

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**VINICIUS ANESE NICOLA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL: COMPARAÇÃO ENTRE DADOS  
DIMENSIONADOS PELA EMPRESA QUE REALIZOU A INSTALAÇÃO *VERSUS*  
DADOS EXECUTADOS PELO CLIENTE**

**Alegrete-RS  
2019**

**VINICIUS ANESE NICOLA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL: COMPARAÇÃO ENTRE DADOS  
DIMENSIONADOS PELA EMPRESA QUE REALIZOU A INSTALAÇÃO *VERSUS*  
DADOS EXECUTADOS PELO CLIENTE**

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: Dr. Fladimir Fernandes dos Santos

**Alegrete  
2019**

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) .

N635a Nicola, Vinicius Anese

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL: COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DIMENSIONADOS  
PELA EMPRESA QUE REALIZOU A INSTALAÇÃO VERSUS DADOS EXECUTADOS  
PELO CLIENTE / Vinicius Anese Nicola.

72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2019.

"Orientação: Fladimir Fernandes Santos".

1. Análise da viabilidade técnica. 2. Análise da  
viabilidade econômica . 3. Energia solar fotovoltaica. I.  
Título.

VINICIUS ANESE NICOLA

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL: COMPARAÇÃO ENTRE DADOS  
DIMENSIONADOS PELA EMPRESA QUE REALIZOU A INSTALAÇÃO *VERSUS*  
DADOS EXECUTADOS PELO CLIENTE

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: Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 29, novembro de 2019.

Banca examinadora:



---

Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos  
Orientador  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Guilherme Sebastião da Silva  
Coorientador  
UNIPAMPA



---

Prof. Me. Thiago Eliandro de Oliveira Gomes  
UNIPAMPA



---

Eng. Raul Ledur Kuhn  
Esco-GD Tecnologia em Energia

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradecer a DEUS, pela vida, pela minha família e por guiar meus passos todos os dias.

Minha família, Obrigado, por todo apoio e por serem a base de toda a minha vida, sem vocês nada seria possível.

Meus amigos de Alegrete, Nova esperança do Sul, todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização do meu sonho.

Pessoas especiais que não medem esforços para incentivar, apoiar e estar ao meu lado, sempre, Obrigado.

À toda equipe da empresa Esco-GD, pela oportunidade de estágio, pelos ensinamentos e compartilhamento de ideias, vocês são demais. Obrigado.

Ao meu orientador, professor Fladimir, por todo o suporte e dedicação, obrigado por todo incentivo e também pela cobrança desde o “TCC 1”, vou levar isso para sempre, pessoa de caráter e competência junto ao seu trabalho. Obrigado.

Aos demais Professores, que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento, tanto na vida acadêmica, como na vida pessoal.

“O sucesso depende de estratégias, mas nem todo bom estrategista é vencedor. Para vencermos, precisamos aliar a vontade, pensamento e foco”.

Samuel Ranner

## RESUMO

Nos últimos anos, as tarifas de energia elétrica, no Brasil, sofreram variações, em decorrência dos fatores climáticos, pois a matriz energética do país está predominantemente baseada na geração proveniente de fontes hídricas, e cada vez mais os consumidores pagam valores elevados pelo fornecimento da energia elétrica. Esta problemática faz com que empresas e consumidores busquem no mercado alternativas para minimizar os seus gastos com energia. A geração de energia elétrica, através de módulos fotovoltaicos, vem demonstrando um crescimento exponencial, pois apresenta um investimento relativamente baixo, comparado com a vida útil dos equipamentos. O presente estudo realiza uma análise comparativa de um sistema fotovoltaico residencial com potência de 3,96 kWp, instalado na cidade de Alegrete-RS. O período de análise é correspondente ao primeiro ano de funcionamento do sistema e tem como objetivo realizar uma análise comparativa dos dados técnicos e econômicos, levando em consideração os dados dimensionados pela empresa, com os executados pelo cliente. Primeiramente, na parte técnica, comparando geração de energia, análise de energia injetada e autoconsumo remoto e, posteriormente, a análise econômica, utilizando as ferramentas da engenharia econômica, como, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), *payback* simples, *payback* descontado, baseados em uma taxa mínima de atratividade (TMA). Conclui-se que o projeto se apresentou viável e que a comparação realizada entre os dados dimensionados pela empresa, com os dados executados pelo cliente, se mostrou equivalente na parte técnica e econômica.

**Palavras-chave:** geração de energia, parâmetros de engenharia econômica, sistemas fotovoltaicos.

## ABSTRACT

In recent years, electricity tariffs in Brazil have changed due to climate factors, because the country's energy matrix is predominantly based on generation from water sources, consumers increasingly pay more expensive by the supply of electricity. It's problematic that makes companies and consumers seek alternatives in the market to minimize their energy spending. The generation of electricity through photovoltaic modules has shown exponential growth, as it presents a relatively low investment compared to the life of the equipment. The present study performs a comparative analysis of a residential photovoltaic system with a power of 3.96 kWp installed in the city of Alegrete-RS. The analysis period corresponds to the first year of system operation and aims to perform a comparative analysis of technical and economic data taking into account the data sized by the company with those executed by the client. First in the technical part comparing power generation, injected energy analysis and remote self-consumption and later financial analysis, using the tools of economic engineering, such as net present value (VPL), internal rate of return (IRR), simple payback, discounted payback, based on a minimum attractiveness rate (TMA). It was concluded that the project was viable and the comparison proved equivalent in the technical and economic part.

**Keywords:** power generation, economic engineering parameters, photovoltaic systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética brasileira .....	19
Figura 2 – Diagrama elétrico de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.	24
Figura 3 – Sistema isolado .....	25
Figura 4 – Estrutura de um módulo fotovoltaico .....	26
Figura 5 – Inversor de frequência.....	28
Figura 6 – Medidor bidirecional .....	29
Figura 7 – Monitoramento de um sistema fotovoltaico .....	30
Figura 8 – Sistema para estacionamento .....	31
Figura 9 – Instalação sobre cobertura.....	32
Figura 10 – Instalação sobre terreno.....	32
Figura 11 – Fluxo de caixa .....	34
Figura 12 – Fluxograma da pesquisa .....	44
Figura 13 – Esquema da participação da engenharia no ciclo de decisões de um projeto .....	45
Figura 14 – Sistema analisado .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ranking mundial.....	20
Tabela 2 – Resultados em diferentes cidades no estudo de Miranda (2014).....	40
Tabela 3 – Análise do investimento em Pscheidt (2017).....	40
Tabela 4 – Comparativo dos resultados econômicos para diferentes bandeiras tarifárias em Tarone (2018).....	41
Tabela 5 – Resultados da autarquia em Gonçalves (2018) .....	41
Tabela 6 – Resultados de diferentes cidades em Rorig (2019).....	42
Tabela 7 – Dados da geração de energia .....	52
Tabela 8 – Relação de energia injetada e autoconsumo remoto .....	53
Tabela 9 – Dados do consumo de energia elétrica .....	54
Tabela 10 – Valor economizado anualmente com a fatura de energia elétrica (em reais – R\$).....	57
Tabela 11 – Comparação das premissas utilizadas para análise do estudo .....	58

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Ranking estadual de geração distribuída de energia solar fotovoltaica ..	19
Gráfico 2 – Comparativo de dados de geração de energia elétrica.....	51
Gráfico 3 – Comparativo de dados de consumo de energia elétrica .....	54
Gráfico 4 – Comparativo de dados da fatura de energia elétrica .....	56

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Apv	Área de um Módulo Fotovoltaico
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
C-Si	Silício Cristalino
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IGP-M	Índice geral de preços - mercado
Imppt	Corrente do Módulo Fotovoltaico em sua Máxima Potência
Kpv	Coeficiente de Perda de Potência em Função da temperatura
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
Npv	Eficiência de um Módulo Fotovoltaico
PD	<i>Payback</i> descontado
PIS	Programa de Integração Social
PS	<i>Payback</i> simples
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima Atrativa
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
Vmppt	Tensão de um Módulo Fotovoltaico em sua Máxima Potência
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido
Wp	Watt-pico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.1 Objetivo geral .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>17</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO</b>	
<b>BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Energia Fotovoltaica.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.1 Resolução Normativa ANEEL e Normas Técnicas.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.2 Isenção de ICMS .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.3 Isenção de PIS/PASEP e COFINS .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.4 Bandeiras Tarifárias .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Sistemas fotovoltaicos.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.1 Sistema conectado à rede elétrica (On-Grid) .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.2 Sistema isolado (Off-Grid) .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 Módulos Fotovoltaicos .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.4 Inversores de Frequência .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.5 Medidor Bidirecional .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.6 Monitoramento de um sistema fotovoltaico .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.7 Tipos de Instalações.....</b>	<b>31</b>
<b>3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS DE INVESTIMENTOS .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Diagrama de fluxo de caixa.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2 Taxa mínima de atrativa (TMA) .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3 <i>Payback</i> simples .....</b>	<b>37</b>
<b>3.4 <i>Payback</i> descontado .....</b>	<b>37</b>
<b>3.5 Valor presente líquido (VPL).....</b>	<b>38</b>
<b>3.6 Taxa interna de retorno (TIR).....</b>	<b>39</b>
<b>3.7 Estudos de viabilidade econômica em projetos de sistemas</b>	
<b>fotovoltaicos.....</b>	<b>39</b>
<b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>43</b>
<b>4.1 Etapas da pesquisa .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2 Necessidade de mercado.....</b>	<b>46</b>

4.3 Solução da proposta .....	46
4.4 Comparação parte técnica .....	46
4.5 Comparação parte econômica.....	47
4.6 Avaliação .....	48
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
5.1 Dados técnicos .....	49
5.2 Comparação parte técnica .....	50
5.2.1 Geração de energia.....	51
5.2.2 Consumo de energia .....	53
5.3 Comparação dados econômicos.....	54
<b>6 CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
APÊNDICE A – Tabela de geração de energia elétrica.....	68
APÊNDICE B – Tabela de consumo antes e depois do sistema .....	69
APÊNDICE C – Tabela com os dados reais economizados na fatura de energia elétrica .....	70
APÊNDICE D – Parâmetros econômicos da análise executada.....	71
APÊNDICE E – Parâmetros econômicos utilizados pela empresa.....	72

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a revisão da projeção de crescimento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a expectativa de aumento da população brasileira é de 8,66%, até o ano de 2060 (IBGE, 2018). Tendo em vista que a energia elétrica é um recurso indispensável para o desenvolvimento da sociedade, o grande crescimento populacional traz consigo problemas quanto ao suprimento da demanda energética e uso excessivo de recursos não renováveis.

Sabe-se que o desenvolvimento da civilização está diretamente baseado na busca por novas tecnologias que atendam suas demandas. Essa necessidade tem conduzido o homem a descobrir novas fontes renováveis de energia na busca pelo desenvolvimento sustentável. Atualmente, as atividades econômicas industriais utilizam energia proveniente de combustíveis fósseis, como: carvão, petróleo e gás natural. Diante deste cenário, as energias renováveis têm despertado a atenção, pois surgem como uma solução alternativa, e benéfica para o meio ambiente, além de serem provenientes de fontes de energia limpa, que não emitem gases e substâncias tóxicas.

O sistema elétrico brasileiro está predominantemente abastecido por fontes de energia providas de grandes hidrelétricas e termelétricas, localizadas, principalmente, nas regiões sul, sudeste, centro-oeste, nordeste e parte da região norte. De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em maio de 2017 o Brasil atingiu a marca de 152 GW em geração de energia elétrica, tendo a participação de diversas fontes de energia (ANEEL, 2017).

As fontes consideradas capazes de garantir o atendimento da demanda de carga do sistema são as hidrelétricas e termoelétricas. Fontes renováveis como a eólica e a solar fotovoltaica ainda não podem ser ditas capazes de garantir o atendimento devido sua intermitência, ou seja, a imprevisibilidade de geração devido à associação dessas com as condições meteorológicas. As fontes renováveis entram no sistema elétrico brasileiro como alternativa para períodos de escassez de água nas hidrelétricas, auxiliando, assim, no suprimento total da energia elétrica (KUHN, 2013).

Neste contexto, considerando que as energias renováveis possuem maior disponibilidade e causam menos impactos negativos ao meio ambiente, a energia proveniente do sol ainda não é utilizada em larga escala, pois requer uso de

tecnologias avançadas. A energia solar provém de uma fonte inesgotável de energia (o sol), ela oferece inúmeros benefícios para o meio ambiente, pois não polui, e existe de forma abundante em todo o planeta.

De acordo com Kuhn (2013), os sistemas de geração distribuídos conectados à rede elétrica vêm crescendo exponencialmente, ano após ano, e com isso, mais investidores buscam esse benefício, assim como mais empresas capacitadas para realizar todo o processo, desde o projeto inicial, até a instalação, aparecem com maior força no mercado.

Muitos investidores, bancos e instituições de fomento estão aperfeiçoando propostas que viabilizem aos seus clientes a implantação do sistema solar em seus negócios ou residências. Aliado a esta iniciativa, empresas que comercializam os sistemas têm buscado constantemente tornar a instalação executável, atendendo as demandas dos clientes.

Com base no exposto, o presente trabalho busca realizar a análise comparativa da viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico residencial instalado na cidade de Alegrete, Rio Grande do Sul. O estudo compara dados executados de geração do sistema com dados pré estimados pela empresa, considerados no dimensionamento do mesmo.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise comparativa da viabilidade técnica e econômica de um projeto em funcionamento, de geração distribuída de energia elétrica produzida por módulos fotovoltaicos, considerando-se a relação entre dados dimensionados pela empresa que realizou a instalação do sistema *versus* dados executados pelo cliente.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Como objetivos específicos deste estudo pode-se citar:

- demonstrar o desempenho projetado do sistema de geração fotovoltaico por meio de análise técnica;

- demonstrar o real desempenho do sistema de geração fotovoltaico por meio das ferramentas de engenharia econômica;
- comparar os dados executados pelo cliente com os dados que foram projetados pela empresa que realizou a instalação do sistema.

## **1.2 Justificativa**

Esta análise foi impulsionada pela necessidade do cliente/investidor bem como do autor deste trabalho, em saber se realmente o sistema que foi projetado para a residência está, após um ano de funcionamento, dentro dos parâmetros – técnicos e econômicos – desejados e planejados.

Ademais, entende-se como importante, para o engenheiro eletricitista, aplicar as ferramentas de Engenharia Econômica em um projeto real, pois faz parte de suas atribuições profissionais o estudo de viabilidade técnica-econômica e ambiental.

## **2 DESENVOLVIMENTO DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nesta seção está apresentada uma abrangência geral sobre dois grandes tópicos, energia fotovoltaica e sistemas fotovoltaicos. Tratando-se de energia fotovoltaica, são apresentadas normativas técnicas e normativas da ANEEL, isenção de taxas e bandeiras tarifárias. Ao realizar uma breve fundamentação teórica sobre sistemas fotovoltaicos, são apresentados dois modelos de conexão e seus respectivos componentes.

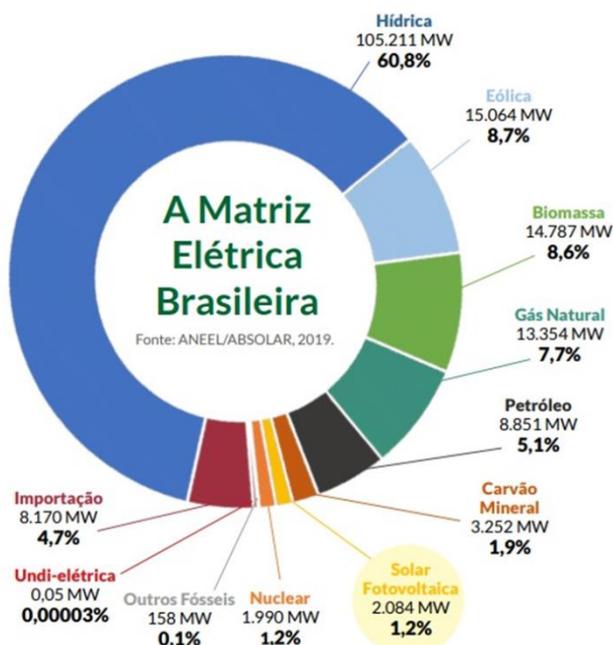
### **2.1 Energia fotovoltaica**

A energia solar fotovoltaica, principal fonte de energia limpa do planeta, tem como fonte primária de geração, o Sol. Não se pode afirmar que a energia solar seja uma fonte infinita, mas estudos afirmam que ela ainda pode ser utilizada por cerca de 8 milhões de anos, podendo, então, ser considerada inesgotável para o ser humano (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

Nos dias atuais, com o elevado custo das tarifas de energia, impostos e adicionais de bandeiras tarifárias, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica vêm ganhando espaço na matriz energética, se tornando a fonte de geração de energia que mais cresce no mundo (ANEEL/ABSOLAR, 2019).

Entre os motivos para os quais é vantajoso explorar esse recurso, os principais são: diminuir a dependência do mercado de petróleo, reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera e tornar a matriz energética brasileira menos dependente de recursos hídricos. Pela Figura 1 é possível perceber que, atualmente, mais de 60% da energia gerada no Brasil é proveniente de hidrelétricas, porcentagem significativa, quando comparada a outras fontes de energia que compõem a matriz energética brasileira.

Figura 1 – Matriz energética brasileira



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2019, não paginado)

Segundo dados do Infográfico, em 2018, a energia solar fotovoltaica instalada no Brasil foi de 1,2GW, totalizando 2,4GW de capacidade instalada acumulada (ANEEL/ABSOLAR, 2019). Analisando o Gráfico 1 é possível perceber os estados brasileiros que mais investem na implementação do sistema solar fotovoltaico, com o estado de Minas Gerais liderando o ranking.

Gráfico 1 – Ranking estadual de geração distribuída de energia solar fotovoltaica



Fonte: ANEEL/ABSOLAR (2019, não paginado)

Outra situação apresentada é o ranking mundial de implementação de sistema solar. Na Tabela 1 é possível verificar que o ranking mundial de potência instalada está liderado pela China, país este que possui cerca de 38% da potência total considerada.

Tabela 1 – Ranking mundial

Ordem	País	Potência
1º	China	131 GW
2º	EUA	51 GW
3º	Japão	49 GW
4º	Alemanha	42 GW
5º	Itália	19,7 GW
6º	Índia	18,3 GW
7º	Reino Unido	12,7 GW
8º	França	8 GW
9º	Austrália	7,2 GW
10º	Espanha	5,6 GW

Fonte: Adaptado de ANNEL/ABSOLAR (2019, não paginado)

De acordo com Passos (2016), os melhores índices de radiação solar da Alemanha, quando comparados à índices brasileiros, correspondem a 40% do valor dos piores índices de radiação no Brasil. É possível perceber que, mesmo com um cenário natural restrito, quando se trata de radiação solar, o país se encontra entre os líderes no mercado mundial e é visto como um exemplo de políticas e incentivos de sucesso.

### 2.1.1 Resolução normativa ANEEL, normas técnicas

Segundo a ANEEL (2012), a Resolução Normativa da nº 482/2012 estabeleceu algumas regras para quem deseja instalar um sistema solar fotovoltaico, tendo em vista que, qualquer pessoa, seja ela de natureza física ou jurídica, seja capaz de gerar sua própria energia. A normativa passou por revisão no ano de 2015, sendo proposto o sistema de compensação de energia elétrica.

Neste sistema, a energia ativa injetada por unidade consumidora, com microgeração ou minigeração distribuída, é cedida, por meio de empréstimo gratuito,

à distribuidora local e, posteriormente, compensada com o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2015). De acordo com a Resolução Normativa nº 687 (ANEEL, 2015) classes de potências são:

- Microgeração (Até 75 kW);
- Minigeração (De 75 kW até 5MW);
- Usinas (Acima de 5MW);

Para a instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos é recomendável seguir as normas e recomendações técnicas nacionais vigentes, dessa forma, destacam-se as seguintes:

- NBR 5410-2004: estabelece condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens (ABNT, 2004);
- NR-10: estabelece os requisitos as condições mínimas, objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores, que trabalham direta ou indiretamente com instalações elétricas e serviços de eletricidade (ABNT, 2004);
- NR-35: estabelece requisitos mínimos e medidas de proteção mínimas para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos com essa atividade (ABNT, 2012).

### **2.1.2 Isenção de ICMS**

De acordo com a ANEEL (2012), através da Resolução Normativa nº 482/12, é possível que qualquer unidade consumidora gere a sua própria energia e injete sua energia excedente na rede de energia da distribuidora local, gerando créditos de energia pelo sistema de compensação. Esse valor da energia injetada era considerado pela concessionária isento do imposto ICMS. Porém, ao utilizar os créditos disponíveis, a concessionária considerava o imposto ICMS sobre este valor.

Por exemplo, se o preço do kWh for de R\$ 0,60 em um estado onde é considerada a alíquota do ICMS. Considerando que este valor corresponda a 25%, a unidade consumidora perderia R\$ 0,15 por cada kWh de energia injetada na rede.

Em 22 de abril de 2015, o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) publicou, no Diário Oficial da União, um documento denominado de Convênio ICMS nº 16/2015. Por meio deste documento foi determinado que os Estados de Goiás, Pernambuco e São Paulo estavam autorizados a conceder isenção do ICMS incidente sobre a energia elétrica entregue pela distribuidora à unidade consumidora, sendo esta energia correspondente aos créditos de energia gerados pela a própria unidade consumidora, ou de mesma titularidade (CONFAZ, 2015).

Antes da publicação do Convênio pelo CONFAZ, o benefício era aplicado somente à compensação de energia elétrica produzida por micro ou minigeração distribuída, cuja potência instalada máxima era de 1 MW. Os estados de Paraná, Santa Catarina e Amazonas foram os últimos a aderir estas alterações e, só então, através do Convênio nº 42/2018, que entrou em vigor no dia primeiro de julho de 2018, é que, a partir desta data todo o território nacional tornou-se isento de ICMS sobre a compensação de energia (CONFAZ, 2018).

### **2.1.3 Isenção de PIS/PASEP e COFINS**

O CONFAZ, com o do Convênio ICMS 130/15, desde 4 de novembro de 2015, data de sua publicação, determinou a isenção de PIS/PASEP e COFINS na energia injetada transformada em crédito energético pela distribuidora local através do sistema de compensação (CONFAZ, 2015).

### **2.1.4 Bandeiras tarifárias**

A ANEEL, por meio da Resolução Normativa nº 547/13, de 16 de abril de 2013, deu início ao sistema de bandeiras tarifárias. Apenas em janeiro de 2015, a fim de cobrar diretamente do consumidor sobre qualquer aumento de custos na geração de energia elétrica e juntamente com a Resolução Homologatória nº 1.859/15, foram determinados os valores e faixas de acionamento para as bandeiras tarifárias. De acordo com a ANEEL (2015), este sistema é dividido em três modalidades:

Bandeira Verde: as condições são favoráveis para a geração de energia, logo, não há acréscimo na tarifa;

Bandeira Amarela: condições de geração menos favoráveis, o que acresce em R\$ 0,010 na tarifa para cada kWh consumido;

Bandeira Vermelha – Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada kWh consumido;

Bandeira Vermelha – Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. Acrescendo em R\$ 0,050 na tarifa para cada kWh consumido.

## **2.2 Sistemas fotovoltaicos**

Nesta seção estão apresentados os dois modelos de sistemas fotovoltaicos, os conectados à rede (On-Grid) e os sistemas isolados (Off-Grid). Na sequência estão apresentados os componentes essenciais para o funcionamento de um sistema fotovoltaico, algumas melhorias que se desenvolveram ao passar dos anos e os tipos de instalações. Os tópicos foram divididos em:

- Conectados à rede elétrica (On-Grid);
- Sistemas isolados (Of-Grid);
- Módulos fotovoltaicos;
- Inversores de frequência;
- Medidor bidirecional;
- Monitoramento de um sistema fotovoltaico;
- Tipos de instalações;

### **2.2.1 Sistema conectado à rede elétrica (On-Grid)**

O sistema fotovoltaico conectado à rede, conhecido como On-Grid, trata-se de um conjunto de equipamentos que permitem transformar a energia do sol em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. É composto por módulos fotovoltaicos, que são responsáveis pela captação e transformação da energia solar em energia elétrica de corrente contínua (CC), e conversores (CC/CA), já que os módulos têm como saída uma corrente contínua. Para a conexão junto à rede elétrica da concessionária é utilizado um medidor bidirecional, responsável por controlar a energia recebida e a energia fornecida a rede elétrica (ZILLES, 2015).

A Figura 2 mostra uma simplificação da composição de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.

Figura 2 – Diagrama elétrico de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica



Fonte: Sollarko (2019, não paginado)

Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica são utilizados em lugares onde já existe atendimento da rede elétrica, funcionando como usinas geradoras em paralelo com as grandes centrais, com o objetivo de reduzir a demanda de energia elétrica proveniente da rede. A energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos é consumida instantaneamente e o excesso é injetado na rede para que possa ser utilizado por outros consumidores do sistema de distribuição (PASSOS, 2016).

### 2.2.2 Sistema isolado (Off-Grid):

Na maioria dos casos, o armazenamento da energia, nos sistemas Off-Grid, é feito em baterias, suprindo a demanda de períodos onde o sol não aparece, ou seja, a geração é baixa ou inexistente (NEOSOLAR, 2018).

Também é instalado um controlador de carga entre os módulos fotovoltaicos e a bateria, que é responsável por não deixar ocorrer sobrecargas, ou descargas, em excesso nas baterias, ajudando, assim, a prolongar a vida útil das baterias. A partir dessa configuração, é possível alimentar cargas CC de maneira direta, pois, ao contrário dos módulos, a tensão de saída da bateria é constante. A Figura 3 mostra como é feita a ligação de um sistema isolado (VILLALVA; GAZOLI, 2013).

Figura 3 – Sistema isolado



Fonte: Sollarko (2019, não paginado)

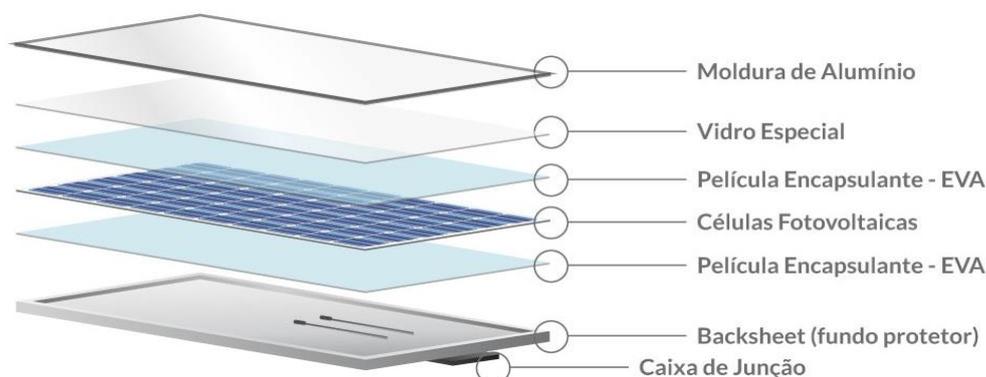
Sistemas fotovoltaicos considerados isolados são utilizados em locais de difícil acesso e onde a rede elétrica não é acessível ou não exista. Diferente dos conectados à rede, os sistemas Off-Grid ficam totalmente isolados, ou seja, sem a dependência da rede da concessionária, se livrando, assim, de taxas e tributos cobrados na fatura de energia elétrica. A principal desvantagem desse modelo é o alto custo de manutenção dos componentes (NEOSOLAR, 2018).

### 2.2.3 Módulos fotovoltaicos:

A célula fotovoltaica é um dispositivo que converte a energia solar em energia elétrica, onde as conexões entre essas células compõem um módulo fotovoltaico. Para aumentar a capacidade de geração de energia, as células são conectadas, em série, para aumentar a tensão e, em paralelo, para aumentar a corrente (REITER, 2016).

Na Figura 4 estão demonstrados os componentes da estrutura de um módulo fotovoltaico.

Figura 4 – Estrutura de um módulo fotovoltaico



Fonte: Blue sol energia solar (2018, não paginado).

Segundo Almeida (2012), nos módulos mais utilizados usa-se como encapsulante frontal um polímero termoplástico transparente, eletricamente isolado e resistente à umidade e à degradação pela radiação solar. Os módulos fotovoltaicos são cobertos por um vidro temperado e fabricado com baixo teor de ferro, para reduzir as perdas de absorção e também para diminuir a reflexão.

De acordo com Machado (2014), as células encontradas no mercado são células de silício cristalino (c-Si), que podem se dividir, basicamente, em: silício monocristalino e policristalino. As células de silício monocristalino apresentam maior eficiência de conversão fotovoltaica, em torno de 12-15%.

Segundo Reiter (2016), a estimativa da potência gerada por um módulo fotovoltaico é dada pela equação 1:

$$P_{pv} = i_{pv} n_{pv} A_{pv} [1 - K_{pv} (t_{pv} - 25)] \quad \dots(1)$$

Onde  $K_{pv}$  é o coeficiente de perda de potência em função da temperatura,  $n_{pv}$  é a eficiência dos módulos fotovoltaicos e  $A_{pv}$  é a área do módulo.

A eficiência do módulo fotovoltaico é dada por:

$$n_{pv} = \frac{i_{mppt} v_{mppt}}{1000 A_{pv}} \quad \dots(2)$$

Onde  $i_{mppt}$  e  $v_{mppt}$  são a corrente e a tensão dos módulos no ponto de máxima potência, respectivamente, e são disponibilizados no datasheet do módulo.

### 2.2.4 Inversores de frequência

Os inversores de frequência correspondem aos equipamentos eletrônicos responsáveis por converter a corrente contínua proveniente dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, que é a corrente apropriada para alimentar a maioria dos equipamentos encontrados nas residências, empresas, entre outros locais (ZILLES, 2015).

Os inversores usados para essa transformação CC-CA, conectados à rede elétrica, utilizam componentes eletrônicos de potência capazes de chavear os fluxos de corrente, através de um circuito interno de controle sofisticado para que a corrente elétrica, que vai ser injetada na rede, tenha a forma senoidal e esteja sincronizada com a rede, de acordo com as normas estabelecidas pela ANEL (ANEEL, 2018).

Segundo Zilles (2015), os inversores são considerados circuitos estáticos, ou seja, não possuem partes móveis, e têm por finalidade efetuar a conversão da potência CC, fornecida pelo gerador fotovoltaico, em potência CA, que será injetada diretamente na rede elétrica, sincronizando com a tensão e a frequência de operação do ponto de conexão do inversor com a rede elétrica. Além disso, esse dispositivo tem por função efetuar o seguimento do ponto de máxima potência do gerador fotovoltaico, fazendo com que sempre esteja disponível, na entrada do inversor, a máxima potência que o gerador pode suprir em determinado momento.

De acordo com Villalva e Gazoli (2013), após fazer a transformação CC-CA, o inversor de frequência transfere a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos para o quadro de distribuição do local para que a carga possa usar a mesma. Durante as horas de sol do dia, se a energia produzida pelos módulos não for suficiente para alimentar toda a carga, a diferença é absorvida da rede da concessionária.

Caso a energia que é produzida não seja totalmente utilizada pela carga, o excedente é injetado na rede. No período da noite, como os módulos não produzem energia, a carga será totalmente utilizada através da rede da concessionária. Todo esse gerenciamento do fluxo de energia elétrica é realizado pelo inversor de frequência, de forma otimizada (VILLALVA; GAZOLI, 2013). Na Figura 5 é possível visualizar um exemplo de um inversor de frequência.

Figura 5 – Inversor de frequência



Fonte: Sices solar (2019, não paginado)

### 2.2.5 Medidor bidirecional

O sistema de medição deve atender as especificações técnicas das demais unidades consumidoras, conectadas no mesmo nível de tensão da central geradora. Através da implementação de um medidor bidirecional, no sistema, é permitida a medição bidirecional, ou seja, são determinados o consumo e a geração de energia. A distribuidora de energia é responsável por adquirir e instalar o sistema de medição, sem custos para o acessante de geração distribuída (PASSOS, 2016). Na Figura 6 está apresentado um medidor bidirecional.

Figura 6 – Medidor bidirecional



Fonte: Eletra (2016, não paginado)

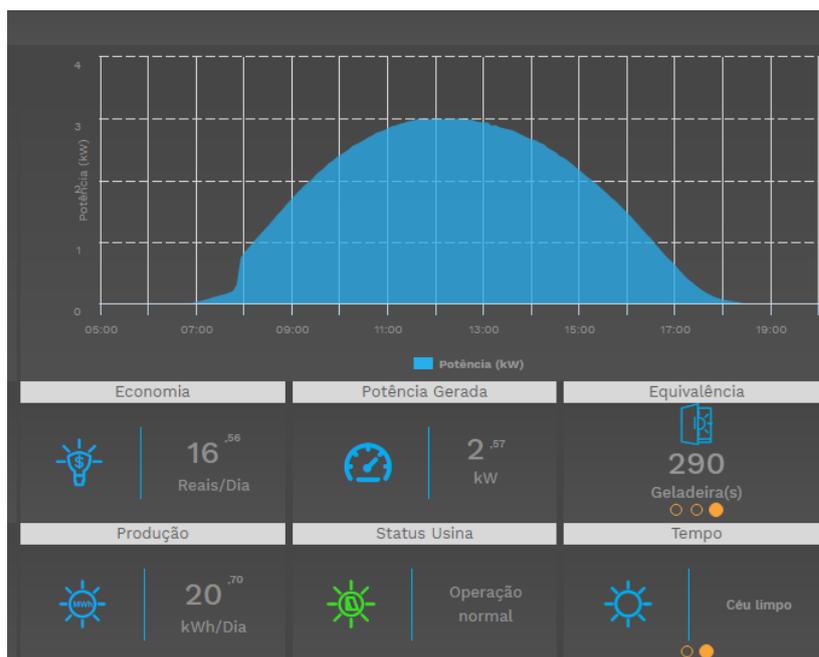
Através da Figura 6 é possível perceber que o visor do novo medidor mostra dois índices, a energia injetada e a energia consumida. Eles se atualizam em segundos e mostram as diferentes situações reais. No canto superior esquerdo do visor é possível identificar o código correspondente, ele determina duas situações. Quando o código apresentado é 03, a quantidade de energia consumida pode ser visualizada. Outra situação é quando o código corresponde a 103, nesta situação o valor apresentado no visor corresponde a quantidade de energia injetada na rede, ou seja, a que não foi consumida remotamente.

O medidor é um aparelho fundamental para se ter um controle da energia solar que foi produzida e utilizada pelo seu sistema de geração. Por meio dele é possível conferir os descontos que aparecerão na fatura mensal de energia (PORTAL SOLAR, 2018).

### 2.2.6 Monitoramento do sistema fotovoltaico

O monitoramento de um sistema fotovoltaico permite acompanhar remotamente em tempo real a geração de energia do seu sistema (DELTA SOLAR, 2019), conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Monitoramento de um sistema fotovoltaico



Fonte: Sices solar (2019, não paginado)

De acordo com a DELTA SOLAR (2019), as características principais desse sistema são:

- acesso remoto por qualquer dispositivo conectado à internet;
- envio de dados por conexão *Wi-fi*;
- envia e-mail e SMS com alerta em tempo real no caso de uma possível falha;
- os relatórios e dados do sistema podem ser enviados regularmente por e-mail;

Entre os benefícios desse sistema, destacam-se:

- fornecer informações sobre a energia gerada no dia, mês, ano, bem como a total;
- proporcionar facilidade de acesso e interface de bom entendimento, com gráficos que demonstram a energia gerada para cada hora do dia;
- apresentar, em tempo real, o nível de benefício gerado ao meio ambiente, entre eles, a redução nos níveis de emissão de carbono; o número de árvores que deixam de ser eliminadas e a economia gerada.

### 2.2.7 Tipos de instalações

A disposição física de um sistema de geração fotovoltaica pode variar de acordo com a área disponível e também com a necessidade do local.

Dentre as possibilidades, atualmente, predominam as instalações do tipo (PORTAL SOLAR, 2018):

- **Integração arquitetônica:** constitui-se em utilizar módulos fotovoltaicos como parte estrutural de uma construção, disponibilizando ao sistema uma segunda utilidade, o exemplo mais comum é atribuído aos estacionamentos que utilizam os módulos fotovoltaicos, a fim de disponibilizar uma cobertura aos veículos, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Sistema para estacionamento



Fonte: Esco-GD (2019, não paginado)

- **Instalação sobre cobertura:** os módulos são distribuídos em um espaço pré-disposto, utilizando, assim, uma cobertura existente, mostrado na Figura 9. Este modelo é o mais utilizado, pois o custo para a instalação é reduzido, por já existir a estrutura para a fixação.

Figura 9 – Instalação sobre cobertura



Fonte: Esco-GD (2019, não paginado)

- **Instalação sobre terreno:** os módulos são dispostos em uma determinada área no solo, conforme Figura 10. Este método é utilizado para instalações com maior capacidade de geração, considerando usinas de grande porte, a qual possui um custo agregado maior, pois conta com a construção de uma estrutura civil (sapatas, fundações etc.).

Figura 10 – Instalação sobre terreno



Fonte: Esco-GD (2019, não paginado)

### 3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS DE INVESTIMENTOS

Ehrlich e Moraes (2010, p.1) destacam que, “dentro da avaliação e seleção de projetos de investimento, a Engenharia Econômica analisa os aspectos econômico-financeiros utilizando critérios quantitativos”.

A Engenharia Econômica, segundo Casarotto Filho e Kopittke (2010, p.92), possibilita análises prévias das opções de investimentos, com o propósito de racionalizar a utilização dos recursos de capital. Os autores supracitados ainda afirmam que a Engenharia Econômica propicia a análise econômica de decisões sobre investimentos, e que ela “tem aplicações bastante amplas, pois os investimentos poderão tanto ser de empresas, como de particulares ou de entidades governamentais”.

Com base em Frezatti (2008), pode-se dizer que os métodos de avaliação de investimentos são de dois tipos: os baseados no fluxo de caixa e os baseados no resultado econômico e no contábil. Para o presente trabalho aborda-se os primeiros.

Ademais, ao realizar a análise de viabilidade econômica, com a aplicação das ferramentas de Engenharia Econômica, a serem apresentadas na sequência, é necessário que se obtenha uma série de dados que servirão de base para os cálculos pretendidos (CASAROTTO FILHO, 2011). Diante disso, nesta seção estão apresentados os principais elementos para este tipo de análise, entre eles:

- Diagrama de Fluxo de caixa;
- Taxa mínima atrativa (TMA);
- *Payback* simples (PS);
- *Payback* descontado (PD);
- Valor presente líquido (VPL);
- Taxa interna de retorno (TIR);

#### 3.1 Diagrama de fluxo de caixa

Para o cliente, o investimento – ou seja, a totalidade de recursos a serem aplicados – é feito com objetivo de gerar retorno em um determinado período de tempo, no qual se espera que este retorno consiga recuperar o valor investido.

O investimento trata-se de um desembolso feito com o propósito de gerar um fluxo de benefícios futuros, por um determinado período de tempo – denominado de

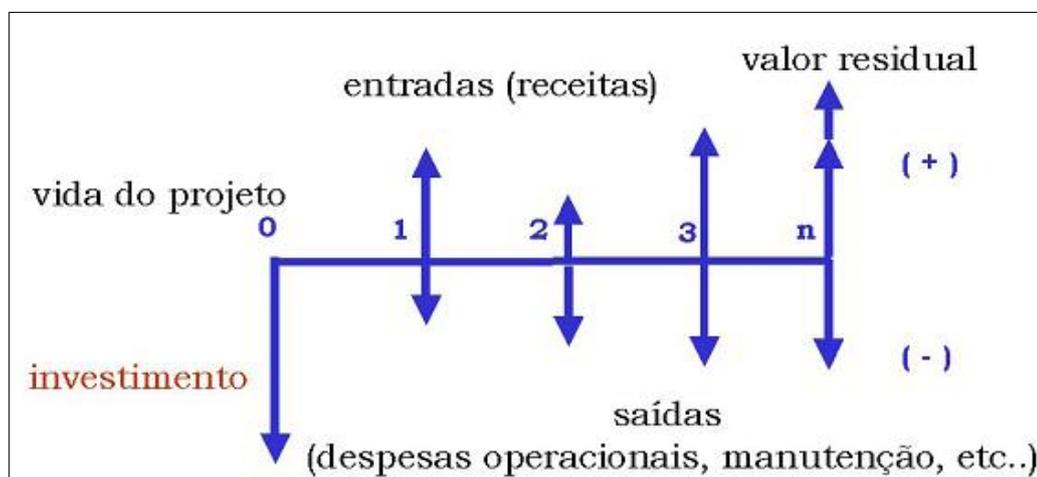
horizonte de planejamento. Ao ser realizado o investimento, o investidor espera que o retorno – em valores monetários atuais – consiga remunerar o custo do capital, acrescido de um adicional relativo ao risco do negócio (CLEMENTE, 2008).

Um instrumento para auxiliar na análise de projetos de investimentos é o fluxo de caixa. Na representação do fluxo de caixa é necessário determinar a variável relacionada ao custo inicial do projeto – investimento e capital de giro –, além de estimar as receitas e os custos operacionais – fixos e variáveis (FERREIRA, 2009).

O diagrama do Fluxo de Caixa representa, graficamente, um conjunto de entradas e saídas de dinheiro ao longo do tempo, onde um eixo horizontal mostra os períodos de composição distribuídos no tempo; flechas voltadas para cima indicam ingressos de recursos no caixa; flechas voltadas para baixo indicam saídas de recursos do caixa (BALARINE, 2004, p. 13).

Conforme mostra a Figura 11, tem-se no fluxo de caixa a sistematização das entradas e saídas de caixa, por meio de uma escala horizontal que representa o tempo (em meses, semestres, anos), com as flechas para cima que correspondem às entradas de caixa e as flechas para baixo que representam as saídas de caixa.

Figura 11 – Fluxo de caixa



Fonte: Pamplona e Montevechi (2006, p. 08)

As atividades que ocorrem em um fluxo de caixa são mostradas a seguir (LAPONNI, 2000):

- Na data zero → Ocorre o investimento em ativos fixos e em capital de giro.
- Data terminal → Há recuperação integral do investimento.

- Data zero até a data terminal → O fluxo de caixa gerado pelo investimento durante o prazo de análise do projeto.

Pelo exposto, percebe-se que o fluxo de caixa deve considerar na data zero o investimento, a data terminal com a vida útil do projeto e, da data zero até uma data terminal, o fluxo de caixa gerado no prazo de análise do projeto.

As técnicas tradicionais para auxiliar essas decisões costumam apurar entradas e saídas de caixa, distribuindo seus valores líquidos em cada ponto “t” do tempo, formando o desenho do fluxo de caixa. Então é adotada uma taxa de desconto (ou de capitalização) de modo a transpor as ocorrências para data única, onde é apurado o resultado do projeto. Pressupõe-se que o retorno ideal deva cobrir – no mínimo – a taxa de atratividade e, na ocorrência de projetos múltiplos excludentes, a escolha recai sobre aquele com maior retorno previsto (BALARINE, 2004, p. 14).

Também cabe dizer que, para um investimento que tem como propósito a obtenção de lucro, deve-se considerar as correções monetárias no período analisado (GITMAN, 2004). “Denomina-se de *atualização monetária*, ou *correção monetária*, o reajuste dado aos capitais envolvidos em operações financeiras”. Os índices utilizados nem sempre são os mesmos para os vários fins, mas o mais difundido é o índice de inflação (VERAS, 2001, p. 210-211).

### **3.2 Taxa mínima atrativa (TMA)**

“As estimativas de fluxos de caixa devem ser produzidas de forma coerente: todas a preços constantes de alguma data de referência ou todas a preços futuros, projetados por uma taxa de inflação” (CORTÊS, 2012, p.86).

Ferreira (2009) explica que se trata da taxa de juros que faz toda a análise comparativa da viabilidade do projeto, na qual, a TMA representa a taxa de juros do capital próprio empregada na atualização do fluxo de caixa.

Nesse sentido, Gitman (2004, p.342) entende essa taxa como “o retorno mínimo que deve ser obtido em um projeto”. O autor ainda cita outras formas de denominação frequentemente utilizadas para a TMA, quais sejam: taxa de desconto, retorno exigido, custo de capital ou custo de oportunidade.

Camargo (2007) observa que a TMA pode ser vista como o custo máximo que um tomador de dinheiro se propõe a pagar quando faz um empréstimo. A TMA é basicamente a junção de três fatores, sendo eles (FAGUNDES, 2019):

- **Custo de disponibilidade:** Representa um retorno mesmo investido no mercado sem custo, varia de acordo com a taxa Selic, que é a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no sistema especial de liquidação e de custódia para títulos federais.

- **Risco de negócio:** Agrega um percentual de risco a taxa de atratividade, deixando a TMA mais elevada, apesar de cada investimento agregar um peso distinto do risco, 5% ao ano de risco para um investimento ou a abertura de um negócio de atividade produtiva.

- **Prêmio pela liquidez:** Perda de disponibilidade dos recursos financeiros. Por exemplo, o investimento na poupança seria um recurso disponível para saques ou levantamentos a qualquer momento. Entretanto, o investimento em uma empresa ou determinado negócio da atividade produtiva, o recurso aplicado não está mais disponível, sendo impossível utilizar este recurso a qualquer momento. Pois este negócio necessita deste valor investido como capital de giro.

No que se refere à taxa de desconto (ou de capitalização), Balarine (2004, p.15) esclarece que existem três hipóteses:

(a) para projetos financiados com recursos de terceiros, adotar a taxa do custo financeiro; (b) para projetos que utilizem recursos próprios, adotar a taxa de atratividade da empresa; e (c) para projetos híbridos, adotar a taxa correspondente ao CMpC – Custo médio ponderado de capital da empresa [...], ou utilizar a técnica TIRM<sup>1</sup> adotando as taxas correspondentes ao custo financeiro e à de atratividade, simultaneamente.

Diante o exposto, com base em Casarotto Filho e Kopittke (2010, p.108), pode-se dizer que, ao analisar um projeto de investimento, é preciso considerar que o investidor pode estar perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos. “Entende-se que, a proposta para ser atrativa, deverá render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações

---

<sup>1</sup> “A Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM) é um método de análise da viabilidade de empreendimentos que traz os fluxos de caixa negativos a valor presente líquido; e que leva os fluxos de caixa positivos para valor futuro” (REIS, 2019, não paginado).

correntes que desejam de pouco risco”. Está é, portanto, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

### 3.3 *Payback* simples

O tempo de retorno, ou *Payback* sobre o investimento, é o número de períodos necessários para que o fluxo de caixa acumulado se torne positivo, isto considerando que o fluxo de caixa do projeto é do tipo em que o investimento é realizado no primeiro período e as receitas estão nos anos seguintes (VILLAMARIM, 2016). A fórmula para o cálculo do *Payback* simples é dada através da Equação 3.

$$PS = \frac{Io}{R} \quad \dots(3)$$

Onde:

PS: *Payback* Simples

Io: investimento inicial;

R: montante de retorno sobre o investimento;

Damodaran (2004) destaca que projetos com *Payback* menores são mais atraentes, devido ao fato de que as receitas após este período são consideradas como lucros. Entretanto, de acordo com Bordeaux-rego *et al.*, (2010), nota-se que o *Payback* simples apresenta alguns problemas, tais como:

- não considera o dinheiro no decorrer do tempo;
- não leva em conta a distribuição do fluxo de caixa dentro do período de recuperação do investimento.

Em vista dos problemas supracitados, deve-se atentar, com base em Braga (1989), que este método é bastante utilizado como um filtro inicial na seleção das propostas de investimento, sendo utilizado como complemento de outros métodos.

### 3.4 *Payback* descontado

O *Payback* descontado apresenta um valor mais confiável, pois ele considera o dinheiro no tempo, através da TMA que é definida pelo investidor, ou analista, ou

ainda, os custos a serem empregados no projeto. Calculam-se todos os valores presentes dos fluxos de caixa. O tempo necessário para o pagamento do investimento inicial é calculado com base nos seus valores presentes e não valores dos fluxos, obtidos pela Equação 4 (BORDEAUX-REGO *et al.*, 2010):

$$VP(\text{periodo}) = \frac{\text{FluxodeCaixa}(\text{periodo})}{(1+TMA)^{\text{periodo}}} \quad \dots (4)$$

Onde:

Período: anos ou meses;

VP: valor presente no período (R\$);

Fluxo de caixa: fluxo de caixa no período (R\$);

TMA: Taxa mínima atrativa;

### 3.5 Valor presente líquido (VPL)

O método do valor presente líquido permite conhecer as necessidades de caixa, ou os ganhos de certo projeto, em termos do valor monetário no presente (valor do dinheiro hoje). Isto, porque, normalmente se considera a somatória da data de referência dos valores existentes do fluxo de caixa como seu valor atual, isto é, a somatória dos valores existentes no fluxo de caixa já descontados os juros embutidos em cada um dos valores existentes nas demais datas de fluxo de caixa. O VPL é dado pela seguinte Equação 4 (BORDEAUX-REGO *et al.*, 2010):

$$VPL = -Invest + \sum_{t=1}^{\text{periodo}} \frac{\text{Fluxodecaixa}(\text{periodo})}{(1+TMA)^{\text{periodo}}} + \frac{VR}{(1+taxadesconto)^{\text{periodo}}} \quad \dots(5)$$

Com base em Passos (2016), a decisão de investimento por meio do VPL é simples e pode ser resumida da seguinte forma:

- **Se VPL > 0:** o investimento será recuperado com taxa mínima de atratividade, ou seja, o projeto cobre o investimento inicial e ainda se tem um excedente de retorno;
- **Se VPL = 0:** é indiferente aceitar ou não, deve-se analisar outros parâmetros financeiros para realizar o investimento;
- **Se VPL < 0:** o projeto deve ser rejeitado;

Portanto, na análise do VPL considera-se que, se o VPL for positivo, o projeto é viável economicamente; e, caso o VPL for negativo, é inviável (BORDEAUX-REGO, 2015); e, se o VPL for igual a zero, é indiferente investir, ou não, mas mesmo assim a alternativa é considerada viável.

### 3.6 Taxa interna de retorno (TIR)

O método da taxa interna de retorno é aquele que permite encontrar uma remuneração do investimento em termos percentuais. Encontrar a TIR é encontrar a taxa de juros que permite igualar as receitas e as despesas na data de referência. A TIR é encontrada quando o VPL é nulo. O processo de decisão da TIR pode ser resumido da seguinte forma (BORDEAUX-REGO et al., 2010):

- i) **Custo capital < TIR** o projeto deve ser aceito (e  $VPL > 0$ );
- ii) **Custo capital = TIR** indiferente aceitar ou não ( $VPL = 0$ );
- iii) **Custo capital > TIR** o projeto deve ser recusado ( $VPL < 0$ ).

Cabe lembrar, conforme já citado neste trabalho, que a TMA tem outras denominações como, por exemplo, custo capital. Diante o exposto, quanto maior a TIR, mais atrativo é o projeto. No entanto, é preciso atentar que, para o projeto ser atrativo, a TIR não pode ser menor que a TMA (BORDEAUX-REGO, 2015). Em caso de igualdade da TIR e da TMA, o projeto tem uma situação de indiferença e cabe ao investidor decidir em investir, ou não.

### 3.7 Estudos de viabilidade econômica em projetos de sistemas fotovoltaicos

Miranda (2014) realizou uma análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, levando em consideração três casos diferentes em relação ao tamanho do sistema, utilizando uma TMA 4,8%. No caso A, para um sistema de 3,92 kWp, no caso B, com 2,94 kWp e no caso C, com 1,96 kWp. Na Tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos.

Tabela 2 – Resultados em diferentes cidades no estudo de Miranda (2014)

<b>Sistema</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR</b>	<b>PAYBACK SIMPLES</b>
Caso A	R\$ 25.726,83	12,3%	9 anos
Caso B	R\$ 17.299,23	11%	9 anos e meio
Caso C	R\$ 8.502,37	8,7%	10 anos

Fonte: Adaptado de Miranda (2014)

Na comparação dos casos, os três foram considerados viáveis, sendo o caso A o melhor, logo em seguida, com um retorno parecido, o caso B, pois a sua TIR se reduziu para 11%, seguido do caso C, o que apresentou menor resultado de TIR pela constância nos valores de instalação e pequena potência do sistema.

Em outro estudo, Pscheidt (2017) efetuou uma análise da viabilidade econômica e dimensionamento associado à implementação de painéis fotovoltaicos em uma edificação vertical de Joinville. O sistema dimensionado para a edificação foi de 12,4 kWp, contando com 40 módulos fotovoltaicos.

O estudo de viabilidade econômica do projeto obteve os seguintes resultados, que são demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise do investimento em Pscheidt (2017)

<b>Parâmetros analisados</b>	<b>Resultados obtidos</b>
Investimento	R\$ 72.889,85
TMA	7,50%
TIR	20,91%
VPL	R\$ 495.016,46
<i>PAYBACK SIMPLES</i>	5 anos e 3 meses

Fonte: Adaptado de Pscheidt (2017)

Pscheidt (2017) concluiu que a viabilidade econômica do projeto analisado é economicamente viável.

Tarone (2018) realizou a viabilidade econômica de um sistema de compensação de energia elétrica produzida por painéis fotovoltaicos. O autor realizou análises referentes a potência do sistema a ser instalado e também análises dos principais parâmetros financeiros, entre eles: VPL, TIR e *PAYBACK SIMPLES*.

O sistema dimensionado foi de 34,31 kWp, contando com 104 módulos fotovoltaicos. Na parte econômica a análise foi dividida em algumas etapas, onde foi

analisado o sistema com bandeira tarifária verde, amarela, vermelha – patamar 1 e vermelha – patamar 2. Na Tabela 4 é possível analisar os resultados encontrados.

Tabela 4 – Comparativo dos resultados econômicos para diferentes bandeiras tarifárias em Tarone (2018)

<b>Método</b>	<b>Bandeira Verde</b>	<b>Bandeira Amarela</b>	<b>Bandeira vermelha patamar - 1</b>	<b>Bandeira vermelha patamar - 2</b>
VPL	R\$ 417.141,55	R\$ 422.605,70	R\$ 433.533,99	R\$ 444.462,28
TMA	6,5%	6,5%	6,5%	6,5%
TIR	21,44%	21,67%	22,12%	22,58%
<i>PAYBACK</i>	5 anos e 7	5 anos e 6	5 anos e 4	5 anos e 2
<i>SIMPLES</i>	meses	meses	meses	meses

Fonte: Adaptado de Tarone (2018)

Observa-se, na Tabela 4, que todos os cenários de bandeiras analisados foram atendidos, ou seja,  $VPL > 0$  e  $TIR > TMA$ , portanto, em todos os cenários o sistema é economicamente viável.

Gonçalves (2018) estudou a viabilidade técnica e econômica para a implementação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para um caso de uma Autarquia de água e esgoto municipal na cidade de Santana do Livramento-RS. Para isso, um sistema de 23,4 kWp, no qual o autor chegou aos resultados demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da autarquia em Gonçalves (2018)

<b>Cidade</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR</b>	<b><i>PAYBACK</i> <i>SIMPLES</i></b>
Santana do Livramento-RS	R\$ 422.538,07	26,52%	4 anos e 6 meses

Fonte: Gonçalves (2018)

De acordo com as conclusões de Gonçalves (2018), pelas análises técnicas e econômicas o sistema foi considerado viável. A autarquia conta com um alto custo de energia, sendo necessário um sistema maior, comparando com os residenciais, por isso, o *Payback* simples tem um prazo de retorno pequeno.

Recentemente, Rorig (2019) analisou a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de mesma potência, em residências, em

diferentes cidades do Brasil, Os estudos foram feitos para quatro cidades e o autor obteve os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados de diferentes cidades em Rorig (2019)

<b>Cidade</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR</b>	<b>PAYBACK SIMPLES</b>
Santa Maria-RS	R\$ 151.388,55	22,98%	5 anos e 8 meses
São Paulo-SP	R\$ 41.907,90	14,10%	7 anos e 6 meses
Salvador -BA	R\$ 24.603,57	12,44%	7 anos e 2 meses
Belém-PA	R\$ 65.749,08	19,70%	5 anos e 6 meses

Fonte: Adaptado de Rorig (2019)

Rorig (2019) concluiu com seu trabalho que, para todos os casos, o VPL foi maior que zero e a  $TIR > TMA$ , sendo assim, todos os projetos foram considerados economicamente viáveis. Destacando a diferença de tempo de retorno (*Payback* descontado) por conta das tarifas e tributos e diferentes reajustes tarifários para cada cidade estudada.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tratando-se de sistemas fotovoltaicos, para uso residencial, considera-se como investimento inicial a aquisição dos equipamentos. Para as receitas são considerados os valores economizados mensalmente nas faturas de energia elétrica e para as despesas considera-se os pagamentos realizados para a execução operacional do projeto durante a sua vida útil.

Este trabalho tem como proposta realizar a comparação técnica e econômica de um sistema residencial fotovoltaico instalado na cidade de Alegrete-RS. A análise está baseada em dados executados pelo cliente *versus* os dados projetados pela empresa que realizou a instalação do sistema. Diante disso, a base de dados foi obtida junto à empresa que realizou o dimensionamento e instalação do projeto.

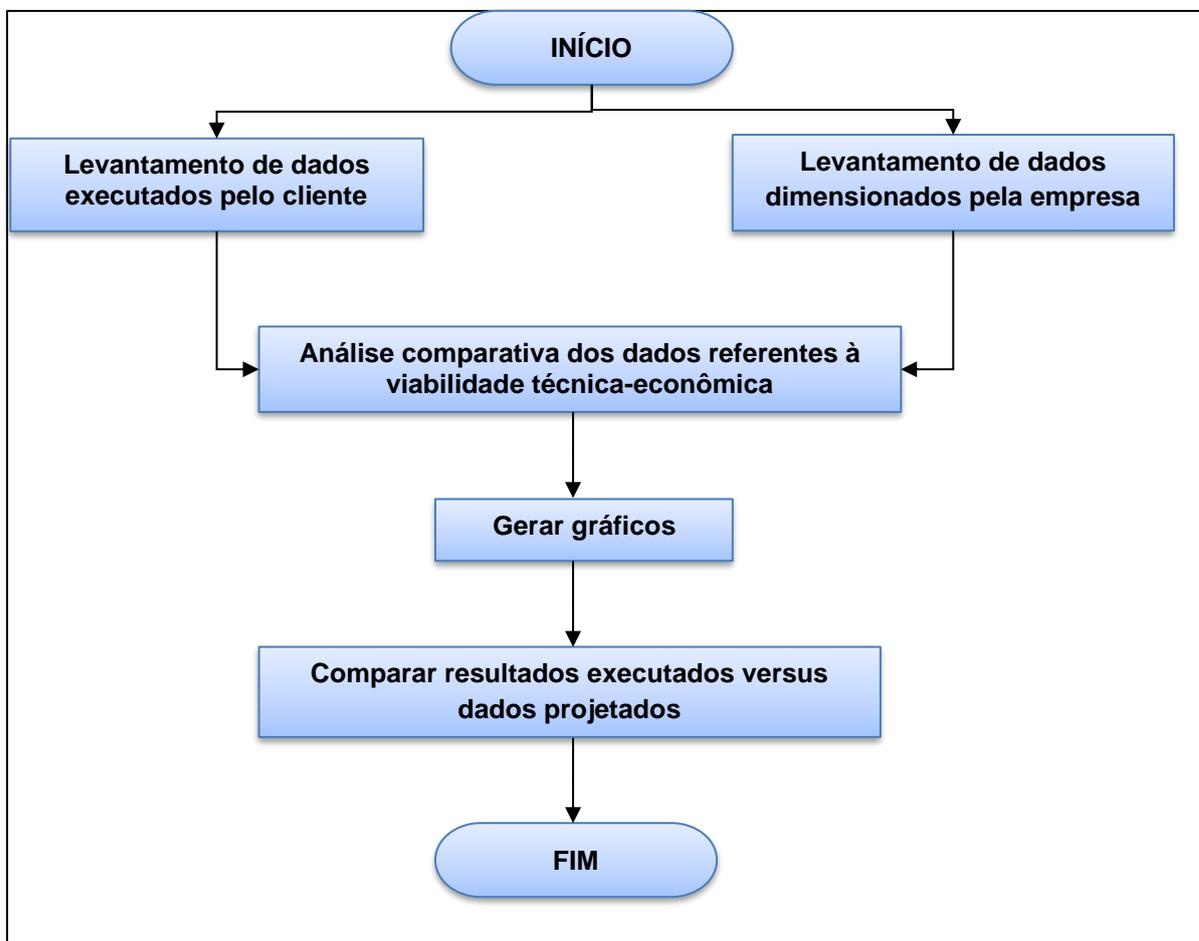
Foi utilizado como instrumento de coleta de dados à consulta a fontes primárias, bem como, à fontes secundárias. Para a coleta de dados foram utilizados dados referentes ao histórico de consumo da fatura de energia elétrica da unidade (residência) consumidora.

Para a análise e tratamento dos dados (princípio de análise de dados) foram utilizadas equações e ferramentas que possibilitam a análise técnica e a análise econômica. Por meio do delineamento do projeto, na parte técnica, foram utilizados os dados disponibilizados pela empresa (número de módulos, inversor, etc.). E, na análise econômica, foram aplicados os métodos básicos da engenharia econômica, baseados no fluxo de caixa e na Taxa Mínima Atrativa (TMA), calculando-se a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) o *Payback* simples e o *Payback* descontado.

As etapas da pesquisa são apresentadas na sequência, observando-se que o seu delineamento está demonstrado na Figura 12.

#### 4.1 Etapas da pesquisa

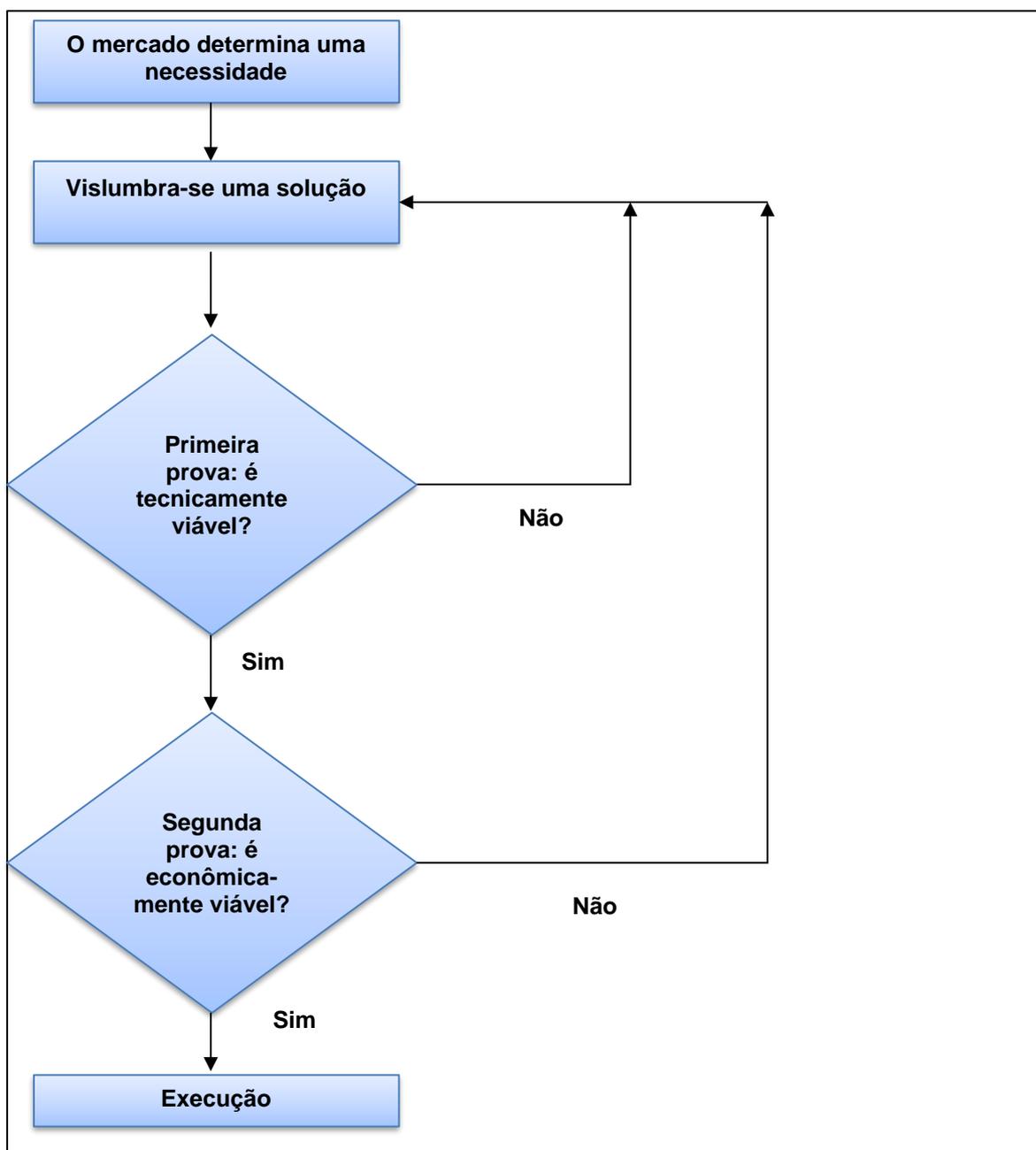
Figura 12 – Fluxograma da pesquisa



Fonte: Do autor

A Figura 12 mostrou a sequência de execução desta pesquisa, em que faz uso de duas análises, na qual se pode 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. Diante o exposto, foi seguido o esquema exposto em Buarque (1984), como evidenciado na Figura 13.

Figura 13 – Esquema da participação da engenharia no ciclo de decisões de um projeto



Fonte: Adaptado de Buarque (1984)

Vale dizer que, na análise de viabilidade técnica, os dados do projeto para o sistema fotovoltaico analisado nesta pesquisa foram dimensionados pela empresa responsável pelo projeto e instalação. Frisa-se que, gentilmente, a empresa disponibilizou os dados necessários para a realização dessa análise. Com base nos dados cedidos foi possível realizar a análise econômica, que abrange a Taxa Mínima Atrativa (TMA), as entradas e saídas de caixa, o cálculo do *Payback* simples e

*Payback* descontado, do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR), possibilitou a análise comparativa com os dados em que a empresa dimensionou e utilizou para a execução do projeto. Diante o exposto, veja-se, na sequência, como o esquema foi seguido de Buarque (1984).

#### **4.2 Necessidade de mercado**

Na busca por alternativas para reduzir as faturas de energia elétrica, diante dos valores de tarifa e bandeiras tarifárias vigentes, que aumentam anualmente, cada vez mais o investimento em sistemas fotovoltaicos cresce. Portanto, é de grande importância fazer um acompanhamento e uma boa gestão pós-venda, verificando se o investimento feito em um sistema fotovoltaico está corretamente dimensionado e o funcionamento e o desempenho do sistema fotovoltaico no seu primeiro ano de uso.

Diante disso, é fundamental analisar e mostrar os dados do sistema instalado, tanto para o investidor, quanto para empresa que instalou, para se ter um feedback do sistema fotovoltaico instalado.

#### **4.3 Solução proposta**

A solução sugerida para este caso foi uma comparação de um sistema fotovoltaico residencial, visando analisar os dados que foram dimensionados pela empresa *versus* os dados executados pelo cliente no seu primeiro ano de funcionamento.

#### **4.4 Comparação parte técnica**

A primeira análise comparativa feita foi em relação à parte técnica do projeto do sistema fotovoltaico, na qual, por meio de análises realizadas no *software* do inversor, e com dados dimensionados pela empresa, foi gerado o gráfico para analisar a geração do sistema fotovoltaico, no primeiro ano de funcionamento. Algumas análises foram feitas manualmente, de posse de todas as faturas de energia elétrica do ano analisado, sendo comparada a quantidade de energia que foi injetada na rede, com a energia consumida remotamente. Diante disso, tem-se o seguinte:

- Apêndice A: São mostrados os dados de geração de energia elétrica do sistema, através do software do inversor foram levantados os dados executados pelo cliente, e os dimensionados foram disponibilizados pela empresa executora.
- Apêndice B: Apresenta os valores de consumo de energia no ano anterior à instalação do sistema e no ano atual com sistema instalado, os dados foram obtidos através de consulta nas faturas de energia disponibilizadas no banco de dados da concessionária, mês a mês.
- Apêndice C: Mostra os dados reais economizados na fatura de energia elétrica, referentes ao ano com o sistema em funcionamento, os mesmos foram obtidos por consulta nas faturas de energia.

#### **4.5 Comparação parte econômica**

Na segunda análise, que compreende a parte da viabilidade econômica, foi estabelecido o diagrama de fluxo de caixa, representando a sistematização das receitas (entradas) e despesas (saídas) do projeto. O custo de investimento do projeto foi disponibilizado pelo consumidor e também pela empresa, os custos com manutenção e a troca do inversor no ano 15 são as saídas; e, as entradas de caixa são os valores obtidos no primeiro ano de funcionamento do sistema fotovoltaico. Cabe ressaltar que, nos cálculos das entradas e saídas de caixa, ainda foram consideradas a degradação da potência dos módulos e o reajuste tarifário anual da concessionária.

De acordo com Pinho e Galdino (2014), a degradação dos módulos fotovoltaicos de silício cristalino varia de 0,5% a 1% da potência dos mesmos. Os autores afirmam que a potência de pico mínima para os 10 a 12 primeiros anos de funcionamento deve ser correspondente a pelo menos 90% da potência nominal. No entanto, para intervalo de 13 a 25 anos, essa potência pode corresponder à 80% da potência nominal. Tendo em vista que o valor de degradação adotado pela empresa responsável foi de 0,7%, a fim de realizar uma análise comparativa, o mesmo percentual de degradação foi adotado para o presente estudo.

A vida útil do projeto para análise foi estabelecida em 25 anos, sendo necessário considerar uma troca de inversor, devido à vida útil do mesmo ser de 15

anos (EPE, 2012). A TMA utilizada foi a Taxa Selic do ano de 2018, que era 7% ao ano, verificada na data de 30 de outubro de 2018 (IPEA, 2018).

Como já dito, o horizonte de planejamento foi de 25 (vinte e cinco) anos, visto que os fabricantes de módulos fotovoltaicos, que utilizam a tecnologia de silício cristalino, garantem a vida útil de seus produtos neste prazo (PINHO; GALDINO, 2014).

Foi considerado, pela análise mensal das faturas de energia, os valores pagos as bandeiras tarifárias vigentes de cada mês e acrescentado, ainda, o valor da iluminação pública referente ao mês analisado. Enfim, com o fluxo de caixa definido, para a análise da viabilidade econômica e comparação com os dados dimensionados do projeto, foram aplicadas as ferramentas da engenharia econômica, sendo elas o VPL, a TIR e os *Payback's* simples e descontado.

#### 4.6 Avaliação

A avaliação dos resultados dos projetos foi baseada nos métodos de análise de viabilidade econômica, levando em consideração os seguintes critérios:

- Se  $VPL(i) > 0$ , a alternativa é economicamente viável;
- Se  $VPL(i) < 0$ , a alternativa é economicamente inviável;
- Se  $VPL(i) = 0$ , é indiferente investir ou não, mas a alternativa ainda é considerada viável;
- Se  $TIR > TMA$  – projeto economicamente viável;
- Se  $TIR < TMA$  – projeto economicamente inviável;
- Se  $TIR = TMA$  – é indiferente investir os recursos no projeto ou deixá-los rendendo juros à taxa mínima de atratividade;

Levando em consideração as entradas e saídas de caixa, foram calculados os *Payback* simples e o *Payback* descontado. Cabe enfatizar que tais procedimentos foram considerados apenas como indicadores complementares, para verificar o período de tempo necessário para a recuperação do capital investido.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados da comparação e análise da viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica. Considerando os dados de dimensionamento da parte técnica disponibilizados pela empresa responsável pelo projeto, os resultados estão divididos em: comparação da análise técnica e, logo após, comparação da análise econômica. Todos procedimentos foram realizados levando em consideração os dados que foram projetados para o sistema e os dados que estão acontecendo em tempo real.

### 5.1 Dados técnicos

O sistema analisado foi um residencial de pequeno porte, instalado no bairro Cidade Alta, Alegrete-RS. O sistema inicialmente instalado operou durante os meses de agosto à dezembro do ano de 2018 e possuía potência instalada total de 2,64 kWp.

Informa-se que, alguns meses após o início de funcionamento do sistema, o cliente percebeu que o seu consumo ganhou um aumento pelo fato de ter mais liberdade de gastos referentes à instalação do sistema, onde, em uma segunda etapa, o sistema ganhou um aumento de potência, contando com mais 4 módulos fotovoltaicos, com potência nominal de 330 Wp, totalizando uma potência total do sistema fotovoltaico de 3,96 kWp. O sistema fotovoltaico completo e instalado pode ser verificado na Figura 14.

Figura 14 – Sistema analisado



Fonte: Acervo do autor

Os componentes principais, disponibilizados pela empresa que dimensionou e instalou o sistema, e que segue fazendo o acompanhamento total do mesmo, são demonstrados a seguir:

- 8 módulos solares fotovoltaicos (330Wp);
- 4 módulos solares fotovoltaicos (330Wp);
- 1 Inversor (3000W);
- 1 monitoramento online;
- e demais equipamentos necessários para instalação.

## 5.2 Comparação da parte técnica

Neste tópico são apresentados os resultados referentes ao estudo de análise feito na parte técnica, e são apresentados seguintes tópicos:

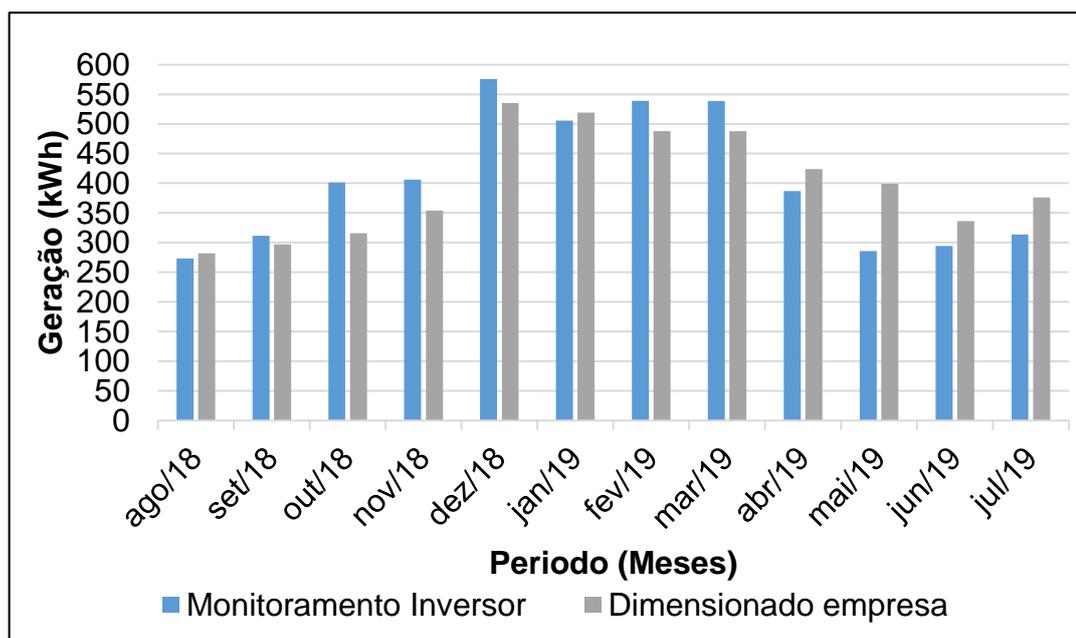
- Geração de energia;
- Consumo de energia;

### 5.2.1 Geração de energia

Conforme mencionado anteriormente, o período de análise do sistema foi dividido em duas etapas. A primeira é correspondente ao período de agosto a dezembro do ano de 2018, com potência instalada de 2,64 kWp. Na segunda etapa o sistema teve sua potência aumentada para 3,96 kWp, e este período corresponde de janeiro de 2019 e segue até os dias atuais. Este estudo realizou análise correspondente ao primeiro ano de funcionamento do sistema, compreendendo o período de agosto de 2018 à julho de 2019.

Fazendo uma comparação dos dados de geração em que a empresa contratada dimensionou, com os dados executados, obtidos através do *software* do inversor, dos quais estão dispostos no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Comparativo de dados de geração de energia elétrica



Fonte: Autor

É possível perceber no Gráfico 2 e na Tabela 7, que os dados de geração que executados pelo cliente foram um pouco maiores que os dados dimensionados pela empresa, no período do primeiro ano (dados obtidos através do dimensionamento da empresa e de dados executados), como mostrado no APÊNDICE A.

Tabela 7 – Dados da geração de energia

	<b>Geração (kWh)</b>
Monitoramento do inversor (dados executados pelo cliente)	4831,3
Dimensionado pela empresa (projetado)	4814

Fonte: Autor

Com base no Gráfico 2 pode-se afirmar que, em alguns meses, o que foi monitorado pelo inversor está abaixo do que foi dimensionado pela empresa, destacando-se os meses de, maio, junho e julho, nos quais as condições climáticas não foram favoráveis à geração. Em contrapartida, nos meses de setembro, outubro, novembro, dezembro, fevereiro e março a geração executada está superior à dimensionada. Observando que a geração executada está acima e a empresa é conservadora nessa questão. Um caso particular a ser analisado é o mês de janeiro, pois, neste período, é possível observar que a geração de energia foi inferior a dimensionada pela empresa. Isto pode ter ocorrido devido à alguns fatores como: índice de precipitação superior ao considerado em projeto ou possível falha em algum equipamento que compõe o sistema.

É importante enfatizar que o sistema fotovoltaico permite gerar créditos de energia a serem abatidos no período de no máximo 5 anos, pois, quando é gerado mais do que é consumido no mês, se torna um acúmulo de créditos. Dentro do consumo tem-se o que é denominado de autoconsumo remoto, no qual é a energia utilizada remotamente, ou seja, no momento que está sendo gerada está sendo consumida. A outra parte da energia gerada, que não é usada remotamente, passa pelo medidor bidirecional e é injetada na rede da concessionária.

Na Tabela 8 foi analisado o montante de energia que foi injetado na rede e a quantidade de energia que foi usada em tempo real (remotamente). Os valores de energia injetada foram obtidos através das faturas e o autoconsumo remoto foi obtido pela subtração da geração dada pelo inversor pela energia injetada.

Tabela 8 – Relação de energia injetada e autoconsumo remoto

<b>Mês</b>	<b>Injetado (kWh)</b>	<b>Autoconsumo remoto (kWh)</b>
Setembro 2018	218	55,4
Outubro 2018	282	29,5
Novembro 2018	336	65,5
Dezembro 2018	373	33,1
Janeiro 2019	287	288,8
Fevereiro 2019	387	118,4
Março 2019	368	171,2
Abril 2019	327	211,4
Mai 2019	249	137,6
Junho 2019	158	127,5
Julho 2019	248	46,2
Agosto 2019	245	68,7

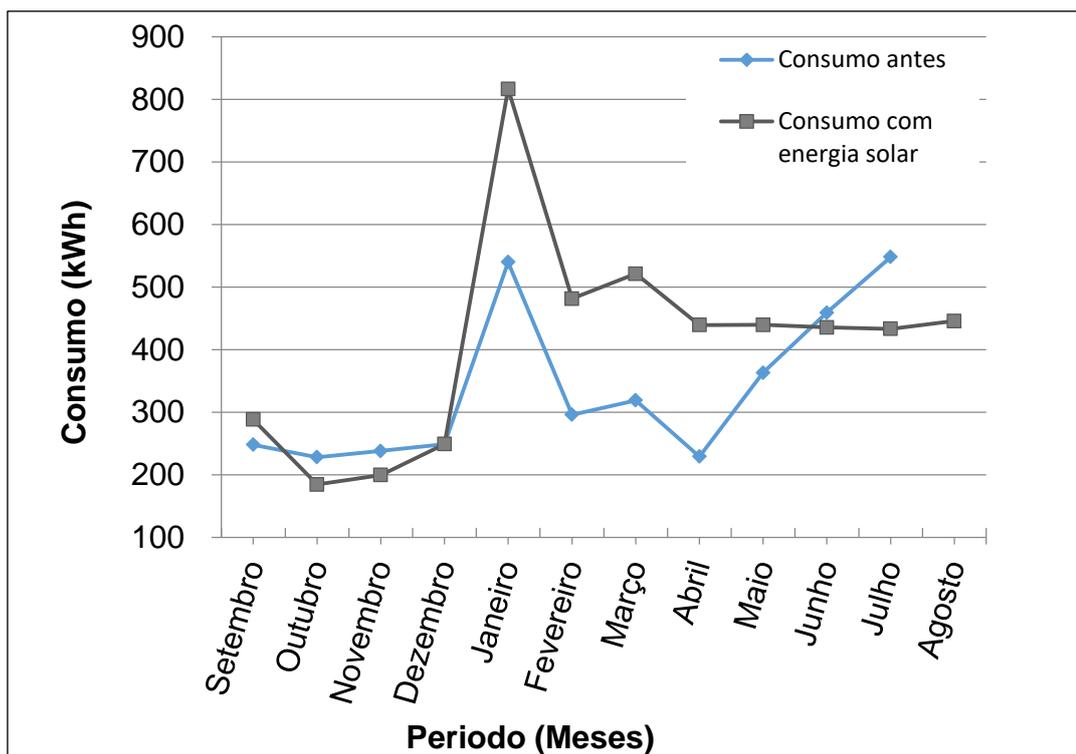
Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se, na Tabela 8, que nos meses de verão, a energia consumida remotamente é maior, ou seja, nos meses onde são utilizados mais equipamentos de grande consumo durante o dia. A vantagem de se consumir remotamente é que não passa pelo medidor, portanto, esse valor não é cobrado pela concessionária e o valor a ser multiplicado pela tarifa será só a energia injetada que é a lida pelo medidor.

### **5.2.2 Consumo de energia**

O comportamento do usuário, em relação ao seu consumo muda, levando em consideração a redução da sua fatura e o conforto de usufruir desse benefício. O Gráfico 3 mostra uma análise realizada com base no consumo da residência, onde percebe-se que, no ano em que sistema fotovoltaico foi instalado, o consumidor obteve um aumento no seu consumo, sendo mais visível em meses de verão, onde o conforto térmico se torna necessário.

Gráfico 3 – Comparativo de dados de consumo de energia elétrica



Fonte: Autor

Na Tabela 9 é mostrado que o consumidor teve um aumento de consumo durante o período do primeiro ano (dados obtidos através de análise das faturas), evidenciando no APÊNDICE B.

Tabela 9 – Dados do consumo de energia elétrica

Período	Consumo (kWh)
Ano anterior	4193
Ano analisado	4934,3

Fonte: Autor

Através da Tabela 9 constata-se um aumento de consumo de 741,3 kWh, no ano em que foi instalado o sistema fotovoltaico.

### 5.3 Comparação dos dados econômicos

A parte de análise econômica do projeto foi realizada com auxílio do *software* Microsoft Excel, utilizando as ferramentas da engenharia econômica. Foi calculado o tempo de retorno considerando o horizonte de 25 anos, conforme a garantia de

produção estimada pelo fabricante dos módulos fotovoltaicos, e utilizando TMA de 13% ao ano.

O investimento inicial do sistema fotovoltaico foi no valor de R\$ 19.741,87 e que foi quitado durante o ano 1. Cabe lembrar que, através dos resultados da parte técnica, disponibilizados pela empresa, foi possível calcular e comparar os resultados econômicos do projeto. Com os dados disponibilizados nas faturas de energia foi possível comparar os valores pagos em duas situações, considerando a residência sem sistema fotovoltaico e, após, com o sistema fotovoltaico instalado, obtendo a diferença monetária durante o primeiro ano de funcionamento.

Para a comparação chegar mais próxima do real, a fatura mensal de energia foi acrescida das bandeiras tarifárias vigentes em cada mês e, também, a taxa de iluminação pública.

Os valores das tarifas (TE e TUSD), do ICMS, PIS/PASEP e COFINS têm como base a concessionária local. Considerando a residência sem sistema fotovoltaico, foram utilizadas as Equações 6 e 7:

$$TUSD_{FORNECIDA}(R\$/kWh) = \frac{\text{Valor da TUSD publicada pela ANEEL}}{1-(PIS+COFINS)} \quad \dots(6)$$

$$TE_{FORNECIDA}(R\$/kWh) = \frac{\text{Valor da TE publicada pela ANEEL}}{1-(PIS+COFINS+ICMS)} \quad \dots(7)$$

Onde o valor final é calculado pela equação 8:

$$\begin{aligned} \text{Valor Energia Fornecida (R\$)} &= \text{Consumo (kWh)} * TUSD_{FORNECIDA}(R\$/kWh) \quad \dots(8) \\ &+ \text{Consumo (kWh)} * TE_{FORNECIDA}(R\$/kWh) \end{aligned}$$

Já, para o cálculo da fatura com sistema fotovoltaico, a leitura do medidor bidirecional foi feita através da energia fornecida com a energia injetada, sendo utilizadas as mesmas equações de um sistema sem energia fotovoltaica para o cálculo da energia fornecida. Já, no cálculo da geração, foi utilizada a equação (9) e, para o cálculo do valor da energia injetada, seguiu-se como mostra a equação (10):

$$TE_{INJETADA}(R\$/kWh) = TE_{FORNECIDA}(R\$/kWh) \quad \dots(9)$$

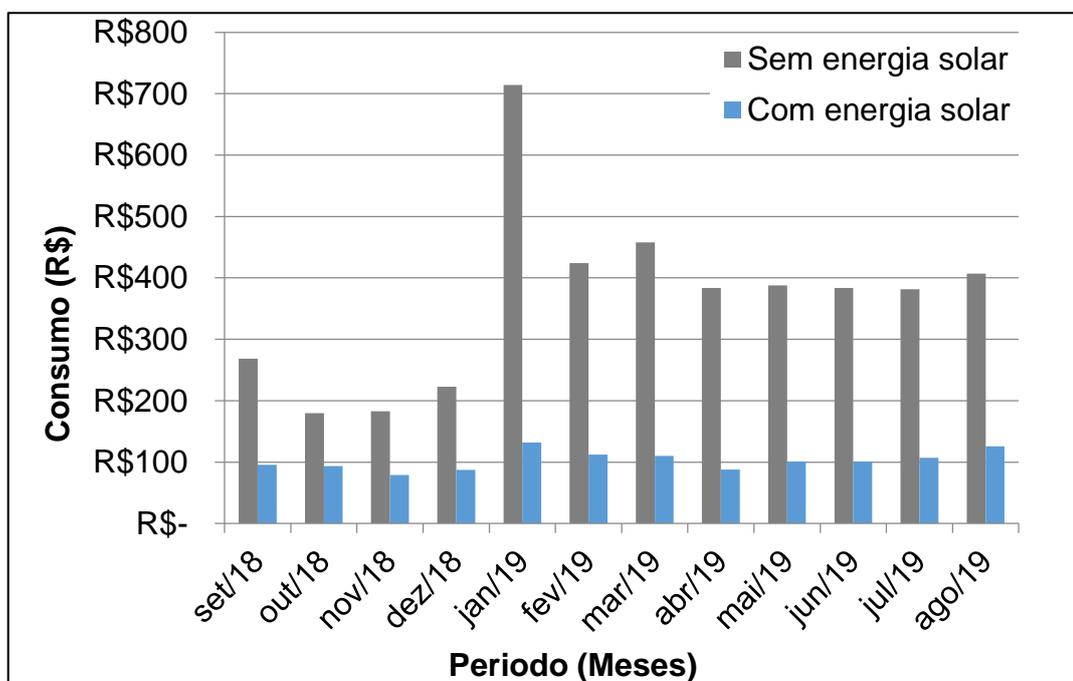
$$\begin{aligned} \text{Valor Energia Injetada (R\$)} = & (\text{Consumo (kWh)} * TUSD_{\text{FORNECIDA}}(\text{R\$/kWh})) * (\text{PIS} + \text{COFINS}) \quad (10) \\ & + \text{Geração (kWh)} * TUSD (\text{R\$/kWh}) + \text{Geração (kWh)} * TE_{\text{INJETADA}}(\text{R\$/kWh}) \end{aligned}$$

Note que, para o caso da geração (energia injetada), a TUSD não é isenta de ICMS, o que faz a geração não abater totalmente o valor cobrado pela TUSD fornecida. Observa-se que o valor final da fatura foi calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Valor Final (R\$)} = & \text{Valor Energia Fornecida (R\$)} - \text{Valor Energia Injetada (R\$)} \quad (11) \\ & + \text{Valor Custo de Disp. (R\$)} + \text{Iluminação Pública} \end{aligned}$$

A residência possui ligação bifásica com a rede, sendo considerado, então, o custo de disponibilidade de 50 kWh. O Gráfico 4, gerado a partir dos dados do Apêndice C, mostra os dados calculados das faturas eletrônicas da concessionária local, sem sistema fotovoltaico e com sistema fotovoltaico, considerando as bandeiras tarifárias e a iluminação pública de cada mês. As bandeiras tarifárias e a iluminação pública foram analisadas e lançadas na planilha de custos, mês a mês, através dos dados disponíveis nas faturas de energia referentes ao período dos 12 meses analisados.

Gráfico 4 – Comparativo de dados da fatura de energia elétrica



Fonte: Autor

É possível fazer uma comparação com os dados de orçamento da empresa que instalou o sistema com os dados executados pelo cliente, onde é possível ver: (1) o quanto se deixou de pagar (valor economizado anualmente em reais – R\$) com a fatura de energia elétrica fornecida pela concessionária local no primeiro ano de funcionamento do sistema fotovoltaico; e (2) a estimativa de redução nos próximos anos na Tabela 10.

Tabela 10 – Valor economizado anualmente com a fatura de energia elétrica (em reais – R\$)

	<b>Empresa executora</b>	<b>Análise executada</b>
Retorno no primeiro ano (R\$)	R\$ 3.346,66	R\$ 3.174,22
Retorno a partir do segundo ano (R\$)	R\$ 3.617,10	R\$ 3.742,80

Fonte: Autor

Nota-se, pela Tabela 10, que no primeiro ano o retorno dimensionado pela empresa foi de R\$ 3.346,66, conforme apresentado no APÊNDICE E. O valor obtido através da análise executada no primeiro ano (considerando dados obtidos pela análise das faturas) foi de R\$ 3.174,22 como consta no APÊNDICE C. O motivo desta diferença deve-se ao fato de que a empresa considerou o sistema em sua potência total e a análise executada levou em consideração o sistema com menor potência nos primeiros 4 meses; todavia, ao estimar o retorno para o segundo ano, o autor deste trabalho obteve o valor de R\$ 3.742,80 (mostrado no APÊNDICE D), sendo este maior do que o estimado pela empresa executora.

Outro fator importante levado em conta é o reajuste tarifário médio anual da concessionária sob o valor da fatura para os anos posteriores do primeiro ano de geração. A empresa realizou um estudo no ano vigente e utilizou 6% a.a como correção da energia elétrica, adotado também para a análise executada.

Existe também, uma degradação entre 0,5% e 1% na potência dos módulos fotovoltaicos, sendo garantida a potência de pico mínima de 90% de potência nominal para os 10 a 12 primeiros anos de funcionamento (PINHO; GALDINO,2014). Os valores adotados para degradação dos painéis foram de 0,7% disponibilizado e utilizado nos cálculos da empresa.

Já o inversor de frequência possui uma vida útil de 15 anos, sendo necessário realizar a compra e troca por um novo. O inversor utilizado possui potência de 3000W, que, nos dias de hoje custa em torno de R\$ 6.000,00.

Logo, no 15º ano do projeto foi considerado o valor do inversor como saída de caixa, considerando o valor atual reajustado através do Índice Geral de Preços do mercado IGP-M de 4,95% ao ano. (IGP-M,2019).

Na Tabela 11 apresenta as premissas utilizadas para análise executada (dados reais) e as premissas da empresa (dados projetados).

Tabela 11 – Comparação das premissas utilizadas para análise do estudo

<b>Premissas comparadas</b>	<b>Projeto executado (dados reais)</b>	<b>Projeto dimensionado pela empresa</b>
Custo da energia	R\$ 0,85287555	R\$ 0,722221
Degradação dos painéis	0,70% a.a	0,70% a.a
Custo de manutenção/Ano	0,50% a.a	0,50% a.a
Correção anual do preço da energia elétrica	6% a.a	6% a.a
TMA	13%	13%
Custo total	R\$ 19.741,81	R\$ 19.741,81
Ano troca do inversor	15	15
Custo da troca do inversor no 15º ano	R\$ 12.384,77	R\$ 12.384,77

Fonte: Autor

É importante dizer que o valor do custo da energia utilizado pela empresa no ano de 2018 é diferente do utilizado hoje em dia, onde a empresa considera o imposto que é cobrado de ICMS (aproximadamente R\$ 0,11 por kWh), incidindo na tarifa da TUSD, de acordo com a revisão bibliográfica.

Foram determinadas as entradas e as saídas do fluxo de caixa e, através das ferramentas financeiras do Excel®, foram obtidos o *Payback* Simples e Descontado, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), de cada projeto. A TMA, adotada pela empresa em seus cálculos, foi de 13% ao ano, considerando a

Taxa Selic que, no ano de 2018, era 7%, adicionada de 6% a.a referente ao risco de negócio.

A Tabela 12 mostra os valores encontrados através das planilhas do *software* Excel®, que auxiliaram na construção do fluxo de caixa, bem como, nas ferramentas econômicas utilizadas para determinar a viabilidade econômica do projeto. Os dados de origem, nos quais proporcionaram os valores demonstrados nesta tabela, estão disponibilizados no Apêndice D e no Apêndice E.

Tabela 12 – Comparativo de dados do projeto dimensionado *versus* executado

<b>Parâmetros econômicos</b>	<b>Projeto executado (dados reais)</b>	<b>Projeto dimensionado pela empresa</b>
TMA	13%	13%
VPL	R\$ 14.174,27	R\$ 15.051,47
TIR	22%	22,15%
<i>PAYBACK SIMPLES</i>	5 anos e 1 mês	5 anos e 2 meses

Fonte: Autor

De acordo com os dados demonstrados na Tabela 12, nota-se que o VPL e a TIR tiveram uma pequena diferença nos valores dimensionados pela empresa e que os valores executados, onde se considera uma diferença aceitável, levando em consideração a diferença de valores nos quatro meses iniciais do Ano 1.

Tinha-se como premissa que, se o  $VPL > 0$ , o investimento é recuperado com taxa mínima de atratividade, ou seja, o projeto cobre o investimento inicial e ainda se tem um excedente de retorno, e, portanto, o projeto é viável. Ademais, conforme mencionado na revisão bibliográfica, se a TIR for maior que a TMA adotada, o projeto é viável. Tanto o VPL, quanto a TIR confirmaram a viabilidade econômica do projeto.

Os resultados encontrados mostram que o projeto é viável economicamente, assim como foram os estudos realizados por Miranda (2014), Pscheidt (2017), Gonçalves (2018), Tarone (2018) e Rorig (2019).

A empresa não faz o cálculo do *Payback* Descontado, mas sim o cálculo do *Payback* Simples. Diante disso, na presente pesquisa foi calculado o *Payback* Descontado, a partir dos dados expostos no APÊNDICE D, encontra-se um *Payback* Descontado no período entre 7 e 8 anos. Este cálculo do retorno é considerado mais próximo da realidade e confiável, pois leva em consideração o valor do dinheiro no

tempo; diante disso, com a TMA de 13% a.a. e com a energia atualizada no ano de 2019, no valor de R\$ 0,85287555, se obteve um prazo de retorno do investimento entre 7 e 8 anos, e não, em 5 anos, como demonstrado pelo cálculo do *Payback* Simples.

## 6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme visto, os efeitos de um bom dimensionamento e, conseqüentemente, uma boa instalação e manutenção, são fatores que influenciam diretamente no retorno do investimento de um sistema fotovoltaico.

Diante o exposto, este trabalho apresentou à análise técnica-econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede, localizado na cidade de Alegrete-RS. O principal objetivo consistiu na comparação de dados técnicos e econômicos do projeto, levando em consideração os dados dimensionados pela empresa contratada *versus* os dados executados no primeiro ano de funcionamento.

A análise técnica foi obtida por dados disponibilizados pela empresa que determinou os dados estimados de geração, baseados na irradiação local. O estudo mostrou que os resultados da geração dimensionados pela empresa, ficaram abaixo dos dados executados no primeiro ano, concluindo-se, assim, que a empresa foi segura e coerente nos cálculos.

Na análise econômica, através do auxílio do software Microsoft Excel® e da Engenharia Econômica, foi possível determinar a viabilidade econômica do projeto, em um horizonte de 25 anos, com o auxílio das ferramentas de VPL, TIR, *Payback* Simples e *Payback* Descontado.

Ao final, o estudo do projeto deixou evidente uma mínima diferença de valores projetados e analisados, de VPL e TIR, que, por se tratar de um sistema que foi aumentado a partir do quarto mês de funcionamento, a empresa levou em conta os dados do projeto como um todo e a análise executada foi feita levando em conta os primeiros quatro meses com o sistema em menor tamanho. Ademais, a diferença do valor do custo da energia utilizado pela empresa é diferente do utilizado hoje em dia, e isso também contribuiu para esses valores apresentarem esta pequena diferença.

Cabe enfatizar que os resultados confirmaram ser economicamente viável a execução do projeto com a avaliação feita pelas ferramentas da Engenharia Econômica mencionadas neste trabalho. Onde, o  $VPL > 0$  e a  $TIR > TMA$ , confirmando o propósito do cliente e da empresa em ter feito um investimento em um projeto que é economicamente viável.

Conclui-se que, apesar de mínimas diferenças nos valores econômicos, a empresa foi conservadora em seus resultados, onde, na parte técnica, teve dados executados maiores que projetados e, na parte econômica, demonstrou que o sistema

é viável e que o retorno no primeiro ano executado foi coerente com o projetado pela mesma.

Fica como sugestão para empresas que desenvolvem a instalação de sistemas fotovoltaicos, que elas realizem o cálculo do retorno do investimento pelo *Payback* Descontado, por esta ferramenta proporcionar um valor mais confiável, considerando o valor do dinheiro no tempo.

Ademais, vale dizer que, após a realização de uma pesquisa, surge a possibilidade em que ela possa ser realizada com novos enfoques, ou até mesmo novos temas de pesquisa surgem diante da revisão bibliográfica realizada. Diante disso, ficam também como sugestões, para a realização de novos trabalhos acadêmicos, as seguintes:

- analisar técnica e economicamente sistemas fotovoltaicos considerando o ano da troca do inversor;
- estudar a viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos isolados;
- estudar a viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos com o investimento inicial realizado por meio de financiamento e considerando os reajustes da tarifa de energia conforme os índices adotados pelas concessionárias e o reajuste do valor (da troca) do inversor pelo Índice Geral de Preços - Mercado (IGP-M). Ademais, procurando utilizar uma TMA conforme o perfil do investidor.
- por fim, sugere-se que este estudo seja replicado em um projeto que já esteja em funcionamento, em um período maior do que a análise realizada no presente estudo (1 ano), se possível, há mais de 15 anos, pois já teria ocorrida a troca de inversor.

## REFERÊNCIAS

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 10 Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 35 Trabalho em Altura**. Rio de Janeiro, 2012.

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Infográfico ABSOLAR**. São Paulo-SP, 2019.

ALMEIDA, Marcelo Pinho, **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2012. Programa de Pós Graduação em Energia da Universidade Federal de São Paulo, São Paulo-SP, 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. **Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências**.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. **Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST**.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa nº 794, de 2018. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2016.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa, 482/2012**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/> > Acesso em 12/09/2019.

ANEEL. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2º Edição, São José dos Campos-SP, 2017.

BALARINE, O. F. O. **Tópicos de matemática financeira e engenharia econômica** 2. Ed. Revista e ampliada. Porto Alegre-RS: EDIPUCRS, 2004

BORDEAUX-REGO, R. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. [S.l.]: Editora FGV, 2010.

BRAGA, R. **Fundamentos e técnicas de administração financeira**. São Paulo: Atlas, 1989.

BUARQUE, C. **Avaliação Econômica de Projetos**: uma apresentação didática. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

CAMARGO, C. **Análise de investimentos & demonstrativos financeiros**. São Paulo: Ibpex, 2007.

CARVALHO, A. **Metodologia para análise, caracterização e simulação de células fotovoltaicas**. 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

CASAROTTO F. N **Elaboração de projetos empresariais: análise estratégica, estudo de viabilidade e plano de negócio**. São Paulo: Atlas, 2011.

CASAROTTO F. N.; KOPITCKE, Bruno H. **Análise de Investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 11ª Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CLEMENTE, A. **Projetos Empresariais e Públicos**. São Paulo: Atlas, 2008.

CONFAZ – Conselho Nacional de Política Fazendária, Convênio ICMS nº 16, de 22 de abril de 2015. **Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.**

CONFAZ – Conselho Nacional de Política Fazendária, Convênio ICMS nº 42, de 16 de maio de 2018. **Altera o Convênio ICMS nº 16, de 22 de abril de 2015.**

CONFAZ – Conselho Nacional de Política Fazendária, Convênio ICMS nº 130, de 4 de novembro de 2015. **Dispõe sobre a adesão dos Estados da Bahia, Maranhão e Mato Grosso e do Distrito Federal ao Convênio ICMS 16/15, que autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.**

CÔRTEZ, J. G. P. **Introdução à economia da engenharia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

DAMODARAN, A. **Finanças Corporativas: Teoria e Prática**. 2. Ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2004.

DELTA SOLAR, **Engenharia e Energias Renováveis**. 2018, Disponível em: <https://microgeracaofv.wordpress.com/2017/04/14/monitoramento-para-sistemas-fotovoltaicos-qual-sua-importancia/>, Acesso em 12/09/2019.

EHRlich, P. J; MORAES, E. A. **Engenharia Econômica: Avaliação e Seleção de Projetos de Investimento**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

ELETRA Energy solutions. Ceará, 2016, Disponível em: <http://www.eletraenergy.com/br/>, Acesso em 12/09/2019.

ESCO-GD. **Tecnologia em Energia**. Alegrete-RS, 2019

FAGUNDES, A. R. **Avaliação do potencial de geração e viabilidade econômica de usinas solares no Brasil**. 124 p. Monografia (Especialização) — Fundação Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Especialização em Engenharia Econômica, Alegrete, 2019.

FERREIRA, R. 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, F. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento**. São Paulo, SP: Atlas, 2008.

GASPARIN, Desempenho de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel. **Revista Brasileira de Energia Solar**, V. VIII, Ano 8, p.10-17,2017.

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

GONÇALVES, L. P. **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**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pampa, Alegrete-RS, 2018.

Greener: **Energias renováveis no Brasil e no mundo**. E-book. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/ebooks/e-book-01-energias-renovaveis-no-brasil-e-no-mundo>>. Acesso em: 12 Set. 2019.

IGP-M. **Índice Geral de Preços – Mercado**. Disponível em: <<https://www.portalbrasil.net/igpm.htm>>. Acesso em: 10 Nov. 2019, 14:31.

IPEA. **Taxa de juros - Selic - fixada pelo Comitê de Política Monetária (Copom)**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 23 Out. 2019, 20:34.

KUHN, R.L. **Rastreamento diário e anual dos níveis máximos de radiação solar para otimização da produção fotovoltaica**. 2013. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Pampa, Alegrete-RS, 2013.

KUHNEN, O. L; BAUER, U. R. **Matemática Financeira Aplicada e Análise de Investimentos**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 1996.

LAPPONI, J.C. **Projetos de Investimento**: construção e avaliação do fluxo de caixa: modelos em excel. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 2000.

MACHADO, **Energia Solar Fotovoltaica**: uma Breve Revisão, Data da publicação na web: 14 Outubro de 2014.

- MARQUES, V.C. **Modelagem de Painel Fotovoltaico Submetido a Sombreamento e Conectado à Rede Elétrica Monofásica**. 2017. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2017.
- MELO, E. G. **Geração solar fotovoltaica: estimativa do fator de sombreamento e irradiação em modelos tridimensionais de edificações**. 2012. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.
- MIRANDA, A. B.. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede**. 2014. Projeto de Graduação – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2014.
- NEOSOLAR Energia. **Energia Solar Fotovoltaica**. São Paulo-SP, 2019.
- OLIVEIRA, L.. **Avaliação de fatores que influenciam na estimativa da geração e operação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 2017. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.
- PAMPLONA, E.O; MONTEVECHI, J.A.B. **Engenharia Econômica I – Análise de investimetos**. S.l., 2000. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/engenharia-economica-2-2/4753429/>>. Acesso em: 20 set. 2019.
- PASSOS, F. L.. **Metodologia e ferramenta computacional para estudo da viabilidade técnica e econômica de um sistema de Microgeração fotovoltaica**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul rio-grandense, Pelotas-RS, 2016.
- PINHO, J. T., GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014. 530 p.
- PORTAL SOLAR. **Tudo sobre energia solar fotovoltaica**. São Paulo-SP, 2018, Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br>>. Acesso em 12/09/2019.
- PSCHEIDT, C. E.. **Análise da viabilidade econômica e dimensionamento associado à implementação de painéis fotovoltaicos em uma edificação vertical de Joinville**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville-SC, 2017.
- REIS, T. **TIRM: entenda como funciona a Taxa Interna de Retorno Modificada**. 2019. Disponível em: <<https://www.sunoresearch.com.br/artigos/tirm/>>. Acesso em: 20 set. 2019.
- REITER, R. D. **Análise e projeto de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos parcialmente sombreados**. 2016. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS 2016.
- RORIG, T. **Análise comparativa da viabilidade econômica de sistema fotovoltaico conectado à rede considerando a mesma residência em cidades diferentes**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pampa, Alegrete-RS, 2019.

SICES SOLAR. **Energia do futuro**. Itapevi-SP, 2019, Disponível em: <<https://sicesolar.com.br>>. Acesso em 12/09/2019.

SOLLARKO. **Soluções Energéticas**. Belo Horizonte-MG, 2019.

TARONE, L. B. **Viabilidade econômica de um sistema de compensação de energia elétrica produzida por painéis fotovoltaicos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pampa, Alegrete-RS, 2018.

VERAS, L.L. **Matemática Financeira**. São Paulo: Atlas, 2001.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações - Sistemas isolados e conectados à rede**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015. 224 p.

VILLAMARIM, J.A, **Análise da viabilidade técnica-econômica de um sistema eólico-fotovoltaico com conexão à rede elétrica suprimindo uma estação rádio base de telefonia celular no estado de São Paulo-SP**. 2016. Dissertação de Mestrado – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2016.

ZILLES, R. et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 1 ed. São Paulo-SP: Editora Oficina de Textos, 2015.

### APÊNDICE A – Tabela de geração de energia elétrica

Mês	Monitoramento Inversor (kWh)	Dimensionada empresa (kWh)
Agosto 2018	273,4	282
Setembro 2018	311,5	297
Outubro 2018	401,5	316
Novembro 2018	406,1	354
Dezembro 2018	575,8	535
Janeiro 2019	505,4	519
Fevereiro 2019	539,2	488
Março 2019	538,4	488
Março 2019	386,6	424
Mai 2019	285,5	399
Junho 2019	294,2	336
Julho 2019	313,7	376
<b>TOTAL</b>	<b>4831,3</b>	<b>4814</b>

Fonte: Autor

**APÊNDICE B – Tabela de consumo antes e depois da instalação do sistema**

Mês	Consumo ano anterior (kWh)	Consumo com energia solar (kWh)
Setembro 2017	248	288,4
Outubro 2017	228	184,5
Novembro 2017	238	199,5
Dezembro 2017	249	249,1
Janeiro 2018	540	816,8
Fevereiro 2018	296	481,4
Março 2018	319	521,2
Março 2018	229	439,4
Maio 2018	363	439,6
Junho 2018	459	435,5
Julho 2018	548	433,2
Agosto 2018	476	445,7
<b>TOTAL</b>	<b>4.193</b>	<b>4.934,3</b>

Fonte: Autor

**APÊNDICE C – Tabela com dados reais economizados na fatura de energia elétrica**

Mês	Consumo sem energia solar (R\$)	Consumo com energia solar (R\$)
Setembro 2018	268,32	95,88
Outubro 2018	179,76	93,78
Novembro 2018	182,93	78,81
Dezembro 2018	222,63	87,17
Janeiro 2019	713,96	131,83
Fevereiro 2019	424,13	112,29
Março 2019	457,65	109,91
Março 2019	383,87	87,59
Maio 2019	387,87	100,97
Junho 2019	383,48	100,78
Julho 2019	381,34	107,17
Agosto 2019	407,21	125,72
<b>TOTAL</b>	<b>4.393,14</b>	<b>1.231,89</b>

Fonte: Autor

## APÊNDICE D – Parâmetros econômicos da análise executada

Premissas	Período	Entradas	Saídas	Fluxo de caixa no período	Fluxo de caixa acumulado	Fluxo de caixa descontado	Fluxo de caixa acumulado descontado
	0	R\$ -	-R\$ 19.741,81	-R\$ 19.741,81	-R\$ 19.741,81	-R\$ 19.741,81	-R\$ 19.741,81
Valor da energia	0,85287555	R\$ 3.278,85	-R\$ 104,63	R\$ 3.174,22	-R\$ 16.567,59	R\$ 2.901,64	-R\$ 16.840,17
	2	R\$ 3.853,71	-R\$ 110,91	R\$ 3.742,80	-R\$ 12.824,80	R\$ 3.018,02	-R\$ 13.822,16
Degradação dos Painéis Outros Anos	0,70%	R\$ 4.056,33	-R\$ 117,56	R\$ 3.938,77	-R\$ 8.886,03	R\$ 2.811,24	-R\$ 11.010,91
Custo de Manutenção/ Ano	0,50%	R\$ 4.269,62	-R\$ 124,62	R\$ 4.145,00	-R\$ 4.741,03	R\$ 2.618,64	-R\$ 8.392,28
Correção do valor da energia / Ano	6,00%	R\$ 4.494,11	-R\$ 132,09	R\$ 4.362,02	-R\$ 379,01	R\$ 2.439,22	-R\$ 5.953,05
TMA	13%	R\$ 4.730,41	-R\$ 140,02	R\$ 4.590,39	R\$ 4.211,38	R\$ 2.272,11	-R\$ 3.680,95
Custo total	R\$ 19.741,81	R\$ 4.979,14	-R\$ 148,42	R\$ 4.830,72	R\$ 9.042,10	R\$ 2.116,44	-R\$ 1.564,51
Ano troca do inversor	15	R\$ 5.240,94	-R\$ 157,33	R\$ 5.083,61	R\$ 14.125,71	R\$ 1.971,43	R\$ 406,92
Custo troca do inversor	R\$ 12.384,77	R\$ 5.516,51	-R\$ 166,77	R\$ 5.349,74	R\$ 19.475,46	R\$ 1.836,36	R\$ 2.243,28
	10	R\$ 5.806,57	-R\$ 176,77	R\$ 5.629,80	R\$ 25.105,25	R\$ 1.710,55	R\$ 3.953,83
	11	R\$ 6.111,88	-R\$ 187,38	R\$ 5.924,50	R\$ 31.029,75	R\$ 1.593,35	R\$ 5.547,18
	12	R\$ 6.433,24	-R\$ 198,62	R\$ 6.234,62	R\$ 37.264,37	R\$ 1.484,19	R\$ 7.031,37
	13	R\$ 6.771,50	-R\$ 210,54	R\$ 6.560,96	R\$ 43.825,33	R\$ 1.382,50	R\$ 8.413,87
	14	R\$ 7.127,55	-R\$ 223,17	R\$ 6.904,37	R\$ 50.729,70	R\$ 1.287,78	R\$ 9.701,65
VPL	R\$ 14.174,27	R\$ 7.502,31	-R\$ 12.621,33	R\$ 5.119,02	R\$ 45.610,68	R\$ 1.199,55	R\$ 10.901,20
TIR	22%	R\$ 7.896,78	-R\$ 250,76	R\$ 7.646,03	R\$ 53.256,71	R\$ 1.117,37	R\$ 12.016,56
	17	R\$ 8.312,00	-R\$ 265,80	R\$ 8.046,19	R\$ 61.302,91	R\$ 1.040,81	R\$ 13.059,37
	18	R\$ 8.749,04	-R\$ 281,75	R\$ 8.467,29	R\$ 69.770,20	R\$ 969,50	R\$ 14.028,88
	19	R\$ 9.209,07	-R\$ 298,65	R\$ 8.910,41	R\$ 78.680,61	R\$ 903,08	R\$ 14.931,95
	20	R\$ 9.693,28	-R\$ 316,57	R\$ 9.376,70	R\$ 88.057,31	R\$ 841,20	R\$ 15.773,16
	21	R\$ 10.202,95	-R\$ 335,57	R\$ 9.867,38	R\$ 97.924,70	R\$ 783,57	R\$ 16.556,73
	22	R\$ 10.739,42	-R\$ 355,70	R\$ 10.383,72	R\$ 108.308,42	R\$ 729,89	R\$ 17.286,62
	23	R\$ 11.304,10	-R\$ 377,04	R\$ 10.927,06	R\$ 119.235,47	R\$ 679,88	R\$ 17.966,49
	24	R\$ 11.898,47	-R\$ 399,67	R\$ 11.498,80	R\$ 130.734,28	R\$ 633,30	R\$ 18.599,79
	25	R\$ 12.524,09	-R\$ 423,65	R\$ 12.100,45	R\$ 142.834,72	R\$ 589,91	R\$ 19.189,70

Fonte: Autor

## APÊNDICE E – Parâmetros econômicos utilizados pela empresa

Período	kW/Ano/Wp	Energia Gerada (kW)	Entradas	Saídas	Fluxo de caixa no período	Fluxo de caixa acumulado
0	0	0	0	-R\$ 19.941,87	-R\$ 19.941,87	-R\$ 19.941,87
1	1.736,80	5.437,32	R\$ 3.449,36	-R\$ 102,70	R\$ 3.346,66	-R\$ 16.595,21
2	1.736,80	5.361,47	R\$ 3.722,88	-R\$ 105,78	R\$ 3.617,10	-R\$ 12.978,11
3	1.736,80	5.323,94	R\$ 3.956,03	-R\$ 108,96	R\$ 3.847,08	-R\$ 9.131,03
4	1.736,80	5.286,67	R\$ 4.201,18	-R\$ 112,22	R\$ 4.088,96	-R\$ 5.042,07
5	1.736,80	5.249,66	R\$ 4.458,97	-R\$ 115,59	R\$ 4.343,38	-R\$ 698,70
6	1.736,80	5.212,92	R\$ 4.730,05	-R\$ 119,06	R\$ 4.610,99	R\$ 3.912,29
7	1.736,80	5.176,43	R\$ 5.015,12	-R\$ 122,63	R\$ 4.892,49	R\$ 8.804,78
8	1.736,80	5.140,19	R\$ 5.314,93	-R\$ 126,31	R\$ 5.188,62	R\$ 13.993,41
9	1.736,80	5.104,21	R\$ 5.630,25	-R\$ 130,10	R\$ 5.500,15	R\$ 19.493,56
10	1.736,80	5.068,48	R\$ 5.961,90	-R\$ 134,00	R\$ 5.827,90	R\$ 25.321,46
11	1.736,80	5.033,00	R\$ 6.310,74	-R\$ 138,02	R\$ 6.172,72	R\$ 31.494,18
12	1.736,80	4.997,77	R\$ 6.677,67	-R\$ 142,16	R\$ 6.535,51	R\$ 38.029,69
13	1.736,80	4.962,78	R\$ 7.063,65	-R\$ 146,43	R\$ 6.917,23	R\$ 44.946,92
14	1.736,80	4.928,05	R\$ 7.469,69	-R\$ 150,82	R\$ 7.318,87	R\$ 52.265,79
15	1.736,80	4.893,55	R\$ 7.896,82	-R\$ 154,01	R\$ 7.718,87	R\$ 59.984,66
16	1.736,80	4.859,29	R\$ 8.346,18	-R\$ 160,00	R\$ 8.186,18	R\$ 68.170,84
17	1.736,80	4.825,28	R\$ 8.818,93	-R\$ 164,80	R\$ 8.654,12	R\$ 76.814,96
18	1.736,80	4.791,50	R\$ 9.316,29	-R\$ 169,75	R\$ 9.146,54	R\$ 85.961,50
19	1.736,80	4.757,96	R\$ 9.839,57	-R\$ 174,84	R\$ 9.664,73	R\$ 95.696,23
20	1.736,80	4.724,66	R\$ 10.390,13	-R\$ 180,09	R\$ 10.210,04	R\$ 106.006,27
21	1.736,80	4.691,58	R\$ 10.969,41	-R\$ 185,49	R\$ 10.783,92	R\$ 116.789,19
22	1.736,80	4.658,74	R\$ 11.578,91	-R\$ 191,05	R\$ 11.387,86	R\$ 128.177,05
23	1.736,80	4.626,13	R\$ 12.220,23	-R\$ 196,79	R\$ 12.023,45	R\$ 140.199,50
24	1.736,80	4.593,75	R\$ 12.895,05	-R\$ 202,69	R\$ 12.692,36	R\$ 152.891,86
25	1.736,80	4.561,59	R\$ 13.605,12	-R\$ 208,77	R\$ 13.396,35	R\$ 166.488,21
<b>Premissas</b>						
Valor da energia		R\$ 0,72				
Degradação do Painéis Ano 1		1,40%				
Degradação outros anos		0,70%				
Custo de Manutenção / Ano		0,50%				
Inflação Projetada		3%				
Inflação Energética Projetada		6%				
Ano de troca do Inversor		15				
Custo de Inversor no ano 15		R\$ 12.384,67				
TMA		13%				
<b>Outputs e Resultados</b>						
Payback Ano		5				
VPL		R\$ 15.051,47				
TIR		22,15%				

Fonte: Esco-GD