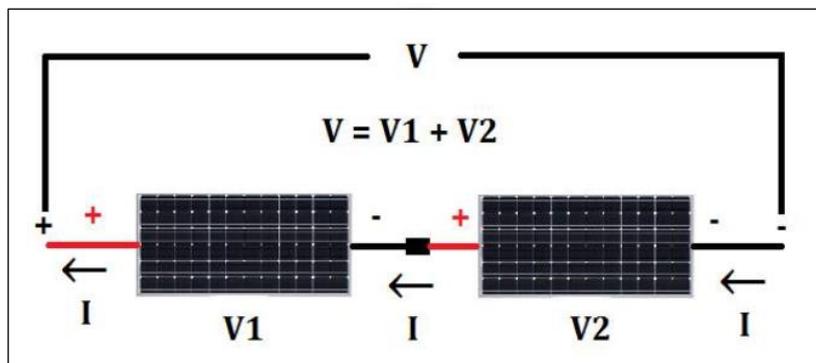
Os fabricantes dos módulos fotovoltaicos de silício cristalino fornecem uma garantia geralmente de a 3 a 5 anos contra erros de fabricação. Normalmente os fabricantes garantem uma potência ( $W_p$ ) de 90% para um tempo entre 10 e 12 anos de uso e de 80% para um tempo de 20 a 25 anos de uso (CRESESB, 2014; PASSOS, 2016).

A capacidade de geração de potência de um módulo fotovoltaico sofre degradação entre 0,5% a 1% ao ano. Um módulo fotovoltaico comumente é composto por 60 ou mais células associadas em série, fornecendo uma tensão de circuito aberto entorno de 37Vcc e potências de 230W a 315W. (CRESESB, 2014; PASSOS, 2016). É importante dizer que tem-se como custo anual para a operação e manutenção o valor de 1% do investimento inicial (EPE, 2012).

Uma associação de módulos fotovoltaicos é chamada de arranjo, e estes podem ser conectados em série ou paralelo, tendo seu tipo de conexão mais utilizada, a conectada em série. Esta conexão fornece uma maior tensão, o que reduz as perdas, tornando a associação dos módulos mais eficiente (FIGUEIRA, 2014).

Quando utilizada a associação em série, a tensão de saída dos módulos será a soma das tensões e a corrente se manterá igual em todos os módulos. O terminal positivo de um módulo deve ser conectado ao negativo da próxima placa, conforme a Figura 6.

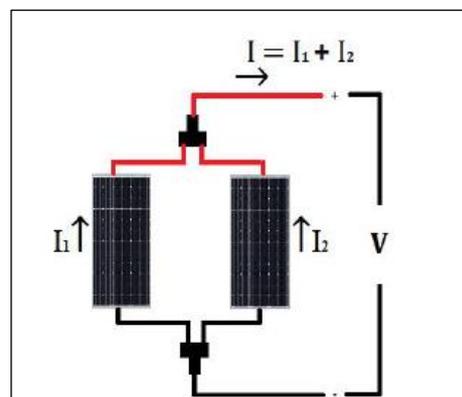
Figura 6 — Ligação de módulos fotovoltaicos em série



Fonte: Passos (2016, p. 69)

Na associação em paralelo, a tensão se mantém constante, ela representa a tensão de um módulo fotovoltaico do arranjo. A corrente se dá pela soma das correntes de cada módulo do arranjo, conforme a Figura 7.

Figura 7 — Ligação de módulos fotovoltaicos em paralelo



Fonte: Passos (2016, p. 69)

### 2.7.1.1 Tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito

A tensão de curto circuito aberto é obtida a partir da conexão de um voltímetro nos terminais de saída do módulo, estes não estando conectado a qualquer carga e sem circulação de corrente, assim a tensão obtida é chamada de tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ).

A determinação da corrente de curto-circuito se dá através da ligação de um amperímetro nos terminais de saída do módulo, este não estando conectado a nenhuma carga, a corrente gerada é chamada de corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ).

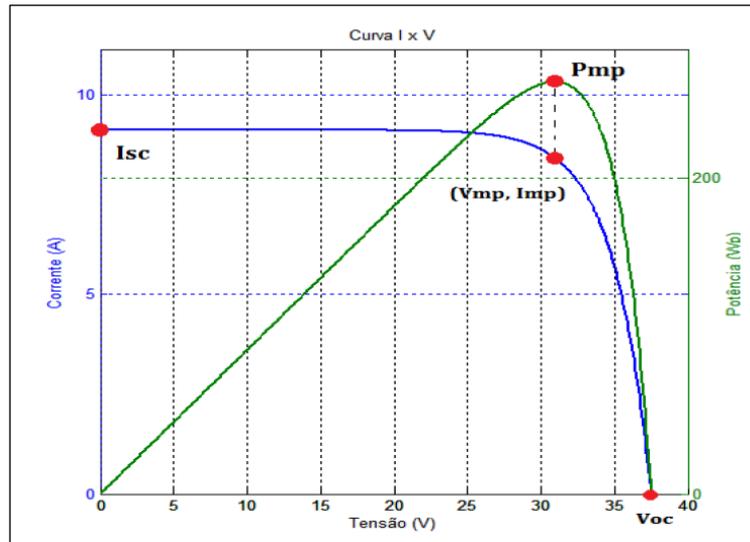
Os dados são retirados com uma irradiação e temperatura base de  $1000 \text{ W/m}^2$  e  $25^\circ\text{C}$ , condições padronizadas nos testes.

### 2.7.1.2 Curva Característica I-V

A curva característica de uma célula ou módulo fotovoltaico (Figura 8) retrata a relação entre a corrente elétrica em função da tensão. A partir destes dados é possível avaliar o desempenho de uma célula ou módulo fotovoltaico. Pode-se identificar quanto pontos importantes (PASSOS, 2016):

- Corrente de curto-circuito  $I_{sc}$ : é a corrente que circula por uma célula iluminada quando a tensão em seus terminais é nula.
- Tensão de circuito aberto  $V_{oc}$ : é a tensão nos terminais da célula iluminada quando a corrente é nula.
- Ponto de máxima potência  $P_{mp}$ : é o ponto na curva I-V onde a potência é máxima, determinada pelo produto de  $V_{mp}$  e  $I_{mp}$ .
- Tensão  $V_{mp}$  e corrente  $I_{mp}$ : são respectivamente a tensão e corrente quando a célula iluminada fornece sua potência máxima.

Figura 8 — Curva característica I-V de um módulo fotovoltaico



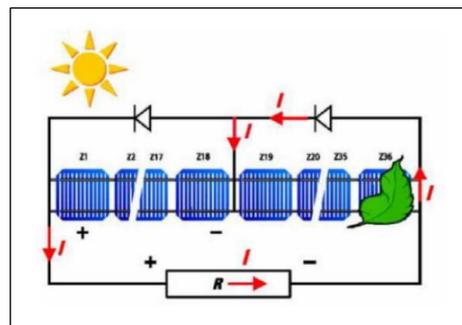
Fonte: Passos (2016, p.56)

Observa-se que os valores  $I_{sc}$  e  $V_{oc}$  representam os respectivos valores de corrente e tensão máximos para uma célula ou módulo fotovoltaico.

### 2.7.1.3 Diodo de Bypass

O diodo de Bypass é um tipo de proteção usado em painéis fotovoltaicos, seu funcionamento se dá quando uma célula é encoberta, o que torna sua polaridade invertida, assim a célula passa a consumir. O diodo é colocado em antiparalelo com a célula, com a finalidade de desviar a corrente elétrica sobre o ponto sombreado, como pode ser observado na Figura 9.

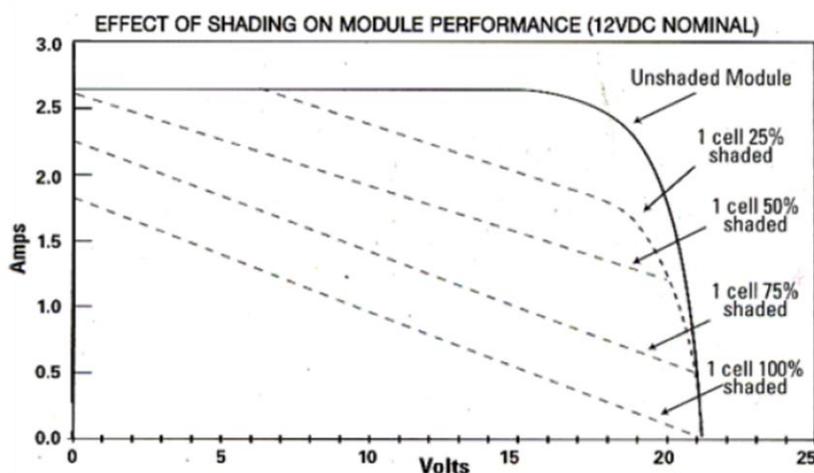
Figura 9 — Representação do diodo Bypass



Fonte: Greenpro (2004, p. 95)

Devido ao sombreamento, a tensão de saída gerada pelo painel sofrerá um decréscimo em seu valor, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 — Comportamento da curva VxI conforme a intensidade de sombreamento de uma célula fotovoltaica



Fonte: Mendonça (2017, p.25)

Estipula-se que na Alemanha na década de 90, 41% dos sistemas fotovoltaicos era afetado por sombreamento, gerando perdas de energia na ordem de 10% (REITER, 2016).

### 2.7.2 Inversores de Frequência

O inversor de frequência é o equipamento eletrônico responsável pela conversão da corrente contínua oriunda dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, a qual é utilizada pela grande maioria dos equipamentos eletrodomésticos.

Após a geração, a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos é transferida para o quadro de distribuição do local, sendo distribuída para as cargas. Caso a energia gerada pelo sistema fotovoltaico, durante o horário de sol, não for o bastante para suprir as cargas, a diferença é absorvida da rede de distribuição. Se toda energia produzida não for consumida ela é injetada na rede de distribuição. No período noturno, onde não há proveniência da luz solar, a carga é suprida pela rede de distribuição. O inversor é responsável por toda coordenação do fluxo de energia.

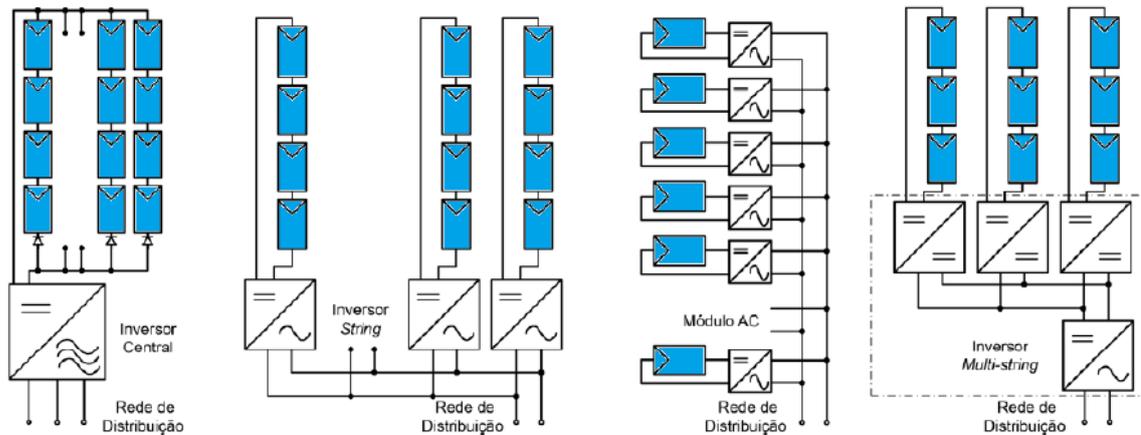
Os inversores CC-CA são constituídos de componentes eletrônicos de potência, para que a corrente, ao ser injetada na rede de distribuição, respeite a forma senoidal, tensão e frequência, conforme as normas estabelecidas pela ANEEL, em seus procedimentos de distribuição de energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica (ANEEL, 2017c).

Os inversores que são interligados com a rede pública, com potências até 5kW possuem saída monofásica, para potências superiores a esta, comumente utiliza-se inversores com saída trifásica.

Podem ser utilizadas quatro configurações distintas na ligação dos inversores ao sistema fotovoltaicos, conforme a Figura 11.

- a) Inversor Central: Todos os módulos do sistema estão conectados a um único inversor. Essa configuração apresenta como vantagem o baixo custo de investimento e a desvantagem de que se ocorrer alguma falha no inversor, afetará todo o sistema.
- b) Inversor por fileira: A cada fileira de módulos fotovoltaicos utiliza-se um inversor. É uma configuração confiável e que também permite expansão do sistema. É a configuração mais utilizada em sistemas residenciais.
- c) Módulos CA ou Micro-Inversores: cada módulo fotovoltaico possui seu próprio inversor. Com essa configuração os módulos fotovoltaicos trabalham com máxima potência individualmente. Em razão do tamanho do inversor, este possui menor eficiência, quando comparado aos maiores e um custo maior que os convencionais.
- d) Inversor Multi-Fileira: é a configuração indicada quando há variação de temperatura e irradiação sobre os arranjos fotovoltaicos. Conversores CC-CC são utilizados nas fileiras, elevando tensão e mantendo a máxima potência, alimentando o conversor central que estará ligado a rede de distribuição.

Figura 11 — Configurações distintas de inversores



Fonte: Prieb (2011, p. 9)

Existe também os inversores híbridos, os quais possuem a capacidade de armazenar o excedente de energia elétrica em baterias, para autoconsumo e *back-up* em casos de falta de energia elétrica. Todos os inversores que estiverem conectados à rede de distribuição elétrica devem estar de acordo com as normas de anti-ilhamento e de reconexão automática. A partir de 2015, com a revisão da Resolução Normativa nº 482 de 2012, a ANEEL passou a permitir que sistemas fotovoltaicos conectados à rede operem isolados da rede, desde que seja garantida a desconexão entre a rede de distribuição e as instalações e geração da unidade consumidora.

Conforme citado por Passos (2016), os principais parâmetros a serem observados na escolha de um inversor são:

- Eficiência de conversão: quanto maior a eficiência, maior o aproveitamento da energia gerada pelo arranjo fotovoltaico.
- Umidade Relativa e temperatura do ambiente de operação: se refere as faixas de umidade e temperatura admissíveis pelo aparelho para garantir seu tempo de vida útil.
- Distorção da corrente injetada na rede: a corrente injetada na rede elétrica deve possuir forma senoidal pura e em sincronismo com a rede de distribuição, as normas admitem uma distorção harmônica de até 5%;
- Potência de corrente alternada na saída: indica a potência máxima que o inversor pode injetar na rede;
- Frequência da rede elétrica: se refere a frequência nominal de operação da tensão de saída do inversor;

- Corrente máxima na conexão com a rede: é a máxima corrente na saída do inversor;
- Tensão de operação na conexão com a rede: é tensão nominal de saída do inversor;
- Potência de corrente contínua na entrada: se refere a potência de pico suportada pelo inversor. Normalmente conecta-se arranjos com potências superiores e inferiores que a capacidade nominal destes dispositivos, mas os limites de tensão e corrente de entrada devem ser respeitados;
- Número máximo de fileiras na entrada: é o número que limita as fileiras de módulos fotovoltaicos conectadas ao inversor.
- Faixa útil de tensão contínua na entrada: se refere ao intervalo de tensão na qual o inversor opera com sua máxima produção de energia proveniente dos módulos fotovoltaicos.
- Corrente contínua máxima na entrada: é a corrente máxima admissível na entrada do inversor.
- Tensão contínua máxima na entrada: é a máxima tensão admissível na entrada do inversor, está relacionada com a tensão de circuito aberto dos módulos fotovoltaicos.

As distribuidoras de energia somente aceitam inversores certificados pelo INMETRO. Os inversores devem atender as normas ABNT NBR 16149 (2013); ABNT NBR 16150 (2013); IEC-62116 (2012).

### **2.7.3 Caixa de Fileiras (*String Box*)**

É uma caixa instalada atrás do painel fotovoltaico, onde estão cabos elétricos, onde se conectam as fileiras, os diodos by-pass que garantem o único sentido da corrente, fusíveis de proteção e dois barramentos, um positivo e um negativo. A Figura 12 ilustra uma caixa de String Box.

Figura 12 — String Box



Fonte: Bravo energia (2018, não paginado)

#### **2.7.4 Quadros de proteção para corrente contínua e corrente alternada**

A proteção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica está presente tanto no lado de corrente alternada quanto no de contínua.

No quadro de proteção de corrente contínua ocorre a junção das fileiras provenientes dos painéis, sendo composto por fusíveis e deve conter uma chave de desconexão CC e dispositivos de proteção contra surto. O quadro de distribuição realiza a interligação dos módulos fotovoltaicos com o inversor de frequência, também deve também deve proteger os equipamentos contra surtos de tensão oriundos de descargas atmosféricas.

Também há o quadro de proteção de corrente alternada o qual realiza a ligação do inversor de frequência e a rede de distribuição, é composto pelos dispositivos de proteção do lado de corrente alternada, sendo: disjuntores, dispositivo de proteção contra surtos e disjuntores diferenciais residuais. O dimensionamento correto dos dispositivos de proteção deve ser fundamentado a partir do padrão nacional em instalações de baixa tensão conforme a NBR 5410 (ABNT, 2008) e nos dados técnicos disponibilizados pelos fabricantes de inversores e os outros equipamentos que compõem o sistema.

#### **2.7.5 Cabos elétricos para os lados de corrente contínua e alternada**

Os cabos utilizados em sistemas fotovoltaicos possuem diferentes tipos, sendo: cabos de fileira, cabo principal CC e cabos CA.

O cabo de fileira é um cabo CC, sendo responsável pela interligação dos módulos de uma fileira, o qual é fornecido pelos fabricantes dos módulos. O cabo principal CC une o arranjo dos módulos fotovoltaicos ao quadro de proteção CC, sendo mais conhecido, como cabo solar, visto que fica exposto aos raios ultravioletas. O cabo CA realiza a conexão do inversor ao quadro de proteção de CA. Toda instalação deve obedecer a NBR 5410 (ABNT, 2008) na conexão do sistema à rede de distribuição.

### **2.7.6 Conectores MC4**

O conector MC4 é um conector desenvolvido unicamente para aplicação em sistemas fotovoltaicos, os quais já são fornecidos com os módulos e permitem a associação em série ou paralelo destes.

## **2.8 Fatores locais que influenciam na geração de energia solar**

Os fatores locais que influenciam na geração de energia solar são apresentados na sequência.

### **2.8.1 Radiação solar**

A energia emitida pelo sol é definida como radiação solar. As características da radiação solar sofrem alterações constantes, sendo a intermitência e a variabilidade no tempo. O vento faz com que as nuvens se movimentem, ocasionando mudanças na absorção, reflexão e direção dos raios solares.

A quantidade de radiação solar é definida como irradiância, expressa em  $W/m^2$ , se refere a quantia de fluxo radiante que penetra uma unidade de área de uma determinada superfície. Outro conceito utilizado para quantificar a radiação solar é a irradiação solar, a qual se refere a irradiância em função do tempo, como por exemplo  $kWh/m^2/dia$ .

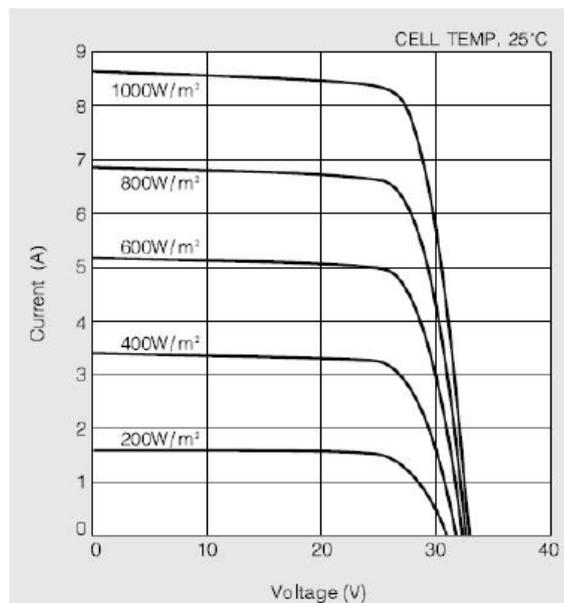
## 2.8.2 Influência da Irradiação e temperatura

Como a produção da energia elétrica em um painel fotovoltaico depende diretamente da irradiância incidente sobre ele, esta nunca será constante, pois a incidência da irradiância sobre a terra varia conforme diversos fatores, como horário do dia, clima, etc.

A produção da corrente elétrica, obtida através das células fotovoltaicas, depende da irradiação que venha a incidir sobre ela, assim sendo, quanto maior a irradiação solar, melhor o rendimento do sistema. A Figura 13 se refere ao rendimento de um painel fotovoltaico com temperatura constante de 25°C e variação da irradiação. Observa-se que a intensidade da radiação solar incide diretamente na corrente do módulo fotovoltaico.

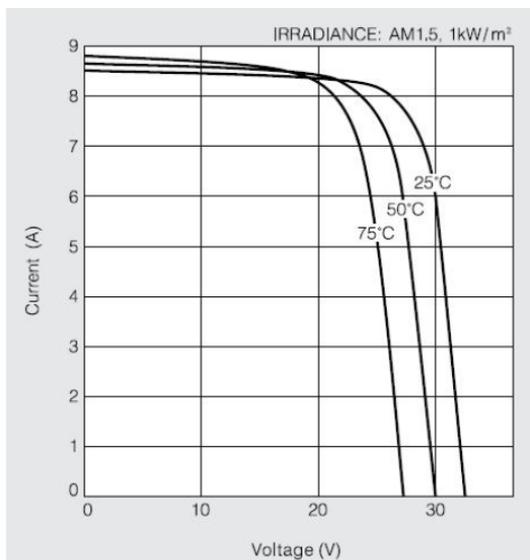
A grande quantidade de energia solar que incide a superfície de um painel solar faz com que ele aumente sua temperatura. Na Figura 14 é possível observar que, com uma radiação constante à medida que a temperatura aumenta, ocorre um decréscimo na tensão gerada.

Figura 13 — Corrente e tensão do painel fotovoltaico KD210GX-LP conforme variação da irradiação



Fonte: Kyocera (2017, não paginado)

Figura 14 — Corrente e tensão do painel fotovoltaico KD210GX-LP conforme variação da temperatura



Fonte: Kyocera (2017, não paginado)

### 2.8.3 Ângulo de inclinação

O ângulo de inclinação da instalação de um painel fotovoltaico é um importante variável a ser considerada. A inclinação do painel deve ser escolhida de modo a captar uma maior irradiação solar diária. Essa escolha é baseada na direção da rosa dos ventos, norte, sul, leste e oeste, cada direção possui um ângulo que a representa. Para o ângulo  $\alpha=0^\circ$  para a direção Sul e Norte,  $\alpha = -90^\circ$  para Leste e  $\alpha = 90^\circ$  para Oeste.

## 2.9 PRODIST: Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL – é órgão máximo no que se refere a energia elétrica no Brasil, está vinculada ao ministério de Minas e Energia com o objetivo de regular o setor elétrico brasileiro. No que se refere aos procedimentos de distribuição de energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) da ANEEL, são ditos critérios de indicadores de qualidade, distribuidores e agentes importadores e exportadores de energia (ANEEL, 2017c).

No Módulo 3 do PRODIST são estabelecidas as exigências de acesso, conexão e uso do sistema de distribuição de energia elétrica. Os procedimentos para acesso a micro e minigeração distribuída são ditos na seção 3.7 do Módulo 3.

Conforme descrito no PRODIST os documentos a serem enviados para as concessionárias devem ser (ANEEL, 2017c):

- formulário para Solicitação de Acesso;
- anotação de Responsabilidade Técnica – ART;
- procuração do proprietário/acessante;
- projeto, memorial descritivo, arranjo físico e diagramas;
- cópias dos manuais técnicos dos relés e inversores de frequência;
- certificação do INMETRO de que o inversor possua os requisitos estabelecidos pela norma Brasileira.
- toda informação possível a respeito da unidade geradora a ser utilizada.

Dependendo da concessionária responsável pela rede de distribuição do devido local, alguns documentos podem não serem exigidos. No Módulo3 do PRODIST também existem requisitos de proteção, os quais variam em função da potência instalada por determinado sistema.

## **2.10 Sistema de compensação: Resolução Normativa 482/2012**

No ano de 2012, com a intenção possibilitar um crescimento para o conceito de geração distribuída no Brasil, a ANEEL estabeleceu a Resolução Normativa 482, a qual se refere a regulação da micro e mini geração distribuída, estabelecendo algumas definições, sendo a principal o sistema de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação, adotado no Brasil, se baseia no *Net Energy Metering*, sistema adotado em alguns estados americanos. Este sistema adotado no Brasil permite ao consumidor injetar o seu excesso de produção de energia elétrica na rede de distribuição, sendo ressarcido no final do mês, diretamente na sua conta de energia elétrica. Caso o consumidor venha a acumular um saldo com a concessionária, ele terá até 36 meses para utilizá-lo.

No ano de 2015, o Conselho Nacional de Política Fazendária autorizou os estados de Goiás, Pernambuco e São Paulo a liberarem a isenção do ICMS que incidia sobre a energia elétrica fornecida pela distribuidora ao consumidor que contribuísse com a rede através da

geração distribuída, deixando que os demais estados decidissem se iriam aderir a isenção ou não. Atualmente o Rio Grande do Sul também adotou a isenção do ICMS.

Também, no ano de 2015, o Governo Federal do Brasil, a partir da lei 13.169 (BRASIL, 2015) autorizou a isenção do imposto PIS/COFINS que existia sobre a energia gerada pelo sistema fotovoltaico conectado à rede. Também houve a redução do Imposto de Importação, que era 14% e foi reduzido para 2%.

A Resolução Normativa 687 (ANEEL, 2015) promoveu alterações favoráveis para a micro e minigeração na Resolução Normativa 482 (ANEEL, 2012) as principais são:

- ampliação da duração dos créditos a serem acumulados com a concessionária de 36 meses para 60 meses;
- revisão do módulo 3 do PRODIST, o qual passou a permitir a operação em ilha, desde que seja garantida a desconexão com a rede de distribuição;
- padronização dos formulários para todo território nacional;
- possibilidade de geração distribuída condominiais.
- possibilidade do consumidor utilizar os créditos provenientes da sua geração excedente de energia em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão.

## **2.11 Bandeiras Tarifárias**

No ano de 2015, através do decreto número 8.401 a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) criou e manteve a conta centralizadora dos recursos de bandeiras tarifárias, destinando a ANEEL a administrar estes recursos. As bandeiras tarifárias foram criadas com o objetivo de indicar se a energia elétrica que atende o Sistema Interligado Nacional (SIN) possui um maior ou menor custo, fator que depende da disponibilidade das fontes de geração de eletricidade. O fator de mais peso na escolha da bandeira tarifária a ser vigente são as usinas termelétricas que são despachadas para compensar os baixos níveis dos reservatórios hídricos em determinados períodos. O sistema possui três bandeiras tarifárias:

- Bandeira Verde: indica que as condições para geração de energia estavam favoráveis, as fontes hídricas conseguiram atender predominantemente a geração. A tarifa base da conta de energia elétrica não sofre nenhum acréscimo;

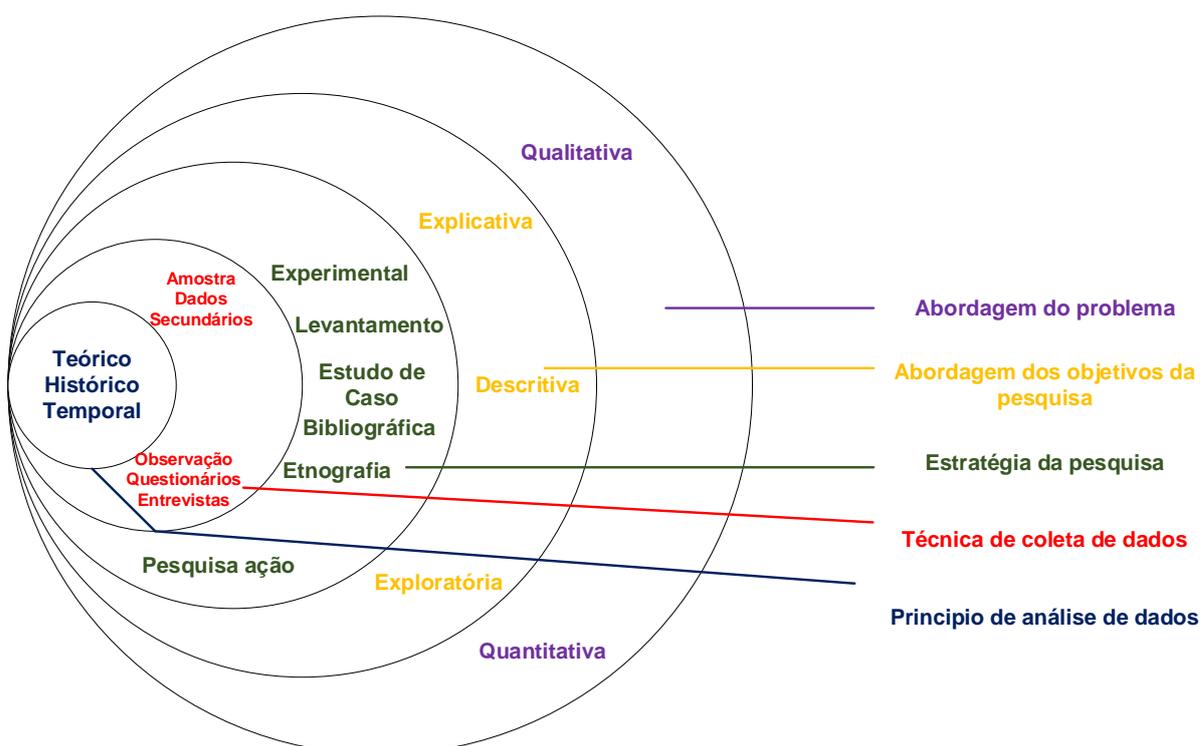
- Bandeira Amarela: indica condições de energia menos favoráveis. A tarifa sofre um acréscimo de R\$ 0,010 para cada kWh consumidos;
- Bandeira Vermelha: Indica condições ainda mais custosas de geração. Possui dois patamares: O Patamar 1 que indica condições mais custosas de geração, na qual a tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada kWh consumido. O patamar 2 indica condições ainda mais custosas de geração, fazendo com que a tarifa sofra acréscimo de R\$ 0,050 para cada kWh consumido.

Vale ressaltar que ao final de cada ano a ANEEL define o valor das Bandeiras Tarifárias para o ano seguinte.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com vistas a facilitar a compreensão dos procedimentos metodológicos, as etapas do processo desta pesquisa estão baseadas na abordagem de Saunders, Lewis e Thornhill (2003), como está apresentado na Figura 15.

Figura 15 — Processo de pesquisa



Fonte: Adaptado de Saunders, Lewis e Thornhill (2003)

Com base na Figura 15 são descritos na sequência os procedimentos metodológicos a serem utilizados nessa pesquisa, demonstrando a forma como a mesma está organizada.

#### 3.1 Caracterização da pesquisa

A presente pesquisa, do ponto de vista da abordagem do problema, é caracterizada como quantitativa, tendo em vista que Ehrlich e Moraes (2010, p.1) ressaltam que, “dentro da avaliação e seleção de projetos de investimento, a Engenharia econômica analisa os aspectos econômico-financeiros utilizando critérios quantitativos”. A análise quantitativa define-se como uma maneira de medir ou avaliar as coisas por meio de valores matemáticos, tendo como vantagem envolver o estudo de valores precisos.

Com o propósito de alcançar aos objetivos propostos para esta pesquisa (abordagem dos objetivos da pesquisa), ela é também é caracterizada como bibliográfica, exploratória e descritiva. Envolve um levantamento bibliográfico para auxiliar na compreensão do problema pesquisado, ampliando e elucidando conceitos. Com a pesquisa exploratória é possível realizar uma familiarização com o objeto de estudo. Já com a pesquisa descritiva, segundo Cervo e Bervian (2002), se observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos, sem manipulá-los.

Como estratégia de pesquisa foi escolhido o estudo de caso, pois “os estudos de casos avaliativos envolvem descrição e explicação [...] proporcionando informações para produzir julgamentos” (GIL, 2009, p. 50). O estudo de caso tem como objeto de análise o projeto de implementação de um sistema fotovoltaico no Município de Santana do Livramento, no Estado do Rio Grande do Sul, em um departamento da Autarquia Municipal responsável pelo abastecimento de água e esgoto do referido Município.

A operacionalização do estudo de caso será feita por meio de dados quantitativos, ou seja, com dados sobre o desempenho técnico-econômico do sistema fotovoltaico a ser projetado. “Toda pesquisa implica o levantamento de dados de variadas fontes, quaisquer que sejam os métodos ou técnicas empregadas” (LAKATOS; MARCONI, 2010, p.157).

Como técnica de coleta de dados, optou-se por consulta a fontes primárias, bem como a fontes secundárias.

As fontes primárias de documentos constituem-se de documentos ainda não tratados, que não se tornaram públicos, aqueles de circulação interna e restrita. [...] documentos internos da empresa [...]. As fontes secundárias incluem os documentos de alguma forma já disponibilizados ao público, não importa sua extensão [...]. (BERTUCCI, 2011, p.62).

Na coleta de dados foi realizada uma pesquisa bibliográfica em relação ao tema proposto, bem como foi efetuada uma coleta de documentos internos da empresa, contendo dados econômicos da mesma, do período de um ano. Nesse sentido, foram necessários dados a respeito de suas faturas de energia elétrica para o estudo do consumo médio e localização geográfica para obtenção de dados referentes a incidência solar.

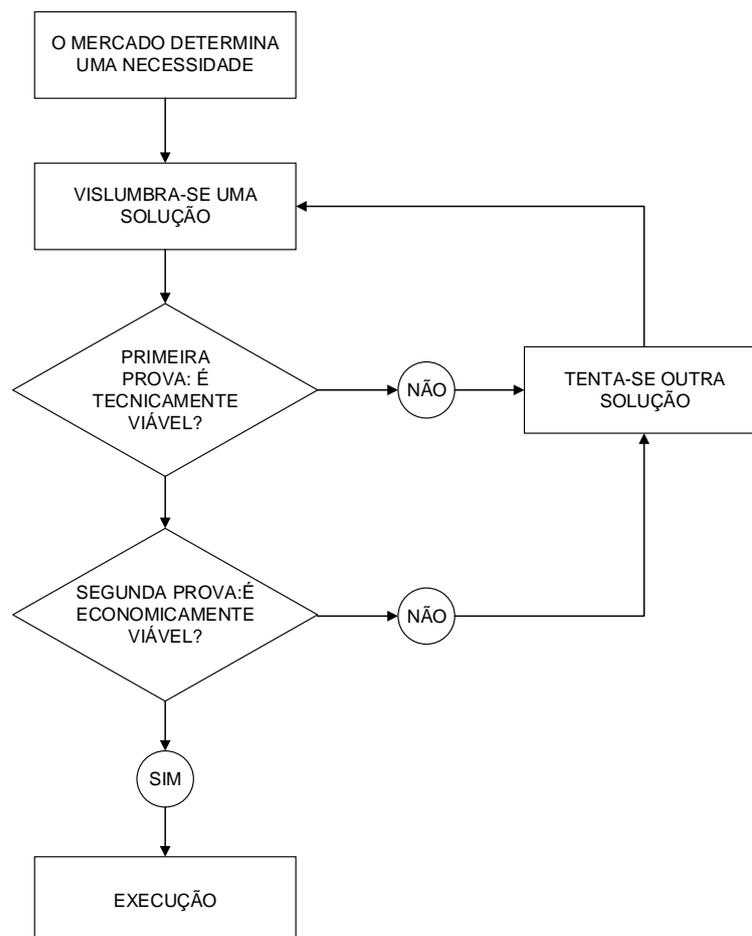
Para a análise e tratamento dos dados (princípio de análise de dados) foram utilizados mecanismos oriundos da Engenharia Econômica, tendo em vista que a análise de viabilidade do investimento proposto ocorre por meio da utilização dos métodos básicos baseados no fluxo de caixa e na Taxa Mínima Atrativa (TMA), calculando-se o *payback*, a taxa interna de retorno (TIR) e o valor presente líquido (VPL).

No presente trabalho, alguns resultados serão demonstrados por meio de tabelas e outros através de fluxos de caixa. As informações necessárias para a composição da Planilha de Análise de Projeto em Excel se encontrarão disponíveis e identificadas nos apêndices deste trabalho.

### 3.2 Etapas da pesquisa

Para a realização da pesquisa é importante que sejam descritos os procedimentos metodológicos que demonstrem a forma como a mesma está organizada (GIL, 2009). Nesse contexto, com base em Buarque (1994), afirma-se que, quando se tem a ideia de elaboração de um projeto, a engenharia é elaborada ao mesmo tempo em que outras etapas (provas) também são importantes, como mostra a Figura 16.

Figura 16 — Participação da Engenharia no ciclo de decisões de um projeto

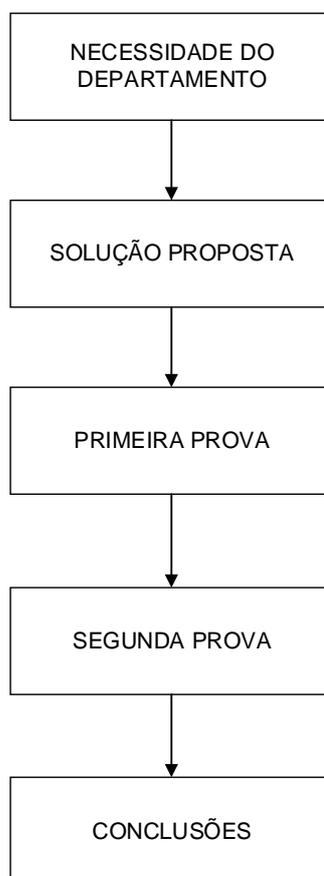


Fonte: Adaptado de Buarque (1994)

Vale dizer que a presente pesquisa abrangerá as duas provas propostas na Figura 16, na qual pode-se observar que a engenharia participa no ciclo de decisões de um projeto, envolvendo a análise de viabilidade técnica e a análise de viabilidade econômica de projetos. A viabilidade técnica vai abranger os ensaios e investigações preliminares; a seleção do processo e dos equipamentos necessários; o projeto de construção e infraestrutura; e a análise de rendimento (BUARQUE, 1994). Quanto a viabilidade econômica, trata-se de “um conjunto de informações que, quando reunidas, possibilitam a tomada de decisão de se alocar ou não recursos em determinado negócio” (FONSECA, 2012).

Informa-se que a metodologia proposta tem como finalidade realizar um estudo em prol de uma Autarquia municipal da cidade de Santana do Livramento - RS, onde será feito um estudo de viabilidade técnica-econômica para suprir os gastos de uma de suas faturas de energia elétrica, sendo ela respectiva à um determinado departamento. A Figura 17 ilustra a sequência de execução desta pesquisa e na sequência tem-se a apresentação de cada etapa.

Figura 17 — Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Buarque (1994)

### **3.2.1 Necessidade do Departamento**

Em função da Autarquia Municipal possuir vários pontos de consumo de energia elétrica espalhados pela cidade e em sua maioria com carga de bombas d'água, o gerente de um dos departamentos está preocupado com os elevados gastos com o consumo de energia elétrica, desta forma, o mesmo procurava novas alternativas para diminuir tais gastos.

### **3.2.2 Solução proposta**

Como o objeto de estudo tem elevado consumo, conseqüentemente apresentando valores elevados de pagamento em sua conta de energia elétrica, foi sugerida nesta pesquisa a proposta de um sistema de geração distribuída de energia elétrica produzida por painéis fotovoltaico, com a finalidade de realizar o estudo de viabilidade para comprovar se o investimento é viável a longo prazo, visto que o Brasil apresenta alto índice de irradiação solar.

### **3.2.3 Primeira prova**

O sistema utilizado para o estudo foi projetado para ser conectado à rede de distribuição da concessionária vigente na região, no caso RGE-SUL. Para início da pesquisa foram obtidos dados referentes a latitude e longitude do local de instalação do sistema com auxílio do GoogleMaps. Através do site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, ao fornecer os dados de latitude e longitude são obtidos os valores referentes a incidência de irradiação solar para diferentes ângulos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 — Valores de irradiação para diferentes ângulos de inclinação

Meses	Inclinação		
	0°	31° N	24° N
Janeiro	6,68	5,9	6,17
Fevereiro	5,97	5,72	5,88
Março	5,1	5,46	5,48
Abril	3,95	4,86	4,74
Mai	2,79	3,83	3,66
Junho	2,32	3,37	3,2
Julho	2,63	3,77	3,58
Agosto	3,34	4,28	4,15
Setembro	3,94	4,37	4,35
Outubro	5,28	5,22	5,33
Novembro	6,44	5,8	6,05
Dezembro	7,03	6,07	6,39
Irradiação Solar Média (kWh/m <sup>2</sup> )	4,62	4,89	4,92

Fonte: Elaborado pelo autor

Esses dados obtidos e evidenciados na Tabela 1, se referem aos ângulos que apresentaram maior incidência de radiação solar. Na Tabela 2 tem-se os dados de consumo de energia elétrica do departamento utilizado como objeto de estudo para esta pesquisa.

Tabela 2 — Consumo em kWh

Meses	kWh
Janeiro	2869
Fevereiro	2554
Março	2803
Abril	2916
Mai	2760
Junho	2653
Julho	2932
Agosto	2862
Setembro	3032
Outubro	2555
Novembro	2514
Dezembro	2658
Média	2759

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do consumo médio anual foram realizados os cálculos referentes a quantidade de potência instalada para atender a demanda do consumidor, sendo determinado o número de placas fotovoltaicas necessárias e a área mínima a ser ocupada pelo sistema. Com esses dados em mãos foi possível proceder a pesquisa, determinando os outros equipamentos que compõem o sistema completo e o seu valor final para o estudo da viabilidade econômica.

O primeiro passo para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos foi calcular a potência do gerador fotovoltaico para suprir o consumo. Para o cálculo da potência do gerador fotovoltaico foi necessário saber qual o custo de disponibilidade de energia elétrica, o qual depende do número de fases concedidas ao cliente. Cabe ressaltar que o custo de disponibilidade é regulamentado pela ANEEL, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 — Custo de disponibilidade de energia

Sistema	Custo de Disponibilidade
Monofásico	30 kWh
Bifásico	50 kWh
Trifásico	100 kWh

Fonte: Resolução normativa 687 (ANEEL, 2015)

A Equação 5 foi utilizada para calcular a potência do gerador fotovoltaico (PASSOS, 2016).

$$PFV(kWp) = \frac{(C - Cd)}{HSP \cdot TD \cdot 30} \quad \dots (5)$$

Onde:

PFV – Potência do gerador fotovoltaico (kWp);

C – Consumo médio mensal anual de energia elétrica (kWh);

Cd – Custo de disponibilidade mínima (kWh);

HSP – Média diária Anual de horas de sol pleno no plano dos módulos FV (h/dia);

TD – Taxa de desempenho Global do Sistema (entre 0,7 e 0,8 para o Brasil).

A variável HSP se refere ao número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m<sup>2</sup>. Conforme (PEREIRA *et. al*, 2017), a região sul do Brasil possui 4,2kWh/m<sup>2</sup> de irradiação solar média.

A partir do valor de potência obtido foi possível selecionar um módulo fotovoltaico disponível no mercado, que disponha de boa capacidade de geração de potência e valor de mercado acessível. Pela Equação 6 foi determinado o número de módulos fotovoltaicos a serem utilizados no sistema de geração.

$$N_{módulos} = \frac{PFV}{P_{módulo}} \quad \dots (6)$$

A partir do número de módulos fotovoltaicos foi possível se obter dados do inversor, modo de ligação do arranjo como um todo e área a ser pelo sistema. Os demais itens a serem considerados no projeto irão depender de um modelo específico de inversor e placas fotovoltaicas.

Nesse sentido, foi feita uma consulta a um dos maiores fornecedores de material solar do mercado Brasileiro, Aldo componentes eletrônicos, o qual oferece kits solares completos a partir da PFV.

### 3.2.4 Segunda prova

Os métodos utilizados para verificar a viabilidade econômica do projeto são o método do valor presente líquido (VPL) e o método da taxa interna de retorno (TIR), sendo que o *payback* (método do tempo de recuperação do investimento) serviu apenas como indicador auxiliar na tomada de decisão, pois trata-se de um método complementar.

Foi feito um fluxo de caixa representando a sistematização das entradas (receitas, referente a economia em valores monetários gerada pelo sistema) e saídas (dos custos com investimento inicial e despesas de manutenção) de caixa. Portanto, na construção do fluxo de caixa será determinada a variável relacionada ao custo inicial do projeto (investimento), custos com manutenção e valor mínimo a ser pago pela disponibilidade de energia, bem como a estimativa de receitas a partir dos valores que não seriam gastos com o pagamento de faturas de consumo de energia elétrica. O valor base para representar o aumento do valor do kWh foi obtido através da Tabela 4.

Tabela 4 — Variação das tarifas médias e dos indicadores econômicos

Média Geométrica	2004-2006	2008-2012	2014-2015	2004-2015
Tarifa s/impostos	2,51%	2,65%	22,09%	5,28%
Tarifa c/impostos	9,22%	2,63%	22,17%	<b>8,13%</b>

Fonte: Adaptado de Passos (2016)

A partir do valor considerando a variação de 2004-2014 da tarifa com impostos, foi obtido como base de aumento anual no preço do kWh o valor de 8,13% ao ano. O valor a ser gasto com manutenção do sistema fotovoltaico é baseado no estudo da Empresa de Pesquisa Energética (2012), a qual se referiu a taxa de 1% do investimento ao ano. Sobre este valor irá incidir a taxa média de inflação Brasileira, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 — Inflação Histórica IPC Brasil (anual)

Inflação anual (Dez. a Dez.)	Inflação
IPC Brasil 2017	2,95%
IPC Brasil 2016	6,29%
IPC Brasil 2015	10,67%
IPC Brasil 2014	6,41%
IPC Brasil 2013	5,91%
IPC Brasil 2012	5,84%
IPC Brasil 2011	6,50%
IPC Brasil 2010	5,91%
IPC Brasil 2009	4,31%
IPC Brasil 2008	5,90%
<b>Média</b>	<b>6,07%</b>

Fonte: Inflation (2018)

A partir dos valores apresentados na Tabela 5 foi obtida a média de inflação dos últimos 10 anos como valor base para incidir como remuneração sobre o custo de manutenção do equipamento, sendo 6,07% ao ano.

É importante dizer, baseado em Casarotto Filho (2011), que para ser atrativa a proposta deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco, sendo esta a TMA. Para esta pesquisa será utilizada como TMA a Taxa Selic de 6,75% ao ano (IPEA, 2018). A Taxa Selic, segundo Banco Central do Brasil, é a taxa média

ajustada dos financiamentos diários para títulos federais. Esta pesquisa tem como base as decisões da reunião do Comitê de Política Monetária (Copom) para a taxa de juros referencial (Selic), na qual o indicador ora estabelecido datava do dia 1/04/2018.

A análise da viabilidade econômica tem como base os métodos baseados no fluxo de caixa, sendo que a forma de cálculo/equações que foram utilizadas estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 — Forma de cálculo/equação/autor

Método	Descrição / autor	Fórmula de cálculo / autor
Payback simples	Trata do período de tempo que é necessário para que a empresa recupere, com as entradas de caixa, o investimento inicial do projeto (FREZATTI, 2008).	O critério consiste em somar os valores dos benefícios obtidos pela operação do projeto. O período do <i>payback</i> é o tempo necessário para que esses benefícios totalizem o valor do investimento feito (ABREU FILHO, 2007).
Taxa Interna de Retorno (TIR)	Representa a taxa de rentabilidade interna ou de lucro de uma proposta de investimento fornecida pelo seu fluxo de caixa (FERREIRA, 2009, p. 87).	$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = FC_0$ (GITMAN, 2004).
Valor Presente Líquido (VPL)	Baseia-se na atualização de fluxos de caixa representativos de receitas, custos e lucros operacionais, para certo horizonte de planejamento, empregando como taxa de desconto a taxa mínima de atratividade (FERREIRA, 2009, p. 60).	$VPL = -CF_0 + \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1 + i)^j}$ (CLEMENTE, 2008).

Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação aos cálculos e a à análise dos dados, será utilizado o Microsoft Excel para os devidos fins, a fim de verificar a viabilidade econômica do sistema.

### 3.2.5 Avaliação

Foram estabelecidas com base em Buarque (1994), representado na Figura 16, já apresentada neste trabalho. Como já dito, nela, a engenharia participa no ciclo de decisões de um projeto, sendo dado destaque para a área da Engenharia Econômica, que tem papel importante como suporte na análise de viabilidade econômica de projetos, no momento em que se realiza a segunda prova, para verificar se um projeto é economicamente viável.

Para contribuir com a avaliação e a tomada de decisão no estabelecimento de quais projetos eram viáveis, ou retornariam um resultado econômico maior para a empresa, foram

então utilizadas pela Engenharia Econômica métodos que dão suporte para a avaliação de investimentos (Quadro 2), e os critérios de análise de decisão baseados nos métodos de avaliação econômica que foram utilizados nesta pesquisa são os seguintes:

- se o VPL for maior que zero (0) o projeto deve ser aceito e se o VPL for menor que zero (0) o projeto deve ser rejeitado (GITMAN, 2004). Se o VPL for igual a zero (0) é indiferente investir, ou não, mas ainda assim a alternativa é considerada viável.
- para a TIR, os investimentos com TIR maior que a TMA serão considerados rentáveis e são passíveis de análise (CASAROTTO FILHO, 2011); no caso de igualdade nesses métodos o projeto tem uma situação de indiferença e se for  $(TIR) < (TMA)$  o projeto se mostra que não é econômico, se tornando não muito atrativo (BRITO, 2000).
- o *payback* será utilizado apenas como um indicador para verificar o tempo necessário para que se recupere o que foi investido, baseando-se nas entradas e saídas de caixa, e no investimento inicial do projeto.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados do estudo de viabilidade técnica e econômica de implementação do sistema de energia fotovoltaica na Autarquia Municipal estudada neste trabalho. Os resultados se referem a parte técnica, ao projeto do sistema em si (primeira prova) e ao estudo de viabilidade econômica do sistema (segunda prova), simulando as diferentes bandeiras tarifárias já citadas no trabalho, para um horizonte de 25 anos. Após estes resultados consta uma breve avaliação dos resultados, conforme a metodologia de avaliação já apresentada nos procedimentos metodológicos.

### 4.1 Primeira Prova

A partir do consumo médio apresentado na Tabela 2, do custo de disponibilidade de energia trifásico considerado na Tabela 3, e utilizando a Equação 5, foi possível obter a seguinte potência do gerador fotovoltaico. A variável HSP foi obtida através do ângulo que apresentava melhor irradiância, visto que a instalação com estruturas terrestres permite variar o ângulo, sendo utilizado o ângulo de 24° onde a irradiância é de 4,92kW/m<sup>2</sup>.

O valor de horas de sol pleno foi obtido da seguinte maneira:

$$HSP = \frac{4,92 \frac{kWh}{m^2} \frac{Dia}{1 \frac{kW}{m^2}}}{1 \frac{kW}{m^2}} = 4,92h/dia \quad \dots(7)$$

Substituindo os valores na equação 5, se vê a potência do sistema fotovoltaico:

$$PFV(kWp) = \frac{(2759-100)}{4,92 \cdot 0,8 \cdot 30} = 22,51 \text{ kWp}$$

Vê-se assim uma potência fotovoltaica de 22,51kWp. Como o mercado não oferece um kit de valor fixo, foi escolhido um kit de 23,4kWp, composto por:

- 1 inversor solar on grid Refusol 867P020010 20kW TRIF 380V;
- 72 painéis solares Canadian CS68-325P 325W;
- 10 conectores MC4 machos/ 10 conectores MC4 fêmea;
- 150 metros de cabo solar preto/150 metros de cabo solar vermelho;
- 18 estruturas terrestres para 4 placas, com ângulo variável de 5 a 30 graus.

Ademais, é preciso ter a parte de proteção e segurança composta de:

- disjuntor DC;
- monitoramento de isolamento;
- monitoramento de rede – Voltagem, frequência, anti-ilhamento, Injeção DC;
- fusíveis de strings;
- separação de rede através de relé de rede redundante;
- monitoramento de corrente residual;
- proteção interna contra sobre tensão tipo 3;

Com base nos resultados apresentados, identificou-se como necessário uma área mínima para esse sistema de 144m<sup>2</sup>. O investimento inicial em equipamentos para este tipo de necessidade específica (para este projeto) gira em torno de R\$ 87.989,00. Tomando como base o valor cobrado pelas empresas atuantes no mercado, o valor de instalação representa 15% do valor dos equipamentos necessários, o que resultou em R\$ 13.198,00, resultando em um investimento total de R\$ 101.187,35.

A ligação recomendada pelo fabricante indica 4 arranjos ligados em série de 18 painéis.

Vale dizer que os itens principais de um sistema fotovoltaico são os inversores e os painéis fotovoltaicos. O inversor que compõe o kit chamou a atenção por apresentar em seu modelo 20kW, foi realizada uma consulta em seu DataSheet o qual apresentou as informações da Tabela 6.

Tabela 6 — Dados do inversor

Potência FV máxima recomendada (kWp)	30
Tensão DC máxima (V)	1000
Corrente DC operacional máxima (A)	41,8
Número de entradas DC	6
Potência AC nominal (kW)	20
Conexão à rede	L1,L2,L3,N,PE
Tensão AC nominal (V)	400
Frequência nominal (Hz)	50, 60
Corrente AC máxima (A)	3 x 29,2

Fonte: Elaborado pelo autor com base no Datasheet

É possível concluir que o mesmo suporta a energia gerada pelo sistema, visto que o valor de 20 kW representa a potência de nominal do mesmo e máxima admitida é de 30 kWp. O fator de dimensionamento do inversor (FDI), se refere a um valor tomado como base para análise de custo benefício do inversor, que caso estando sobre dimensionado acarreta um valor desnecessário de investimento. O FDI do objeto de estudo apresentou 0,854 o qual se encontra dentro dos níveis aceitos pelos fabricantes.

Ao analisar o DataSheet do modelo de painel especificado foram obtidos os seguintes dados da Tabela 7.

Tabela 7 — Dados dos painéis fotovoltaicos

Potência nominal máx.(Pmax)	325 W
Tensão operacional( Vmp)	37 V
Corrente operacional(Imp)	8,78 A
Eficiência do módulo	16,72%
Temperatura operacional	-40° ~ 85°
Dimensões	1960x992x40mm

Fonte: Elaborado pelo autor com base no Datasheet

Cabe dizer que este painel fotovoltaico apresenta um relatório de ensaio emitido pela Universidade de São Paulo, com relatório de ensaio número 80055, o qual recebeu selo do INMETRO e PROCEL.

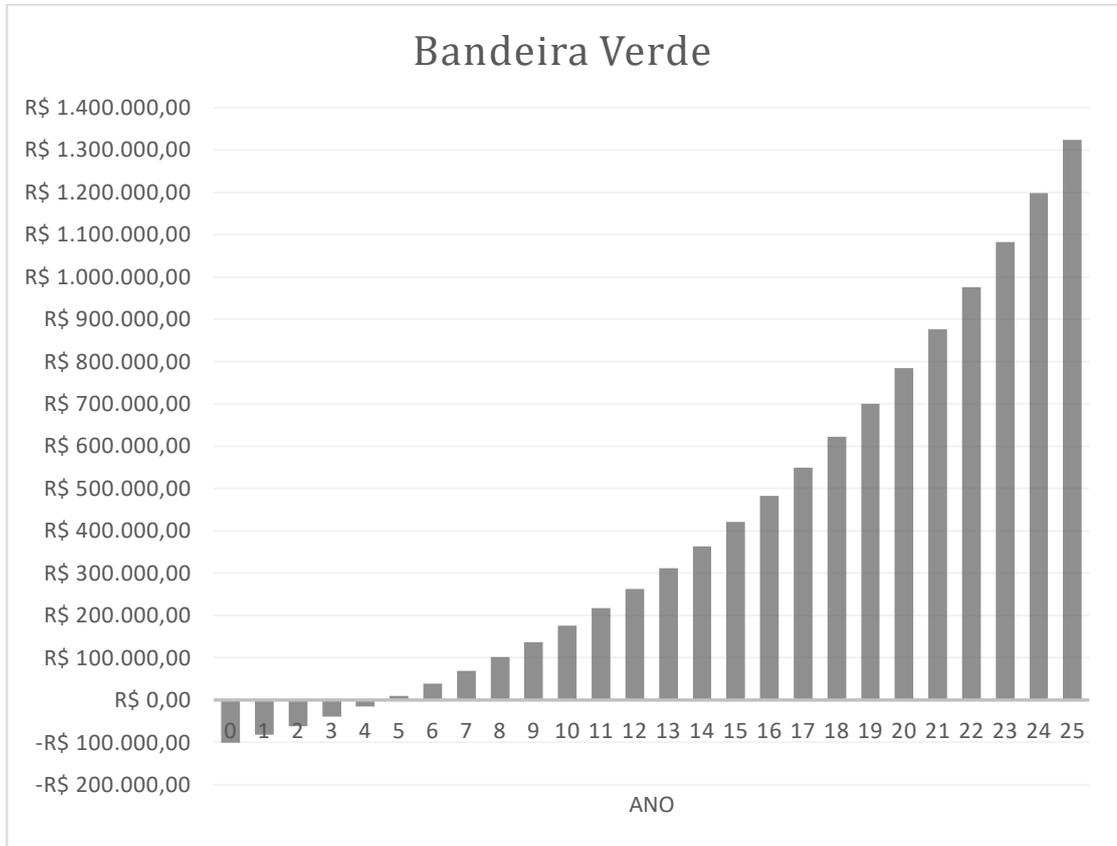
## 4.2 Segunda Prova

Os cálculos para a segunda prova foram realizados em Excel, tendo os seguintes dados de entrada:

- Taxa Média Anual = 6,75% ao ano (Selic - indicador ora estabelecido no dia 1/04/2018);
- Tarifa consumo utilizada = 0,62(kWh);
- Aumento anual da tarifa de energia elétrica = 8,13%;
- Degradação da capacidade do conjunto:
  - De 10 – 12 anos - 90%;
  - De 20 – 25 anos - 80%;
- Custo de manutenção anual de 1% do valor dos equipamentos;
- Inflação monetária = 6,07% ao ano;
- Custos das Bandeiras Tarifárias:
  - Verde: Sem acréscimo;
  - Amarela: 0,01/kWh;
  - Vermelha Patamar 1: 0,03/kWh;
  - Vermelha Patamar 2: 0,05/kWh;
- Os cálculos serão baseados em um horizonte de 25 anos conforme a vida útil do equipamento.

Primeiramente foi realizado o cálculo da viabilidade econômica baseado na tarifa verde (conforme apêndice A), obtendo-se o seguinte gráfico da Figura 18 que representa o fluxo de caixa.

Figura 18 — Gráfico do Fluxo de caixa no horizonte de 25 anos utilizando bandeira verde



Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores de TIR, VPL e *Payback* obtidos, conforme os métodos de cálculo já apresentado no quadro 2, no horizonte de 25 anos, com tarifa verde, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 — Dados econômicos obtidos simulando a bandeira verde

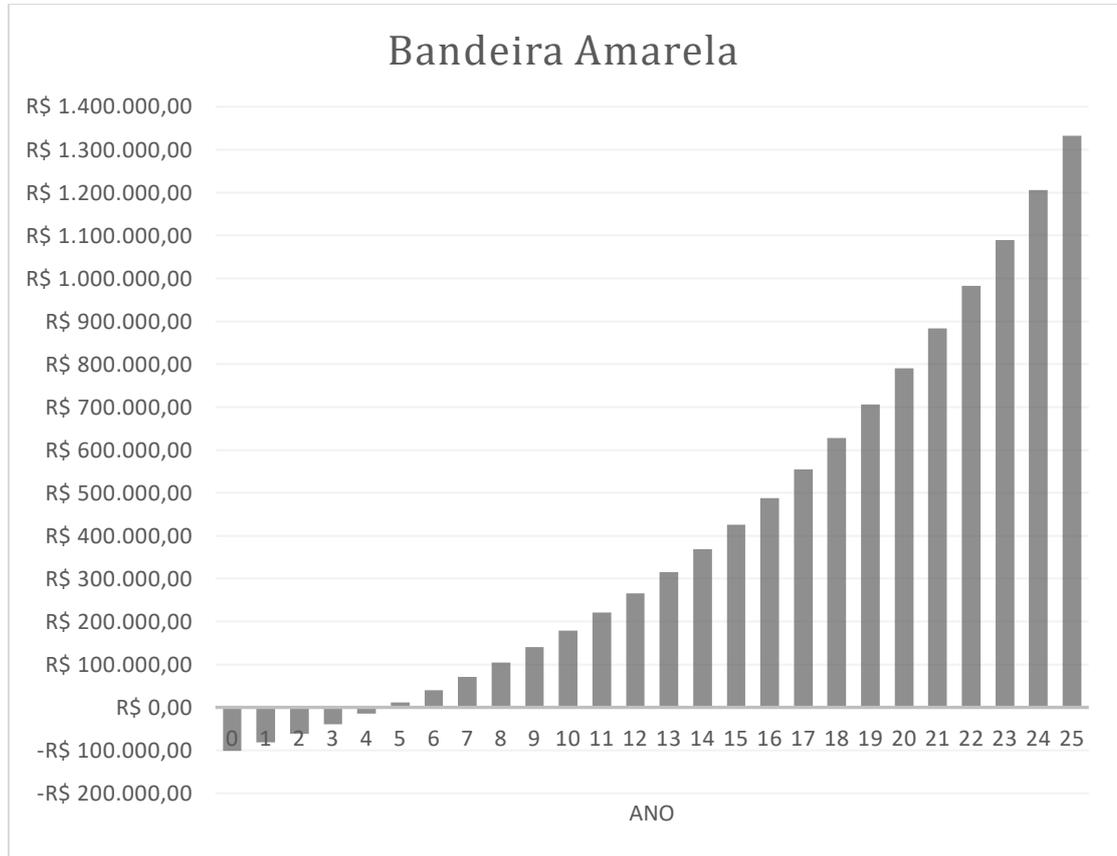
TIR	26,52%
VPL	R\$ 422.538,07
<i>Payback</i>	4 Anos e 6 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

O segundo cenário de estudo se refere ao horizonte de 25 anos com bandeira amarela (conforme apêndice B), o que resulta em um acréscimo na fatura, consequentemente

aumentando a entrada de caixa, visto que o valor a ser pago na fatura será a entrada no fluxo de caixa. O gráfico da Figura 19 representa o fluxo de caixa referente a bandeira amarela.

Figura 19 — Gráfico do Fluxo de caixa no horizonte de 25 anos utilizando bandeira amarela



Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores de TIR, VPL e *Payback* obtidos no horizonte de 25 anos com tarifa amarela são apresentados na Tabela 9.

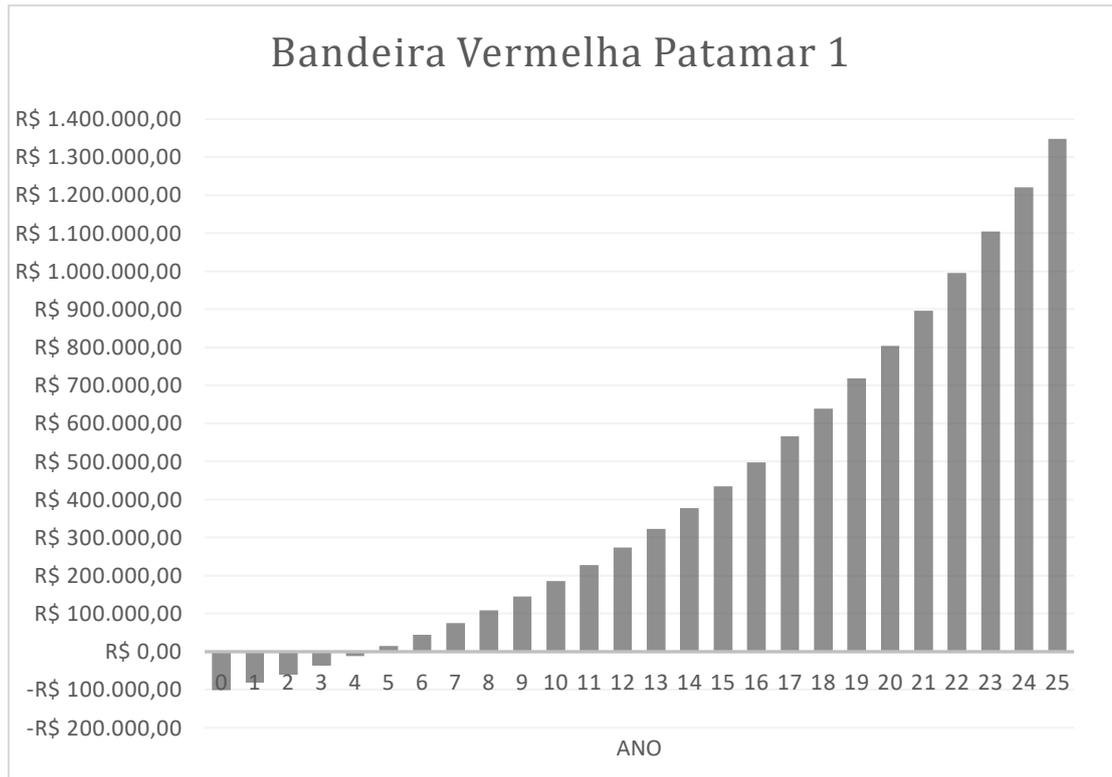
Tabela 9 — Dados econômicos obtidos simulando a bandeira amarela

TIR	26,75%
VPL	R\$ 426.341,76
<i>Payback</i>	4 Anos e 6 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

O terceiro cenário de estudo foi simulado utilizando a tarifa vermelha no patamar 1 (conforme apêndice C), os valores referentes ao fluxo de caixa podem ser observados no gráfico da Figura 20.

Figura 20 — Gráfico do Fluxo de caixa no horizonte de 25 anos utilizando bandeira vermelha patamar 1



Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores de TIR, VPL e *Payback* obtidos no horizonte de 25 anos com tarifa amarela são apresentados na tabela 10.

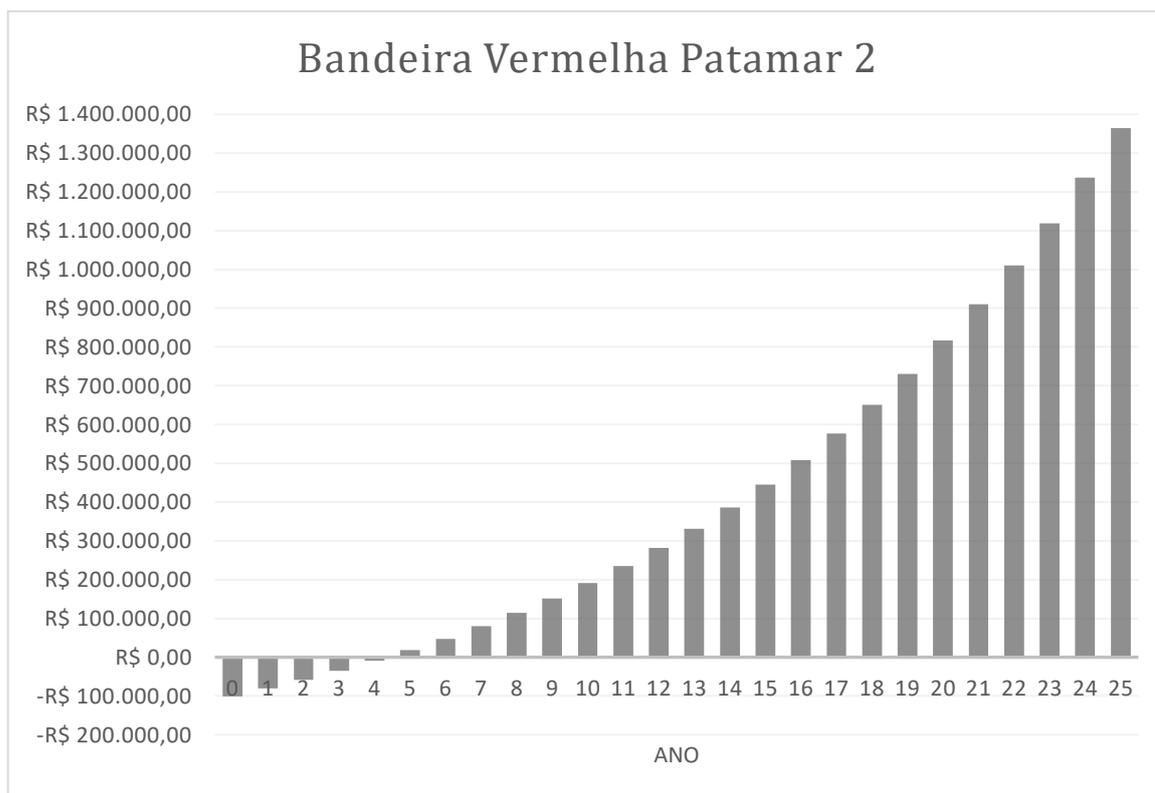
Tabela 10 — Dados econômicos obtidos simulando a tarifa bandeira vermelha patamar 1

TIR	27,23%
VPL	R\$ 433.949,15
<i>Payback</i>	4 Anos e 5 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

No quarto cenário de estudo foi simulado a utilização da bandeira vermelha no patamar 2 (conforme apêndice D), o que representaria um cenário de crise nos reservatórios hídricos do Brasil. O gráfico da Figura 21 representa o fluxo de caixa no horizonte de 25 anos para este pior cenário.

Figura 21 — Gráfico do Fluxo de caixa no horizonte de 25 anos utilizando bandeira vermelha patamar 2



Fonte: Elaborado pelo autor

Este último cenário de estudo apresentou a melhor TIR, VPL e *Payback*, visto que os gastos em energia seriam maiores se não fosse utilizado o sistema de geração solar, visto que a entrada de caixa é maior pois os valores a serem pagos na conta de energia seriam maiores. A Tabela 11 representa os valores de TIR, VPL e *Payback* utilizando a tarifa vermelha patamar 2.

Tabela 11 — Dados econômicos obtidos simulando a bandeira vermelha patamar 2

TIR	27,70%
VPL	R\$ 441,556,53
<i>Payback</i>	4 Anos e 4 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

### 4.3 Conclusão das Provas

É importante dizer, com base nos resultados apresentados, que pela análise técnica e pela análise econômica o sistema é considerado como viável e passível de execução. Em todos os cenários de simulação aplicando-se as bandeiras tarifárias o projeto se mostrou viável e passível de ser executado. Ademais, caso o investidor executar esse projeto, bem como, caso se tenha cenários de mudanças de bandeira tarifária, quanto maior o acréscimo do kWh consumido, melhor será para este investidor quanto ao retorno de investimento no que se refere a VPL, TIR e *Payback*, como pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12 — Comparativo de resultados para diferentes bandeiras tarifárias

	B. Verde	B. Amarela	B. Vermelha 1	B. Vermelha 2
TIR	26,52%	26,75%	27,23%	27,70%
VPL	R\$ 422.538,07	R\$ 426.341,76	R\$ 433.949,15	R\$ 441.556,53
<i>Payback</i>	4 Anos e 6 meses	4 Anos e 6 meses	4 Anos e 5 meses	4 Anos e 4 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 Considerações finais

Com este trabalho foi possível delinear um sistema de geração distribuída de energia elétrica produzida por painéis fotovoltaicos para um departamento de uma Autarquia municipal responsável pelo abastecimento de água e esgoto da cidade de Santana do Livramento, na qual a autarquia sofre com elevados gastos em energia elétrica.

Primeiramente realizou-se uma revisão bibliográfica do tema em geral, onde foi possível obter conhecimentos relacionados ao funcionamento do sistema, normas vigentes e dados primordiais para elaboração do trabalho.

Para a análise da viabilidade técnica, o primeiro passo foi reunir as faturas de energia elétrica do setor a ser estudado na autarquia municipal. Após isso, foi possível realizar o estudo do consumo médio anual deste consumidor, dado primordial para início do processo de escolha do sistema fotovoltaico necessário para suprir o consumo do objeto de estudo. A partir dos dados de latitude e longitude, obtidos através do GoogleMaps, ao acessar o site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito e fornecer esses dados são mostradas tabelas referentes a quantidade de irradiação solar dado um certo ângulo de inclinação, fato este que viabilizou o projeto do sistema, pois, como este seria instalado em solo, foi possível obter a maior quantidade de irradiação pelo fato de poder escolher o ângulo de inclinação dos painéis. Todos os dados obtidos foram aplicados na equação para determinar a sistema do gerador fotovoltaico, fato que permitiu a escolha do sistema no fornecedor Aldo Componentes Eletrônicos, junto com sua lista de equipamentos e valores, os quais foram utilizados para o início do processo da viabilidade econômica.

Na viabilidade econômica foram simulados 4 cenários diferentes, tendo entre eles sua principal diferença o valor que seria pago em faturas de energia elétrica, o qual aumentaria o valor do kWh conforme os anos e a influência das bandeiras, as quais: verde, amarela, vermelha patamar 1 e vermelha patamar 2. Destaca-se que as três últimas apresentadas possuem acréscimo a cada kWh consumidos, fazendo com que o valor considerado na entrada de caixa se tornasse maior.

O estudo técnico se mostrou viável para instalação, visto que o Brasil como um todo apresenta elevados índices de irradiação solar, o que no sistema de estudo foi um privilégio a escolha de ser instalado em solo, visto que seria possível aproveitar ao máximo a irradiação solar.

Na análise dos dados econômicos todos os cenários de estudo obtiveram VPL maior que zero, o que já indicou que o projeto devia ser aceito. Ademais, a TIR de todos os cenários de estudo obteve valores maiores que a TMA escolhida, mostrando que o investimento é passível a execução. O *Payback* dos cenários de estudo não apresentou grandes variações, mas se mostrou atrativo, visto que a vida útil dos equipamentos é consideravelmente grande.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Entende-se que ao final de uma pesquisa, outros trabalhos possam ser realizados com outros enfoques, sabendo-se disso recomenda-se:

- Simular um estudo com dados mais exatos referentes a vigência das bandeiras tarifárias;
- Testar casos de estudos referentes a instalação em sistemas comerciais ou residenciais prevendo um aumento de consumo;
- Realizar novas pesquisas com simulações considerando um sombreamento local.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5410 Instalações elétricas de Baixa Tensão**, Rio de Janeiro, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 11704: Sistemas fotovoltaicos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16150. Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16149. Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Rio de Janeiro, 2013.

ABREU FILHO, José Carlos. **Finanças corporativas**. José Carlos Franco de Abreu Filho, Cristóvão Pereira de Souza, Danilo Américo Gonçalves, Marcus Vinícius Quintella Cury. (Org.). Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios**. In: Seminário Desafios da Geração de Energia Elétrica no Brasil, 2017 Brasília.

ALDO. **Simulador Solar**. 2018. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/CotacaoExpress/SimuladorSolar.aspx>>. Acesso em 8 Mai. 2017, 19:00:00.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 482**: Condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição. Brasília: ANEEL, 2012

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 786**: Altera a resolução normativa nº 482/2012. Brasília: ANEEL, 2017b.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 687**: Altera a Resolução Normativa nº 482/2012. Brasília: ANEEL, 2015.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota Técnica 0056/2017: Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2014.** Brasília: ANEEL, 2017a.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.** Brasília: ANEEL, 2017c.

BERTUCCI, Janete Lara de Oliveira. **Metodologia básica para elaboração de trabalhos de conclusão de cursos (TCC): ênfase na elaboração de TCC de Pós-Graduação *Lato Sensu*.** 1ª. ed. – 3ª. reimp. – São Paulo: Atlas, 2011.

Balanco Energético Nacional. **Balanco Energético Nacional 2017.** Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf)>. Acesso em 01 Abr. 2018, 23:35:00.

BRASIL. **Lei n. 13.169**, de 6 de Outubro de 2015. Altera a lei n. 7.689 de 15 de Dezembro de 1988. Brasília, 6 de Outubro de 2015. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/13169.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/13169.htm)>. Acesso em 18 de Junho 2018.

BRAVO ENERGIA. **Trilha Solar 3 – O painel solar**, 2017. Disponível em: <[www.bravoenergia.com/trilha-solar-3-painel-solar](http://www.bravoenergia.com/trilha-solar-3-painel-solar)>. Acesso em 29 Abr. 2018, 20:10:00.

BRITO, Paulo. **Análise e Viabilidade de Projetos de Investimentos.** São Paulo: Editora Atlas SA, 2000.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da. **Metodologia científica.** 6ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CLEMENTE, Ademir (organizador). **Projetos Empresariais e Públicos.** 3ª. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CRESESB. **Componentes de um sistema fotovoltaico.** 2014. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=tutorial\\_solar](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=tutorial_solar)>. Acesso em 24 Abr. 2018, 15:45:00.

FERREIRA, Roberto G. **Engenharia Econômica e avaliação de projetos de investimento: critérios de avaliação, financiamentos e benefícios fiscais, análise de sensibilidade e risco.** São Paulo: Atlas, 2009.

FREZATTI, Fábio. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento.** São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2009

GITMAN, Lawrence Jeffrey. **Princípios de Administração Financeira**. 10ª. ed. – Tradução técnica Antonio Zoratto Sanvicente. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2004.

GREENPRO, A. P. C. **Energia fotovoltaica-manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. Europa: Comissão Europeia, 2004

HECKTHEUER, Lucio Almeida. **Análise de Associação de Módulos Fotovoltaicos**. Porto Alegre, 2001.

HERMANN, Leandro Dani, CAMARA, Inara Pagnussat. **Viabilidade de implantação de mini usina de energia solar para o Campus Santo Ângelo/RS**. Santo Ângelo, 2016.

IEA – International Energy Agency. **Snapshot of global photovoltaic markets**. 2016. Disponível em: <[http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_Snapshot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2015\\_-\\_Final.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2015_-_Final.pdf)>. Acesso em 01 Abr. 2018, 14:35:00.

IEA – International Energy Agency; BE – Becquerel Institute; JP – RTS Corporation. **Snapshot of global photovoltaic markets: Report IEA PVPS T1- 33:2018**. 2018. Disponível em: <[http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_Snapshot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2017.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf)>. Acesso em 31 Mai. 2018, 14:35:00. ISBN: 978-3-906042-72-5

IEC – International Electrotechnical Commission. **IEC 61116. Utility-interconnected photovoltaic inverters – Test procedure of islanding prevention measures**. Genebra, 2014. INFLATION.EU. **Inflação Histórica Brasil – IPC**. 2018. Disponível em: <<http://pt.inflation.eu/taxas-de-inflacao/brasil/inflacao-historica/ipc-inflacao-brasil.aspx>>. Acesso em 29 Maio 2018, 14:00:00.

INSTITUTE OF AGRICULTURE. **Solar and Sustainable Energy**, 2018. Disponível em: <<https://ag.tennessee.edu/solar/Pages/default.aspx>>. Acesso em 01 Abr. 2018, 14:35:00.

IPEA. **Taxa de juros - Selic - fixada pelo Comitê de Política Monetária (Copom)**. Disponível em: < <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em 01 Mar. 2018, 14:35:00.

IVANPAH. **Bright Spurge Ivanpah**. 2017. Disponível em: < <http://www.ivanpahsolar.com> >. Acesso em: 26 Mar. 2018, 14:40:30.

KYOCERA, **Datasheet: KD210GX-LP**. 2017. Disponível em: <<https://www.kyocerasolar.com/dealers/product-center/archives/spec-sheets/KD210GX-LP.pdf?>>. Acesso em 01 Mai. 2018, 17:20:00.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 7<sup>a</sup>. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MENDONÇA, Cauã Melgarejo. **Análise de Rendimento de um Pannel Fotovoltaico com o Vidro Danificado**, Alegrete, 2017.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas**. Brasília, 2017.

PASSOS, Fabiano Luis Lima. **Metodologia e Ferramenta computacional para estudo da viabilidade técnica e econômica de um Sistema de Microgeração Fotovoltaica**. Pelotas, 2016.

PEREIRA, Enio Bueno, *et. al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2<sup>a</sup> Edição. São José dos Campos: 2017.

PRIEB, César Wilhelm Massen. **Determinação da Eficiência de Seguimento de Máxima Potência de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede de Distribuição**. Porto Alegre, 2011.

REITER, Renan Diego de Oliveira Reiter. **Análise e projeto de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos parcialmente sombreados**. Santa Maria, 2016

RITTNER, Daniel, PERES, Leandra. **Setor elétrico vira ameaça para o orçamento de 2014**. Resenha Eletrônica do Ministério da Fazenda, 2014. Disponível em: <<https://www1.fazenda.gov.br/resenhaeletronica/MostraMateria.asp?cod=946101>>. Acesso em: 04 Mai. 2018, 14:30:15.

SAUNDERS, Mark Nk, LEWIS, Philip, THORNHILL, Adrian. **Research Methods for business students**. England: Prentice Hall, 2003.

SOLSTAR. **Painel Solar Fotovoltaico Flexível**. 2018. Disponível em: <<http://www.solstar.com.br/painel-solar-fotovoltaico-flexivel>>. Acesso em 29 Abr. 2018, 20:10:00.

VILLALVA, Marcelo Gradella, GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Rede**. 1<sup>a</sup> Edição. Editora Érica, 2012.

ZILLES, Roberto, *et. al.* **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

## Apêndice A

Bandeira Verde							
Período	Consumo-wh	led. Geração Melhor Inclinação	Manutenção	Disponibilidade de Energia	Entradas de Caixa	Custo Total	Saldo
0	2759000	3453840	R\$ 87.989,00	0	R\$ 0,00	-R\$ 101.187,35	-R\$ 101.187,35
1	2759000	3453840	R\$ 879,89	R\$ 744,00	R\$ 20.526,96	R\$ 18.903,07	-R\$ 82.284,28
2	2759000	3453840	R\$ 933,30	R\$ 804,49	R\$ 22.195,80	R\$ 20.458,02	-R\$ 61.826,26
3	2759000	3453840	R\$ 989,95	R\$ 869,89	R\$ 24.000,32	R\$ 22.140,48	-R\$ 39.685,79
4	2759000	3453840	R\$ 1.050,04	R\$ 940,61	R\$ 25.951,55	R\$ 23.960,89	-R\$ 15.724,89
5	2759000	3453840	R\$ 1.113,78	R\$ 1.017,09	R\$ 28.061,41	R\$ 25.930,54	R\$ 10.205,65
6	2759000	3453840	R\$ 1.181,38	R\$ 1.099,78	R\$ 30.342,80	R\$ 28.061,64	R\$ 38.267,29
7	2759000	3453840	R\$ 1.253,09	R\$ 1.189,19	R\$ 32.809,67	R\$ 30.367,39	R\$ 68.634,68
8	2759000	3453840	R\$ 1.329,16	R\$ 1.285,87	R\$ 35.477,10	R\$ 32.862,07	R\$ 101.496,75
9	2759000	3453840	R\$ 1.409,84	R\$ 1.390,41	R\$ 38.361,38	R\$ 35.561,14	R\$ 137.057,88
10	2759000	3108456	R\$ 1.495,41	R\$ 1.503,45	R\$ 41.480,16	R\$ 38.481,30	R\$ 175.539,18
11	2759000	3108456	R\$ 1.586,19	R\$ 1.625,68	R\$ 44.852,50	R\$ 41.640,64	R\$ 217.179,82
12	2759000	3108456	R\$ 1.682,47	R\$ 1.757,85	R\$ 48.499,01	R\$ 45.058,69	R\$ 262.238,51
13	2759000	3108456	R\$ 1.784,59	R\$ 1.900,76	R\$ 52.441,98	R\$ 48.756,63	R\$ 310.995,14
14	2759000	3108456	R\$ 1.892,92	R\$ 2.055,29	R\$ 56.705,51	R\$ 52.757,30	R\$ 363.752,44
15	2759000	3108456	R\$ 2.007,82	R\$ 2.222,39	R\$ 61.315,67	R\$ 57.085,46	R\$ 420.837,91
16	2759000	3108456	R\$ 2.129,69	R\$ 2.403,07	R\$ 66.300,63	R\$ 61.767,87	R\$ 482.605,78
17	2759000	3108456	R\$ 2.258,96	R\$ 2.598,44	R\$ 71.690,88	R\$ 66.833,47	R\$ 549.439,25
18	2759000	3108456	R\$ 2.396,08	R\$ 2.809,69	R\$ 77.519,34	R\$ 72.313,57	R\$ 621.752,82
19	2759000	3108456	R\$ 2.541,53	R\$ 3.038,12	R\$ 83.821,67	R\$ 78.242,02	R\$ 699.994,85
20	2759000	2763072	R\$ 2.695,80	R\$ 3.285,12	R\$ 90.636,37	R\$ 84.655,45	R\$ 784.650,30
21	2759000	2763072	R\$ 2.859,43	R\$ 3.552,20	R\$ 98.005,10	R\$ 91.593,48	R\$ 876.243,78
22	2759000	2763072	R\$ 3.033,00	R\$ 3.840,99	R\$ 105.972,92	R\$ 99.098,93	R\$ 975.342,71
23	2759000	2763072	R\$ 3.217,10	R\$ 4.153,26	R\$ 114.588,52	R\$ 107.218,15	R\$ 1.082.560,86
24	2759000	2763072	R\$ 3.412,38	R\$ 4.490,92	R\$ 123.904,56	R\$ 116.001,26	R\$ 1.198.562,12
25	2759000	2763072	R\$ 3.619,51	R\$ 4.856,03	R\$ 133.978,01	R\$ 125.502,46	R\$ 1.324.064,58
						<b>VPL =</b>	<b>R\$ 422.538,07</b>
						<b>TIR =</b>	<b>26,5233%</b>
						<b>Payback</b>	<b>4 ANOS E 6 MESES</b>

## Apêndice B

Bandeira Amarela										
Período	Consumo médio	Manutenção	Custos Bandeira	Disponibilidade de Energia		Acréscimo na disponibilidade		Entrada de caixa	Custo Total	Saldo
0	2759000	R\$ 87.989,00	0	0				R\$ -	-R\$ 101.187,35	-R\$ 101.187,35
1	2759000	R\$ 879,89	331,08	R\$	744,00	R\$	12,00	R\$ 20.526,96	R\$ 19.222,15	-R\$ 81.965,20
2	2759000	R\$ 933,30	331,08	R\$	804,49	R\$	12,00	R\$ 22.195,80	R\$ 20.777,10	-R\$ 61.188,10
3	2759000	R\$ 989,95	331,08	R\$	869,89	R\$	12,00	R\$ 24.000,32	R\$ 22.459,56	-R\$ 38.728,55
4	2759000	R\$ 1.050,04	331,08	R\$	940,61	R\$	12,00	R\$ 25.951,55	R\$ 24.279,97	-R\$ 14.448,57
5	2759000	R\$ 1.113,78	331,08	R\$	1.017,09	R\$	12,00	R\$ 28.061,41	R\$ 26.249,62	R\$ 11.801,05
6	2759000	R\$ 1.181,38	331,08	R\$	1.099,78	R\$	12,00	R\$ 30.342,80	R\$ 28.380,72	R\$ 40.181,77
7	2759000	R\$ 1.253,09	331,08	R\$	1.189,19	R\$	12,00	R\$ 32.809,67	R\$ 30.686,47	R\$ 70.868,24
8	2759000	R\$ 1.329,16	331,08	R\$	1.285,87	R\$	12,00	R\$ 35.477,10	R\$ 33.181,15	R\$ 104.049,39
9	2759000	R\$ 1.409,84	331,08	R\$	1.390,41	R\$	12,00	R\$ 38.361,38	R\$ 35.880,22	R\$ 139.929,60
10	2759000	R\$ 1.495,41	331,08	R\$	1.503,45	R\$	12,00	R\$ 41.480,16	R\$ 38.800,38	R\$ 178.729,98
11	2759000	R\$ 1.586,19	331,08	R\$	1.625,68	R\$	12,00	R\$ 44.852,50	R\$ 41.959,72	R\$ 220.689,70
12	2759000	R\$ 1.682,47	331,08	R\$	1.757,85	R\$	12,00	R\$ 48.499,01	R\$ 45.377,77	R\$ 266.067,47
13	2759000	R\$ 1.784,59	331,08	R\$	1.900,76	R\$	12,00	R\$ 52.441,98	R\$ 49.075,71	R\$ 315.143,18
14	2759000	R\$ 1.892,92	331,08	R\$	2.055,29	R\$	12,00	R\$ 56.705,51	R\$ 53.076,38	R\$ 368.219,56
15	2759000	R\$ 2.007,82	331,08	R\$	2.222,39	R\$	12,00	R\$ 61.315,67	R\$ 57.404,54	R\$ 425.624,11
16	2759000	R\$ 2.129,69	331,08	R\$	2.403,07	R\$	12,00	R\$ 66.300,63	R\$ 62.086,95	R\$ 487.711,06
17	2759000	R\$ 2.258,96	331,08	R\$	2.598,44	R\$	12,00	R\$ 71.690,88	R\$ 67.152,55	R\$ 554.863,61
18	2759000	R\$ 2.396,08	331,08	R\$	2.809,69	R\$	12,00	R\$ 77.519,34	R\$ 72.632,65	R\$ 627.496,26
19	2759000	R\$ 2.541,53	331,08	R\$	3.038,12	R\$	12,00	R\$ 83.821,67	R\$ 78.561,10	R\$ 706.057,37
20	2759000	R\$ 2.695,80	331,08	R\$	3.285,12	R\$	12,00	R\$ 90.636,37	R\$ 84.974,53	R\$ 791.031,90
21	2759000	R\$ 2.859,43	331,08	R\$	3.552,20	R\$	12,00	R\$ 98.005,10	R\$ 91.912,56	R\$ 882.944,46
22	2759000	R\$ 3.033,00	331,08	R\$	3.840,99	R\$	12,00	R\$ 105.972,92	R\$ 99.418,01	R\$ 982.362,47
23	2759000	R\$ 3.217,10	331,08	R\$	4.153,26	R\$	12,00	R\$ 114.588,52	R\$ 107.537,23	R\$ 1.089.899,70
24	2759000	R\$ 3.412,38	331,08	R\$	4.490,92	R\$	12,00	R\$ 123.904,56	R\$ 116.320,34	R\$ 1.206.220,04
25	2759000	R\$ 3.619,51	331,08	R\$	4.856,03	R\$	12,00	R\$ 133.978,01	R\$ 125.821,54	R\$ 1.332.041,58
									<b>VPL=</b>	<b>R\$ 426.341,76</b>
									<b>Payback(anos)</b>	<b>4 anos e 6 meses</b>
									<b>TIR=</b>	<b>26,7583%</b>

## Apêndice C

Bandeira Vermelha - Patamar 1										
Período	Consumo Médio	Manutenção	Custos Bandeira	Disponibilidade de energia		Acresc. Disp.		Entrada de caixa	Total	SALDO
0	2759000	R\$ 87.989,00	R\$ -	0		0		0	-R\$ 101.187,35	-R\$ 101.187,35
1	2759000	R\$ 879,89	R\$ 993,24	744,00		36,00		R\$ 20.526,96	R\$ 19.860,31	-R\$ 81.327,04
2	2759000	R\$ 933,30	R\$ 993,24	804,49		36,00		R\$ 22.195,80	R\$ 21.415,26	-R\$ 59.911,78
3	2759000	R\$ 989,95	R\$ 993,24	869,89		36,00		R\$ 24.000,32	R\$ 23.097,72	-R\$ 36.814,07
4	2759000	R\$ 1.050,04	R\$ 993,24	940,61		36,00		R\$ 25.951,55	R\$ 24.918,13	-R\$ 11.895,93
5	2759000	R\$ 1.113,78	R\$ 993,24	1.017,09		36,00		R\$ 28.061,41	R\$ 26.887,78	R\$ 14.991,85
6	2759000	R\$ 1.181,38	R\$ 993,24	1.099,78		36,00		R\$ 30.342,80	R\$ 29.018,88	R\$ 44.010,73
7	2759000	R\$ 1.253,09	R\$ 993,24	1.189,19		36,00		R\$ 32.809,67	R\$ 31.324,63	R\$ 75.335,36
8	2759000	R\$ 1.329,16	R\$ 993,24	1.285,87		36,00		R\$ 35.477,10	R\$ 33.819,31	R\$ 109.154,67
9	2759000	R\$ 1.409,84	R\$ 993,24	1.390,41		36,00		R\$ 38.361,38	R\$ 36.518,38	R\$ 145.673,04
10	2759000	R\$ 1.495,41	R\$ 993,24	1.503,45		36,00		R\$ 41.480,16	R\$ 39.438,54	R\$ 185.111,58
11	2759000	R\$ 1.586,19	R\$ 993,24	1.625,68		36,00		R\$ 44.852,50	R\$ 42.597,88	R\$ 227.709,46
12	2759000	R\$ 1.682,47	R\$ 993,24	1.757,85		36,00		R\$ 48.499,01	R\$ 46.015,93	R\$ 273.725,39
13	2759000	R\$ 1.784,59	R\$ 993,24	1.900,76		36,00		R\$ 52.441,98	R\$ 49.713,87	R\$ 323.439,26
14	2759000	R\$ 1.892,92	R\$ 993,24	2.055,29		36,00		R\$ 56.705,51	R\$ 53.714,54	R\$ 377.153,80
15	2759000	R\$ 2.007,82	R\$ 993,24	2.222,39		36,00		R\$ 61.315,67	R\$ 58.042,70	R\$ 435.196,51
16	2759000	R\$ 2.129,69	R\$ 993,24	2.403,07		36,00		R\$ 66.300,63	R\$ 62.725,11	R\$ 497.921,62
17	2759000	R\$ 2.258,96	R\$ 993,24	2.598,44		36,00		R\$ 71.690,88	R\$ 67.790,71	R\$ 565.712,33
18	2759000	R\$ 2.396,08	R\$ 993,24	2.809,69		36,00		R\$ 77.519,34	R\$ 73.270,81	R\$ 638.983,14
19	2759000	R\$ 2.541,53	R\$ 993,24	3.038,12		36,00		R\$ 83.821,67	R\$ 79.199,26	R\$ 718.182,41
20	2759000	R\$ 2.695,80	R\$ 993,24	3.285,12		36,00		R\$ 90.636,37	R\$ 85.612,69	R\$ 803.795,10
21	2759000	R\$ 2.859,43	R\$ 993,24	3.552,20		36,00		R\$ 98.005,10	R\$ 92.550,72	R\$ 896.345,82
22	2759000	R\$ 3.033,00	R\$ 993,24	3.840,99		36,00		R\$ 105.972,92	R\$ 100.056,17	R\$ 996.401,99
23	2759000	R\$ 3.217,10	R\$ 993,24	4.153,26		36,00		R\$ 114.588,52	R\$ 108.175,39	R\$ 1.104.577,38
24	2759000	R\$ 3.412,38	R\$ 993,24	4.490,92		36,00		R\$ 123.904,56	R\$ 116.958,50	R\$ 1.221.535,88
25	2759000	R\$ 3.619,51	R\$ 993,24	4.856,03		36,00		R\$ 133.978,01	R\$ 126.459,70	R\$ 1.347.995,58
									<b>VPL=</b>	<b>R\$ 433.949,15</b>
									<b>TIR =</b>	<b>27,2312%</b>
									<b>Payback(anos)</b>	<b>4 anos e 5 meses</b>

## Apêndice D

Bandeira Vermelha - Patamar 2										
Período	Consumo Médio	Manutenção	Custos Bandeira	Disponibilidade de energia		Acréscimo na Disponibilidade		Entrada de caixa	Total	SALDO
0	2759000	R\$ 87.989,00	R\$ -	0		0		0	-R\$ 101.187,35	-R\$ 101.187,35
1	2759000	R\$ 879,89	R\$ 1.655,40	R\$	744,00	R\$	60,00	R\$ 20.526,96	R\$ 20.498,47	-R\$ 80.688,88
2	2759000	R\$ 933,30	R\$ 1.655,40	R\$	804,49	R\$	60,00	R\$ 22.195,80	R\$ 22.053,42	-R\$ 58.635,46
3	2759000	R\$ 989,95	R\$ 1.655,40	R\$	869,89	R\$	60,00	R\$ 24.000,32	R\$ 23.735,88	-R\$ 34.899,59
4	2759000	R\$ 1.050,04	R\$ 1.655,40	R\$	940,61	R\$	60,00	R\$ 25.951,55	R\$ 25.556,29	-R\$ 9.343,29
5	2759000	R\$ 1.113,78	R\$ 1.655,40	R\$	1.017,09	R\$	60,00	R\$ 28.061,41	R\$ 27.525,94	R\$ 18.182,65
6	2759000	R\$ 1.181,38	R\$ 1.655,40	R\$	1.099,78	R\$	60,00	R\$ 30.342,80	R\$ 29.657,04	R\$ 47.839,69
7	2759000	R\$ 1.253,09	R\$ 1.655,40	R\$	1.189,19	R\$	60,00	R\$ 32.809,67	R\$ 31.962,79	R\$ 79.802,48
8	2759000	R\$ 1.329,16	R\$ 1.655,40	R\$	1.285,87	R\$	60,00	R\$ 35.477,10	R\$ 34.457,47	R\$ 114.259,95
9	2759000	R\$ 1.409,84	R\$ 1.655,40	R\$	1.390,41	R\$	60,00	R\$ 38.361,38	R\$ 37.156,54	R\$ 151.416,48
10	2759000	R\$ 1.495,41	R\$ 1.655,40	R\$	1.503,45	R\$	60,00	R\$ 41.480,16	R\$ 40.076,70	R\$ 191.493,18
11	2759000	R\$ 1.586,19	R\$ 1.655,40	R\$	1.625,68	R\$	60,00	R\$ 44.852,50	R\$ 43.236,04	R\$ 234.729,22
12	2759000	R\$ 1.682,47	R\$ 1.655,40	R\$	1.757,85	R\$	60,00	R\$ 48.499,01	R\$ 46.654,09	R\$ 281.383,31
13	2759000	R\$ 1.784,59	R\$ 1.655,40	R\$	1.900,76	R\$	60,00	R\$ 52.441,98	R\$ 50.352,03	R\$ 331.735,34
14	2759000	R\$ 1.892,92	R\$ 1.655,40	R\$	2.055,29	R\$	60,00	R\$ 56.705,51	R\$ 54.352,70	R\$ 386.088,04
15	2759000	R\$ 2.007,82	R\$ 1.655,40	R\$	2.222,39	R\$	60,00	R\$ 61.315,67	R\$ 58.680,86	R\$ 444.768,91
16	2759000	R\$ 2.129,69	R\$ 1.655,40	R\$	2.403,07	R\$	60,00	R\$ 66.300,63	R\$ 63.363,27	R\$ 508.132,18
17	2759000	R\$ 2.258,96	R\$ 1.655,40	R\$	2.598,44	R\$	60,00	R\$ 71.690,88	R\$ 68.428,87	R\$ 576.561,05
18	2759000	R\$ 2.396,08	R\$ 1.655,40	R\$	2.809,69	R\$	60,00	R\$ 77.519,34	R\$ 73.908,97	R\$ 650.470,02
19	2759000	R\$ 2.541,53	R\$ 1.655,40	R\$	3.038,12	R\$	60,00	R\$ 83.821,67	R\$ 79.837,42	R\$ 730.307,45
20	2759000	R\$ 2.695,80	R\$ 1.655,40	R\$	3.285,12	R\$	60,00	R\$ 90.636,37	R\$ 86.250,85	R\$ 816.558,30
21	2759000	R\$ 2.859,43	R\$ 1.655,40	R\$	3.552,20	R\$	60,00	R\$ 98.005,10	R\$ 93.188,88	R\$ 909.747,18
22	2759000	R\$ 3.033,00	R\$ 1.655,40	R\$	3.840,99	R\$	60,00	R\$ 105.972,92	R\$ 100.694,33	R\$ 1.010.441,51
23	2759000	R\$ 3.217,10	R\$ 1.655,40	R\$	4.153,26	R\$	60,00	R\$ 114.588,52	R\$ 108.813,55	R\$ 1.119.255,06
24	2759000	R\$ 3.412,38	R\$ 1.655,40	R\$	4.490,92	R\$	60,00	R\$ 123.904,56	R\$ 117.596,66	R\$ 1.236.851,72
25	2759000	R\$ 3.619,51	R\$ 1.655,40	R\$	4.856,03	R\$	60,00	R\$ 133.978,01	R\$ 127.097,86	R\$ 1.363.949,58
									<b>VPL=</b>	<b>RS 441.556,53</b>
									<b>TIR =</b>	<b>27,7082%</b>
									<b>Payback(anos)</b>	<b>4 anos e 4 meses</b>