



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**DJON LENNON DA SILVA**

**WILLIAN DA SILVA SILVEIRA**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA  
EM RESIDÊNCIA**

**Tubarão**

**2018**

**DJON LENNON DA SILVA**  
**WILLIAN DA SILVA SILVEIRA**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA  
EM RESIDÊNCIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial  
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Orientador: Prof<sup>o</sup>. Gil Félix Madalena.

Tubarão  
2018

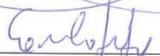
**DJON LENNON DA SILVA**  
**WILLIAN DA SILVA SILVEIRA**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA**  
**EM RESIDÊNCIAS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, (27) de (11) de (2018).

  
\_\_\_\_\_  
Professor e orientador Gil Félix Madalena, Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Emílio Souza, Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Eng. Eletricista Maxciel Neto Mendes.

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares que estiveram ao nosso lado proporcionando força total para seguir em frente, nossos amigos parceiros que não medem esforços pra dar uma mão nas horas necessitadas. Agradecemos todos os dias a Deus por esta oportunidade de poder construir minimizando a destruição do meio ambiente.

## **AGRADECIMENTOS**

Convenhamos aqui, nosso mero agradecimento primeiramente a Deus e a todos que independentemente de pequenas ou grandes ações, tornaram possível este trabalho. Agradecemos de bom coração a quem se persuadir à esta tecnologia em estudo, ficaríamos imensamente felizes por ser motivo de inspiração ao cuidado do nosso habitat, pois tal tecnologia conhecida por poucos e elogiada por muitos, se faz proporcional a uma revolução energética, capacitando a inovação nacional, que por timidez dos incentivos de poderes maiores, se mostra com enorme potencial de crescimento em vista de que não é abraçada por toda população.

“O sucesso é uma consequência e não um objetivo” (Gustave Flaubert).

## RESUMO

Na medida em que a população cresce, a demanda energética consequentemente aumenta. Meios sustentáveis são a alternativa escolhida, sendo uma delas a geração de energia solar fotovoltaica. Por meio de análises financeiras como: “Pay-Back, T.I.R, VPL”, é possível obter os resultados necessários para identificar a viabilidade econômica da instalação do sistema fotovoltaico.

Por utilizar energia proveniente do Sol, que é exuberante diariamente em muita área privilegiada no recebimento de radiação solar, transformando-a em energia elétrica, essencial a suprir necessidades diárias, utilizando Painéis Fotovoltaicos, gerando energia, utilizando sistema gerador interligado a rede (On-Grid) de distribuição de concessionárias.

Através dos estudos de análises financeiras, conseguimos obter resultados expressivos e positivos sobre a geração de energia solar fotovoltaica, tendo um tempo de retorno calculado, resultando em valores rápidos se tratando de retorno do investimento executado.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Pay-Back, T.I.R, VPL, On-Grid, Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

As the population grows, the energy demand consequently increases. Sustainable media are the chosen alternative, one of which is the generation of photovoltaic solar energy. By means of financial analyzes such as "Pay-Back, T.I.R, VPL", it is possible to obtain the results necessary to identify the economic viability of the installation of the photovoltaic system.

By using energy from the Sun, which is daily exuberant in a privileged area in the reception of solar radiation, transforming it into electrical energy, essential to supply daily necessities, using Photovoltaic Panels, generating energy, using generator system connected to the grid (On- Grid) of distribution of concessionaires.

Through the financial analysis studies, we have been able to obtain expressive and positive results on the generation of photovoltaic solar energy, having a calculated time of return, resulting in quick values when it comes to return on the investment executed.

**Keywords ou Mots-clés ou Palabras-clave:** Photovoltaic Solar Energy, Pay-back, T.I.R, NPV, On-Grid, Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Órbita da Terra.....	25
Figura 2 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica. ....	26
Figura 3 - Célula de silício Monocristalino. ....	27
Figura 4 - Célula de silício Policristalina. ....	28
Figura 5 - Célula de silício amorfo. ....	30
Figura 6 - Medidor eletrônico bidirecional.....	31
Figura 7 - Módulo fabricado pela empresa Kyosera. ....	32
Figura 8 - Módulo fabricado pela empresa Siemens. ....	32
Figura 9 - Funcionamento de um sistema solar fotovoltaico. ....	34
Figura 10 - Localização geográfica da residência em estudo. ....	40
Figura 11 - Ilustração fachada frontal da residência em pauta. ....	40
Figura 12 - Vista do sistema fotovoltaico instalado. ....	41

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Levantamento de valores nos últimos 10 anos.....	43
Gráfico 2 - Fluxo de caixa acumulado.....	46
Gráfico 3 - Fluxo de caixa descontado .....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - levantamento de gasto energético.....	41
Tabela 3 - Valores de consumo e geração .....	44
Tabela 2 - Payback simples e descontado. ....	45

## LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
A-Si	Silício Amorfo
C.a.	Corrente alternada
C.c.	Corrente contínua
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Cobre, Índio, Gálio e Selênio
CIS	Copper, Iridium e Selenium
CPV	Concentrator Photovoltaics
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
CSI	Current Source Inverter
DSSC	Dye Sensitized Solar Cell
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
kW	kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
MIT	Massachusetts Institute of Technology
OPV	Organic Photovoltaic
PWM	Pulse Width Modulation
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede
SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado
C – si	Silício Cristalino
M – si	Silício monocristalino
P – si	Silício policristalino
TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa mínima de atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
VSI	Voltage Source Inverter

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA .....	16
1.2	OBJETIVO .....	17
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>18</b>
1.3	RELEVÂNCIA BIBLIOGRÁFICA .....	18
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	23
<b>2.1.1</b>	<b>Radiação solar .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Efeito fotovoltaico.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Tipos de células.....</b>	<b>26</b>
2.1.3.1	Monocristalina .....	26
2.1.3.2	Policristalina .....	28
2.1.3.3	Amorfo .....	29
2.2	MEDIDOR BIDIRECIONAL .....	30
2.3	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	31
2.4	INVERSORES.....	32
<b>2.4.1</b>	<b>Inversores comutados à rede.....</b>	<b>33</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Inversores auto comutados.....</b>	<b>33</b>
2.5	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE.....	34
<b>2.5.1</b>	<b>Resolução 482/2012 (ANEEL).....</b>	<b>35</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Regulação dos micros e mini geradores de energia de energia elétrica no Brasil.....</b>	<b>35</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Tributos.....</b>	<b>36</b>
2.5.3.1	Bandeiras tarifárias .....	36
2.5.3.2	ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) .....	36
2.5.3.3	PIS/CONFINS .....	37
2.6	VIABILIDADE ECONÔMICA .....	37
<b>2.6.1</b>	<b>Payback.....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Valor presente líquido (VPL).....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Taxa interna de retorno (TIR).....</b>	<b>38</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>

<b>4 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>40</b>
4.1 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	40
4.2 DADOS DO LOCAL EM ESTUDO .....	41
4.3 GASTO DO CONSUMIDOR COM ENERGIA ELÉTRICA.....	41
4.4 CUSTO DE INTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	42
4.5 CALCULO DA VIABILIDADE ECONÔMICA.....	43
<b>4.5.1 Valores reais de geração e consumo .....</b>	<b>43</b>
<b>4.5.2 Payback simples e descontado.....</b>	<b>45</b>
<b>4.5.3 Valor presente líquido (VPL) .....</b>	<b>47</b>
<b>4.5.4 Taxa interna de retorno (TIR) .....</b>	<b>48</b>
<b>4.5.5 Viabilidade econômica .....</b>	<b>48</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os impactos negativos causados pelo homem estão prejudicando o planeta. A constante evolução de tecnologias por criação de materiais cada vez mais duráveis, sem destinação adequada após seu uso, acúmulos de resíduos sólidos, estão sendo depositado em locais inadequados, desde oceanos, solo terrestre e até mesmo o espaço sideral, que não permite a natureza renovar-se em seu ciclo natural, diminuindo a biodiversidade, flora, fauna, enfim, destruindo o bioma. Com o aumento considerável da população, tornam-se necessárias mais residências, conseqüentemente aumentando a impermeabilização do solo, comprometendo o abastecimento das águas subterrâneas, propiciando enchentes, são apenas alguns exemplos dos problemas ambientais. Sustentabilidade é uma alternativa necessária para minimizar a degradação ambiental, qualificando mudanças na extração predatória de recursos naturais para fornecer o conforto do ser humano, reduzindo os impactos negativos que a consumação gera. A ideia de sustentabilidade no mundo é a capacidade de manter-se, ou seja, de utilizar de maneira sustentável, fazendo uso consciente dos recursos naturais, de forma que possam manter a renovação natural, sem agredir o meio ambiente, por vários anos, possibilitando que as gerações futuras da humanidade, desfrutem de no mínimo o mesmo conforto, que temos atualmente.

Com o aumento significativo da demanda de energia elétrica, se faz necessárias opções por novos meios de geração. A geração de Energia Elétrica através do efeito Fotovoltaico, está em foco neste trabalho, uma forma simples, sustentável, realizamos a verificação da viabilidade do estudo de caso em questão, prevemos um investimento inicial considerável, seu retorno financeiro poderá ser visualizado nos estudos a seguir.

Existem vários métodos para poder verificar a viabilidade econômico-financeira do custo de instalação de placas solares fotovoltaicas, algumas técnicas que utilizaremos são o Pay-Back (Prazo de retorno do investimento atual), VPL (Valor presente líquido) e a TIR (Taxa interna de retorno).

### 1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

O aumento constante da população traz a tona, maior demanda energética para alimentar as necessidades da humanidade. É evidente a elaboração de opções para resolver problemas de geração, alternativas tecnológicas mais econômicas, com fontes naturais e renováveis para geração de energia elétrica, visto a dependência a combustíveis fósseis, que já

são finitos, é um dos grandes responsáveis pela mudança climática e poluição global, entre outros inúmeros tipos de agentes poluidores, argumento que necessariamente motiva a mudança de fontes energéticas, diminuindo os efeitos que já são sentidos pela população mundial, e assim viver com qualidade.

O uso da energia solar é uma alternativa viável, pois, seu uso está ligado a várias técnicas de geração de energia. A utilização de um sistema solar fotovoltaico residencial, ou seja, um gerador de energia elétrica solar, concomitante a instalação de um sistema de placas solares fotovoltaicos, abastecendo uma residência. É possível economizar uma quantia considerável em sua conta mensal de energia elétrica, além de se ter geração de energia limpa e renovável, através do tão grandioso e poderoso Sol, disponível diariamente, abrangendo a terra, possibilitando todas as formas de vida existentes. Os escritos anteriores nos levam a determinar como questão central desta investigação: quais as tecnologias de transformação de energia solar em elétrica, posicionando foco em geração fotovoltaica com painéis de silício policristalino, interligados a rede de distribuição nacional, proporcionando lucro financeiro.

## 1.2 OBJETIVO

Integrar meios de trabalho e materiais sustentáveis na construção civil, para um bom aproveitamento e uso de minerais que temos disponível em território nacional, incentivar sua utilização em indústrias, para que possa comercializar os módulos fotovoltaicos, e não somente o minério bruto, em nível de abastecimento nacional e até mundial, de modo a gerar uma valorização do P.I.B. nacional e do imóvel adepto a esta tecnologia. Produção de energia elétrica através da energia solar, tecnologia que permite abastecimento elétrico sem transporte de energia evitando perdas, já que a energia produzida é consumida no mesmo local, no caso das residências, trazendo economia e rendimento. Inovando o método atual de geração de energia elétrica para atender o conforto e as necessidades humanas.

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o custo benefício de placas solares fotovoltaicas para abastecimento de energia elétrica, diminuindo a poluição atmosférica e custo com concessionárias fornecedoras da residência em pauta, variando as fontes de geração energética.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Descrever a utilização do sistema fotovoltaico residencial para transformação de energia solar em elétrica;
- b) Esclarecer a Normatização da ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA) para geração de energia própria através de fontes renováveis;
- c) Executar um estudo de viabilidade econômico-financeira de um sistema fotovoltaico On-Grid, de uma residência unifamiliar conectado à rede pública.

### 1.3 RELEVANÇA BIBLIOGRÁFICA

O tema enfatiza um estudo de caso, impulsionando diversificação energética, transformando energia solar em energia elétrica para consumo, dentre várias tecnologias existentes, tomaremos conhecimento superficial, porém em especial, exemplificando a captação de energia através do efeito fotovoltaico.

Importante racionalizar, para que a humanidade possa conviver no mundo por muitas gerações futuras, sem destruí-lo. Trabalho que serve como fonte de pesquisa a ser consultada, juntamente com outras bibliografias que tratam do mesmo assunto, sugerimos continuidade do estudo utilizando outras tecnologias de efeito fotovoltaico, como placas de silício monocristalino, ou filmes de silício amorfo, etc.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será estruturado em capítulos para facilitar a sua compreensão, que serão apresentados da seguinte forma:

**O capítulo um trará a introdução**, que compreenderá a apresentação das tecnologias de transformação de energia Solar em elétrica, vantagens, a justificativa, os objetivos de trabalho, os procedimentos metodológicos e a estrutura do trabalho.

**O capítulo dois apresentará a revisão da literatura** sobre viabilidade econômica da produção de energia fotovoltaica em residências.

**O capítulo três é apresentado** o estudo de caso.

**No capítulo quatro** irá expor os resultados e discussões do estudo de caso

**O capítulo cinco** elucida qual a conclusão obtida com o desenvolvimento do trabalho, seguido pelas devidas referências bibliográfica.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O bom emprego da energia Solar está vinculado à sustentabilidade, considerando seu método de geração energética sem emissão de poluentes, energia limpa e renovável.

Como a grande degradação do meio ambiente, escassez de recursos naturais e consequentemente as mudanças climáticas ameaçam a existência da humanidade. Gerando um aumento na pressão sobre o ser humano para cada vez mais se preocupar em adotar medidas sustentáveis. Hawken; Lovins (APUD TRAMONTIN E SILVEIRA, 2017, p. 15).

É essencial para a manutenção da vida na terra, utilização de recursos energéticos naturais, renováveis, para que se tenha continuidade do ciclo harmonioso da humanidade.

Desde há milhares de anos que o homem se apercebeu de que a vida e a energia fluem do Sol. Sócrates (470-399 a.C.) foi um dos primeiros filósofos a descrever os princípios fundamentais da construção de edifícios solares. (MCVEIGH, 1977, p.13).

A energia gerada pelo sol é fundamental para sobrevivência humana, trazendo também para princípios relacionados a geração de energia, que podem ser utilizadas em sistemas construtivos.

Se 0,1% da radiação solar que atinge a superfície terrestre fosse convertida em energia elétrica, a 10% de eficiência, seria gerada uma quantidade equivalente a quatro vezes a capacidade de produção mundial instalada. No entanto, 80% da energia utilizada atualmente no mundo possui origem em fontes não renováveis. (THIRUGNANASAMBANDAM; INIYAN; GOIC, 2010).

A radiação solar que incide sobre nosso planeta é imensamente poderosa e útil, para a vida num todo. Essa fonte de energia é pouco utilizada em forma de energia elétrica, merece melhor aproveitamento, pois, se trata de uma fonte renovável e limpa, em contrapartida, fontes de origem não renovável são as mais utilizadas.

O Sol está ligado diretamente a sustentabilidade, sendo uma energia limpa, que basicamente qualquer pessoa pode usa-la, de diversas maneiras, proporcionando um aliado junto com à conscientização de todos, para uma melhora significativa de vida. Seu uso pode ser

de várias formas, desde a geração limpa de energia elétrica, aquecimento de água e iluminação natural, voltado para a construção civil ou em outras áreas.

A energia solar adquire cada vez maior significado na discussão do problema de fornecimento de energia. É, presentemente, a única fonte de energia conhecida que pode abastecer o homem por período de tempo praticamente ilimitado, estando além disso e sobretudo livre de poluição. A duração limitada de fornecimentos de energia fóssil foi dada a conhecer pelos acontecimentos de 1973. Desde então, por todo o mundo aumentou a procura de novas fontes de energia e a energia solar ocupa um lugar preponderante nestes esforços. (SABADY, 1979, p. 35).

O mundo está em constante mudança e em velocidade acelerada. A busca por fontes de energia sustentáveis e trazendo juntamente com economia, é a chave para essa autossuficiência, mesmo que, tenha ainda seu custo elevado inicialmente, deixando certa desconfiança na sociedade.

O sol irradia todas as regiões da terra com energia. A quantidade desta energia recebida anualmente depende das condições geográficas e climáticas, mas podemos dizer que o seu emprego prático é possível em todo mundo. Naturalmente, no mar Vermelho onde o Sol brilha quatro mil horas por ano, é mais fácil e mais barato beneficiar dele do que na Escandinávia, onde só há mil e duzentas horas de sol (por ano) que, além disso, tem uma intensidade mais fraca. (SABADY, 1979, p. 47).

O incentivo é ponto principal que levará ao uso da energia solar, pois, estamos em uma região que onde há incidência de sol consideravelmente ótima.

O Sol é uma esfera com 1 400 000 km de diâmetro que irradia uma energia fenomenal devido a reações nucleares em cadeia. A temperatura aparente do Sol é de 6000°K, pouco mais ou menos. (CABIROL; PELISSOU; ROUX, 1980, p. 23).

Segundo GUERRA, YOUSSEF;

Pesquisas que buscam o aumento da eficiência nos sistemas fotovoltaicos têm sido desenvolvidas e enfocam diferentes alternativas para alcançar este objetivo. As variadas tecnologias de construção das células fotovoltaicas têm resultados em melhor eficiência na conversão de energia Solar em elétrica. (GUERRA; YOUSSEF, 2012, p. 287).

Cada dia que passa, a melhoria da eficiência é vista e se mostra cada vez mais uma alternativa com resultados interessantes para a geração de energia.

## 2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A introdução da energia fotovoltaica se faz cada dia mais necessária, não apenas para uso em grande escala, como usinas de geração, mas a partir do abastecimento em residências.

A energia fotovoltaica foi descoberta em 1839 por Edmond Becquerel, onde o mesmo observou a geração de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica ocasionado pela absorção de luz. Porém foi posto em prática somente em 1950 quando foi criada a primeira célula fotovoltaica. (CRESESB 2014).

Como destaca Edmond Becquerel trata-se de um sistema antigo, que veio, ao longo do tempo se aperfeiçoando e se mostrando seu potencial.

A energia elétrica proporciona uma série de benefícios como, por exemplo, o conforto e a praticidade na vida das pessoas. Embora as fontes renováveis representem uma pequena parte da estatística de geração de energia elétrica no mundo, o potencial para o emprego desse modelo é muito grande (VILLALVA, 2015).

Tornou-se vital o consumo de energia elétrica pela humanidade, indústrias alimentícias, hospitalar, construção civil, infraestrutura, urbanização, globalização etc... é um vasto leque que tem energia elétrica envolvida, e mesmo instalando o sistema, gerando sua própria energia, de acordo com a resolução 456/2000 da ANEEL, ainda terá de remunerar em 50 kWh a concessionária ou permissionária, pelo custo de disponibilidade, isso para as unidades monofásicas e bifásicas. O uso de placas solares fotovoltaicas interligado a rede, se mostra um aliado fundamental para se trazer economia, pois é possível reduzir formidavelmente o desembolso com energia elétrica mensalmente.

De acordo com LAMBERTS et al, 1997, estima-se que todo o custo operacional de um edifício ao longo de sua vida supere o custo total de construção do mesmo, sendo que energia elétrica é um dos principais custos operacionais.

Um bom entendimento arquitetônico também se faz necessário para um bom projeto com intenção de se trazer economia para a edificação, verificando pontos fundamentais para adição desses elementos, contudo, para se evitar um possível retrabalho, gerando gastos.

Deste modo, é importante investir em produtos tecnologicamente mais eficientes, ou mudanças arquitetônicas que visem conservar energia, que se pagarão ao longo dos anos com a economia gerada por eles, aliados a investimentos em conscientização dos usuários.

Podemos definir então como a otimização dos recursos naturais e redução dos impactos ambientais de forma que consiga suprir as necessidades do presente sem que comprometa o futuro. (ELETROBRAS, 2010).

O funcionamento de um sistema fotovoltaico se dá a partir da captação de luz solar por painéis fotovoltaicos, interligados a inversores de corrente contínua para alternada, sendo possível conecta-los compativelmente à rede de distribuição. Dispensando o uso de baterias, conseqüentemente uma redução de custo, visto que o sistema gerador da residência conectado diretamente na rede de distribuição da concessionária.

Os dados de consumo da residência, é importantíssimo para o dimensionamento de potência das placas a serem instaladas, mesmo com uma geração maior de energia elétrica quanto ao consumo da morada, o que foi gerado será diretamente injetado a rede elétrica, o valor transferido a concessionária se dá a partir de um medidor bidirecional que mostrara a quantia em que foi repassada.

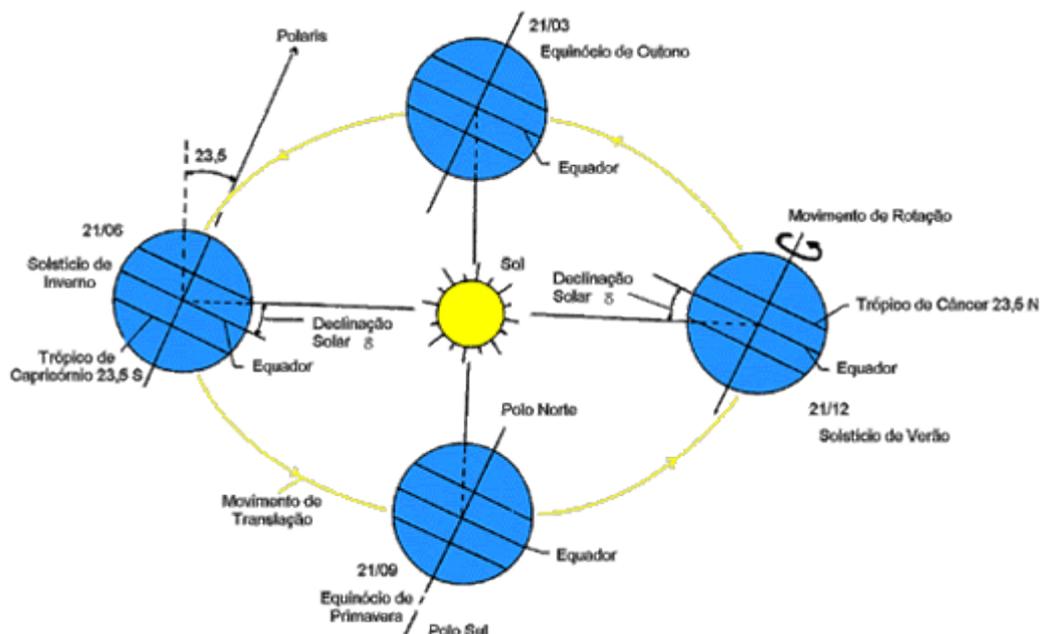
### **2.1.1 Radiação solar**

Radiação solar é o nome dado à energia oferecida pelo Sol, sendo a fonte de energia mais abundante no planeta terra.

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre,  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.). (CRESESB, 2008).

Como foi descrito acima, percebemos a importância que tem a energia solar em benefício para com o planeta Terra, por ser tratar de uma fonte energética inesgotável, necessita-se então o procedimento para sua captação e conversão para outra fonte de energia.

Figura 1 - Órbita da Terra



Fonte: CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2014. p. 69.

Brasil tem grande aptidão ao recebimento energético proveniente da radiação solar, podendo ser captada e transformada em energia elétrica, térmica etc.

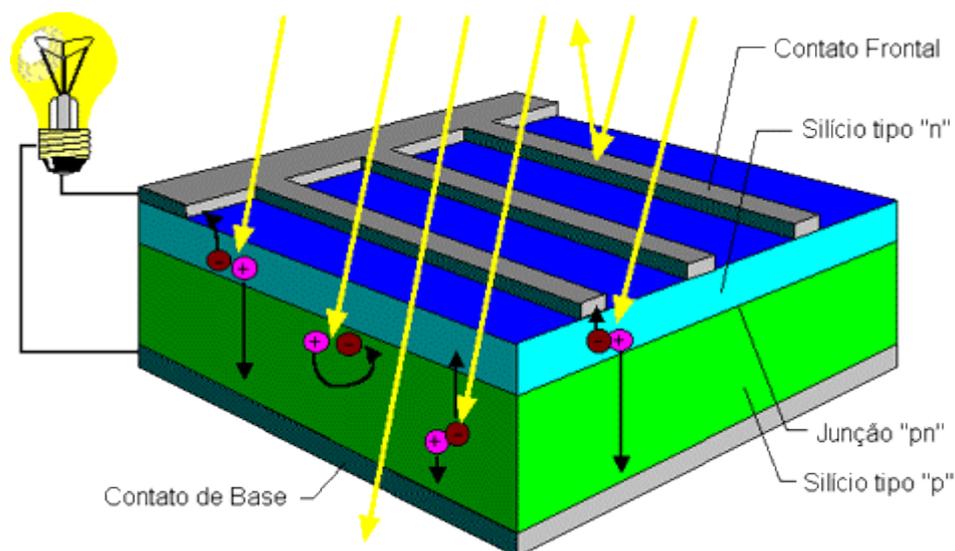
### 2.1.2 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico se dá a partir de materiais semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia.

O semicondutor mais usado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará “sobrando”, fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. (CRESESB, 2008).

Sendo o semicondutor mais comum em sistemas fotovoltaicos, o silício com pouca energia térmica facilmente seu elétron que sobra na última camada de valência, se desliga de seu átomo de origem, sendo visto na figura 2.

Figura 2 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica.



Fonte: CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2014.

O texto acima explica o efeito de um sistema fotovoltaico, com a incidência da energia luminosa contida na radiação solar, procedendo em corrente contínua.

### 2.1.3 Tipos de células

De acordo com CRESESB, uma célula fotovoltaica nada mais é do que um dispositivo elétrico que através do calor da radiação solar, desprende facilmente os elétrons da última camada de valência do silício, convertendo em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

#### 2.1.3.1 Monocristalina

A célula Monocristalina, geralmente é produzida com semicondutor Silício, sendo que no Brasil, minerais silicatos são abundantes. Em geral, atingem a maior porcentagem de aproveitamento da energia captada do Sol, chegando à faixa de 15%. Sendo um processo de fabricação eficaz, na pureza do material, o material tem a estrutura Monocristalina.

A fabricação da célula de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este processo atinge um grau de pureza em 98 e 99% o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e custo. Este silício para funcionar como células

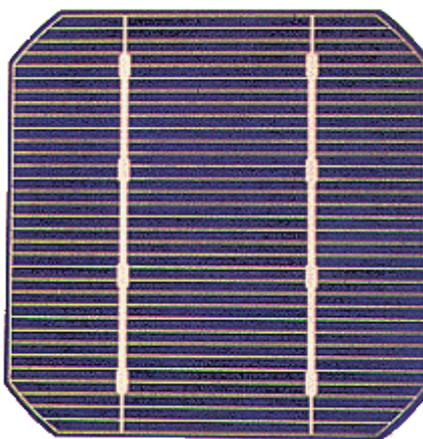
fotovoltaicas necessita de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior devendo chegar na faixa de 99,9999%. (CRESESB, 2008).

Com a extração de um enorme cilindro de silício, são cortados em fatias, pra futuramente um conjunto com cerca de 40 a 60 fatias unidas em série formem o painel solar.

Após o corte e limpeza de impurezas das fatias, deve-se introduzir impurezas do tipo N de forma a obter a junção. Este processo é feito através da difusão controlada onde as fatias de silício são expostas a vapor de fósforo em um forno onde a temperatura varia entre 800 a 1000°C. (CRESESB, 2008).

Dentre as impurezas, podem ser utilizados para o tipo “N” Fósforo ou Arsênio, onde mantém a carga negativa. Ou impurezas que geram carga positiva, como Boro ou Gálio. O intuito está na captação, é o direcionamento do elétron que sobra na última camada de valência, onde há geração de corrente elétrica.

Figura 3 - Célula de silício Monocristalino.



Fonte: CRESESB. Centro de referência para as energias Solar e Eólica, 2008.

Esse tipo de célula tem seu custo alto em comparação as células de silício Policristalino, devido maior complexidade de fabricação, para atingir a pureza do Silício necessária. Tem vida útil de 25 anos com garantia de 80% de eficiência, para melhor aproveitamento, deverá ser voltado ao Norte e ter seu ângulo de inclinação igual a Latitude do local onde será instalado o sistema.

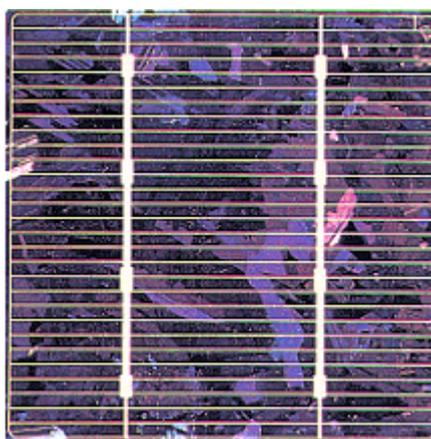
### 2.1.3.2 Policristalina

Este tipo de célula Policristalina, tem basicamente o mesmo estilo de fabricação da célula Monocristalina, porém com um percentual de aproveitamento menor, não tem o mesmo grau de rigurosidade na pureza em sua fabricação.

Podem ser preparadas pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Nestes dois últimos casos só o silício policristalino pode ser obtido. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais. (CRESESB 2008).

Com um gasto menor na sua fabricação, tem seu custo comercial reduzido, e com um bom nível de aproveitamento energético.

Figura 4 - Célula de silício Policristalina.



Fonte: CRESESB. Centro de referência para as energias Solar e Eólica, 2008.

Podemos perceber a olho nu a diferença entre os dois tipos de placa, a Monocristalina tem uma cor escura uniforme, já a Policristalina tem essa coloração variada mais clara em alguns pontos diversos, também com vida útil de 25 anos, da mesma forma que a painel monocristalina, para melhor rendimento, deverá ser voltado ao Norte e ter seu ângulo de inclinação igual a Latitude do local onde será instalado o sistema.

### 2.1.3.3 Amorfo

Esta tecnologia vem com forte crescimento por seu baixo custo de fabricação, e utilização em vários locais, podendo ser instaladas como uma película filme em janelas, telhas, entre outros, por ser flexível, resistindo ângulos de até 10°. Ótima para o design da residência.

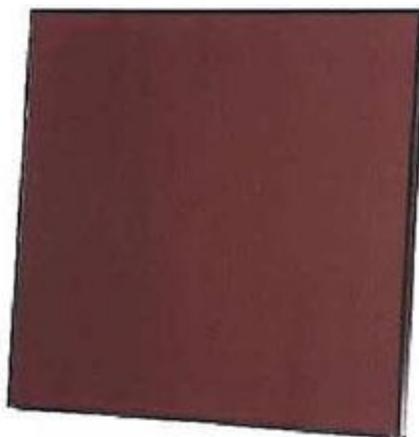
Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos. (CRESESB, 2006)

Ótima opção para ser instalada, pois não necessita de ângulo direcionado ao sol para gerar eletricidade, apenas a luz difusa é suficiente, dando maiores oportunidades de instalação em locais específicos onde painéis mono/poli cristalinos não seriam úteis.

O uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil. (CRESESB, 2006)

Observando esses detalhes técnicos de cada tipo de tecnologia, vem as vantagens e desvantagens, o processo de fabricação mais simples e barato, porém atinge cerca de 10% do aproveitamento da energia recebida, de fato não deixa de ser uma tecnologia com enorme potencial de aperfeiçoamento.

Figura 5 - Célula de silício amorfo.



Fonte: CRESESB. Centro de referência para as energias Solar e Eólica, 2008.

É um tipo de placa específico, não muito utilizado pela sua baixa eficiência, mas pelo seu custo e tem uma margem gigante para melhoria.

## 2.2 MEDIDOR BIDIRECIONAL

A função de um medidor é de mensurar o consumo de energia elétrica da residência e a quantidade de energia gerada que é injetada na rede de distribuição, geralmente tendo sua unidade de medida o kW/h. Existem os medidores analógicos e os digitais.

De acordo com a Celesc (Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A) existem algumas características importantes sobre o medidor bidirecional, que são;

- a) o medidor deve funcionar quando conectado a qualquer fase e neutro, bem como conectado entre duas fases (sem a presença do neutro);
- b) os registradores não devem perder as suas informações em caso de falta de energia, devendo possuir memória não volátil;
- c) o fechamento da tampa principal do medidor deve ser solidarizado à base;
- d) demais características conformes NBR 14519.

O medidor deve medir e registrar a energia ativa em ambos os sentidos de fluxo, totalizando-as em diferentes registradores, que devem estar disponíveis na saída serial unidirecional, conforme Especificação E-321.0017. (CELESC, 2017).

Figura 6 - Medidor eletrônico bidirecional.



Fonte: Landis+Gyr.

Medidor inteligente que existem em modelos monofásicos e trifásicos, podendo ser digitais ou analógicos.

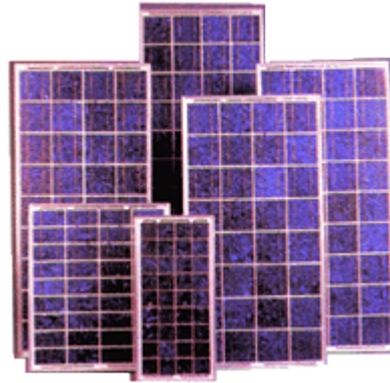
### 2.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Módulos solares são basicamente dispositivos empregados para conversão de energia solar para energia elétrica, a partir da captação da luz do Sol.

O módulo fotovoltaico nada mais é que o conjunto de células fotovoltaicas e que formam uma ou mais placas fotovoltaicas. Nele consiste uma estrutura montada em quadro, encapsulada geralmente de alumínio e é interligado eletricamente entre si podendo ser em série ou em paralelo. (CRESESB 2014).

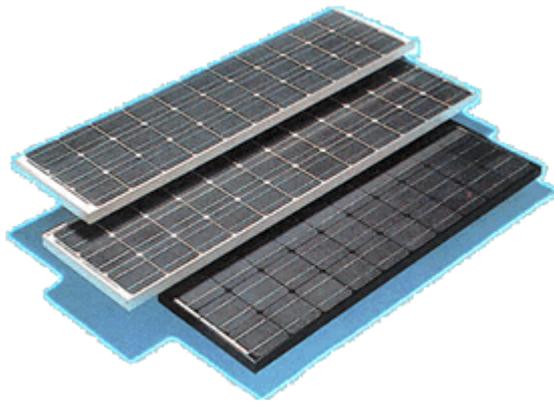
Alguns modelos de módulos fotovoltaicos, mostrados nas figuras abaixo.

Figura 7 - Módulo fabricado pela empresa Kyosera.



Fonte: CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2014.

Figura 8 - Módulo fabricado pela empresa Siemens.



Fonte: CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 2014.

Existem três configurações de ligação que se podem organizar os módulos, a fim de aumentar a potência máxima do painel. O acomodamento com os módulos pode ser em série, com efeito de aumentar à tensão mantendo a corrente estabelecida do modulo, paralelo que permite correntes mais elevadas, mantendo o nível de tensão estabelecida do modulo, e misto, é associação em série e paralelo que permite aumento dos valores de tensão e corrente.

## 2.4 INVERSORES

O inversor solar tem a função de transformar a energia gerada pelos painéis, de corrente contínua para corrente alternada, garantindo também a segurança e fazendo a medição do sistema.

O inversor é um aparelho eletrônico que transforma a corrente contínua (c.c.) em corrente alternada (c.a.), podendo estar recebendo esta energia tanto de geradores

eólicos, módulos fotovoltaicos, baterias ou células a combustível. A qualidade do inversor está diretamente ligada à eficiência energética e ao custo do sistema. No caso de sistemas ligados à rede elétrica (On Grid) do município, a tensão que sai do inversor necessita ser sincronizada com a tensão da rede que vem da concessionária que é de 60HZ em todo território nacional. (CRESESB 2014).

O inversor é o coração de um sistema solar fotovoltaico, tem grande importância, pois, é dele que são feitas medições de produção e segurança do sistema.

O tipo de inversor solar mais utilizado é conhecido como "inversor grid tie", esses são os inversores utilizados para conectar o seu sistema fotovoltaico de energia solar na rede elétrica. (SOLAR, 2018).

Como se apresenta no texto acima, o inversor mais utilizado é o (inversor grid tie), que são utilizados diretamente na rede elétrica, desvinculando as baterias.

#### **2.4.1 Inversores comutados à rede**

Este tipo de inversor não é capaz de atuar sem a presença da tensão alternada da rede elétrica. É o mais utilizado em sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Os inversores comutados pela rede são pontes retificadoras baseados em tiristores e só podem funcionar quando a tensão alternada da rede está presente. Esses inversores operam normalmente com baixo fator de potência e apresentam um alto nível de distorção harmônica em seu sinal de saída. (RAMPINELLI, 2010)

Por sua simplicidade, alta eficiência e menor custo, se torna uma ótima opção para sistemas monofásicos de pequeno porte.

#### **2.4.2 Inversores auto comutados**

Já este tipo de inversor não necessita obrigatoriamente de rede elétrica para seu funcionamento, podem ser utilizados em sistemas isolados da rede elétrica, com sua capacidade de ser fonte de corrente e fonte de tensão.

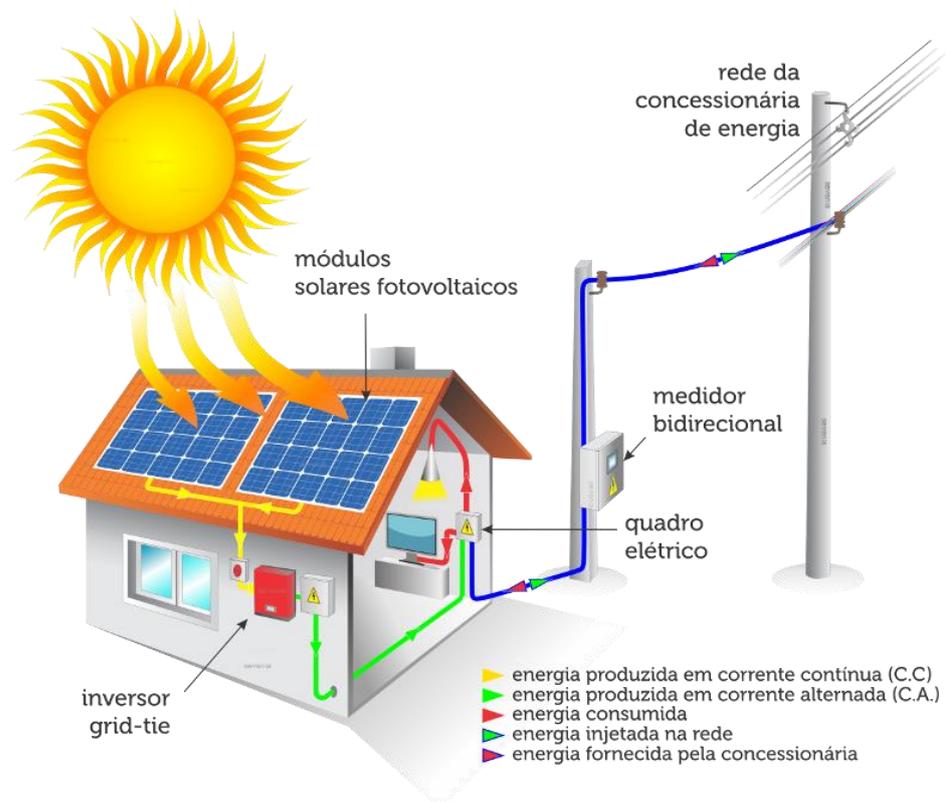
Os inversores auto comutados podem operar independentemente, sendo ativados unicamente por uma fonte de potência na entrada. Este tipo de inversor pode ser conectado à rede já que é capaz de sincronizar sua tensão alternada de saída com a tensão da rede elétrica. Esses inversores normalmente comutam em alta frequência sendo que o sinal de saída é senoidal de baixo conteúdo harmônico e alto fator de potência. (RAMPINELLI, 2010)

Isto garante o abastecimento de energia elétrica mesmo com a rede elétrica desativada, é utilizado em aplicações menores. Tem a consequência de o seu custo ser superior ao inversor comutado a rede.

## 2.5 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

De acordo com a RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012 surgiram a possibilidade de sistemas fotovoltaicos serem conectados à rede de distribuição, de forma que possa ser consumida ou inserida a rede elétrica, alinhando que não será necessário a utilização de baterias ou outras formas de armazenamento. (CRESESB 2014).

Figura 9 - Funcionamento de um sistema solar fotovoltaico.



Fonte: Luz Solar.

Caso a geração de energia for maior do que o consumo, pela resolução 456/2000 da ANEEL, será cobrada na tarifa a taxa mínima, ou custo de disponibilidade. Por isso é impossível zerar sua conta de luz.

### **2.5.1 Resolução 482/2012 (ANEEL)**

Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e de outras providências. (ANEEL 2012). Sendo a partir dessa norma fica muito mais fácil e viável o uso de sistemas fotovoltaico.

### **2.5.2 Regulação dos micros e mini geradores de energia de energia elétrica no Brasil**

Na atualidade, os consumidores de energia elétrica têm a possibilidade de gerar sua própria energia por fonte renovável. A geração de energia a partir do consumidor é conectada à rede de transmissão da concessionária, tratando a energia gerada como fonte de consumo, caso não for consumido no exato momento da geração, é transmitida em forma de créditos a rede de distribuição, fornecida pela concessionária vigente na região de instalação, tornando dispensável uso de um conjunto de baterias, pois o consumidor poderá consumir a qualquer momento seus créditos.

De acordo com Ursaia (URSAIA, 2013) A geração de energia elétrica adjunta ao local de consumo ou na própria instalação consumidora trará uma série de vantagens como, por exemplo, economia das aquisições em transmissão, diminuição das perdas nas redes e melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica (URSAIA, 2013).

Como forma de regulação das unidades consumidoras que pretendem integrar-se ao sistema de distribuição, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) disponibiliza da Resolução Normativa N° 482, que é uma das bases iniciais, possibilitando conexão de micro e mini geradores com fonte sustentável a rede de distribuição nacional, tornando possível a elaboração ou revisão de normas técnicas de concessionárias de energia elétrica.

## 2.5.3 Tributos

### 2.5.3.1 Bandeiras tarifárias

De acordo com a ANEEL, a partir de 2015 foi estabelecido novas diretrizes para permitir maior transparência na cobrança de tributos, afim de suprir a alta demanda energética, em tempo de baixos recursos hídricos. Através do sistema de bandeiras sinalizadoras de geração energética. Foram inseridas três modalidades de bandeiras tarifarias, sendo elas:

Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo.

Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$0,010 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos.

Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$0,030 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos.

Bandeira vermelha – Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$0,050 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos. (ANEEL 2018)

Todos os consumidores do Sistema Interligado Nacional (SIN) serão cobrados pelo sistema de bandeiras. Exceto usuários de sistemas isolados, pois, não necessitam de sistemas de geração, no dia corrente é cobrado bandeira vermelha patamar 2.

### 2.5.3.2 ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços)

Trata-se de um tributo estadual que tem grande influência no valor final da fatura de energia.

Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Previsto no art. 155 da Constituição Federal de 1988, o imposto incide sobre as operações relativas à circulação de mercadorias e serviços e é de competência de cada estado e do Distrito Federal, por isso as alíquotas são variáveis. A distribuidora tem a obrigação de realizar a cobrança do ICMS diretamente na conta de energia, repassando o valor ao Governo estadual. Seu cálculo é feito “por dentro”. (ANEEL, 2018)

Valores que são repassados ao governo estadual, sendo necessária a cobrança desse tributo.

Com a cobrança “por dentro”, o ICMS acaba tendo um peso maior que sua alíquota nominal. Em uma área de concessão com alíquota de ICMS de 25%, por exemplo, a cobrança “por dentro” acaba elevando seu impacto para 33%.

Tributo que tem enorme impacto sobre a fatura de energia, sendo Santa Catarina uma das regiões que ainda pagam esse tributo na conta de energia.

### 2.5.3.3 PIS/CONFINS

Trata-se de um tributo federal, sendo PIS (Programa de Integração Social) e CONFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social).

Programas de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS). São cobrados pela União para manter programas voltados para o trabalhador e para atender a programas sociais do Governo Federal. As alíquotas são de 1,65% (PIS) e 7,6% (COFINS) e são apuradas de forma não-cumulativa. (ANEEL, 2018).

São tributos que juntamente com o ICMS, correspondem a um montante expressivo no final da fatura de energia.

## 2.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

Projetos de investimento são caracterizados por possuir inicialmente fluxos de caixa negativos e posteriormente fluxo de caixa positivos. (BISCHOFF, 2013). Sabendo que não há um investimento que será totalmente seguro, o risco será sempre algo a se trabalhar.

De um modo geral podemos atestar que viabilidade econômica de um projeto está relacionado com a vida útil do mesmo com o tempo de retorno dos investimentos. (BERNAL e PASCALICCHIO, 2012).

A partir disso serão utilizados alguns métodos que para o projeto em pauta se torne interessante:

PAYBACK, ou seja, retorno de investimento;

VPL (Valor Presente Líquido);

TIR (Taxa Interna de Retorno).

### **2.6.1 Payback**

A palavra “Payback” significa retorno, sendo uma estratégia muito utilizada em empresas para calcular o período de retorno de investimento em um projeto.

O Payback pode ser calculado de duas formas, a primeira que é chamada de Payback simples não há nenhum desconto em sobre o capital investido, a segunda forma, denominado Payback descontado, leva esse nome porque é descontado uma taxa, que geralmente é a TMA estipulada pelo investidor. (BRITO, 2006, p.51)

Sendo um método muito importante para empresas, pois, com ele é possível prever o tempo em que terá seu capital investido recuperado, porém não é muito recomendado usar apenas o Payback para viabilidade econômica de um projeto.

### **2.6.2 Valor presente líquido (VPL)**

Valor presente líquido é uma equação que pode determinar o valor presente de pagamentos futuros, com juros apropriados, descontando o custo inicial do investimento.

Em vez de se distribuir o investimento inicial durante sua vida (custo de recuperação do capital), deve-se somar os demais termos do fluxo de caixa para somá-los ao investimento inicial de cada alternativa. Escolhe-se a alternativa que apresentar melhor Valor Presente. (CASAROTTO e KOPITKE, 2008, p. 116).

Segundo Brigham e Ehrhardt (2012), se o VPL de um investimento se apresentar positivo, isso indica que o valor investido será recuperado, ou seja, se o VPL for negativo, isso indica que o investimento não é economicamente viável.

### **2.6.3 Taxa interna de retorno (TIR)**

Taxa interna de retorno se trata de uma taxa de desconto hipotética, onde, ela faz com que os valores das despesas, sejam iguais aos valores de retorno do investimento.

Quando precisamos definir através da TIR se o projeto é viável, precisamos verificar se a mesma é maior ou igual a taxa mínima de atratividade (TMA), se a mesma se apresentar menor, devemos rejeitar o projeto. (CASAROTTO e KOPITKE, 2000).

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa trata-se de caráter exploratório e assim para partir à análise.

As pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Seu planejamento tende a ser bastante flexível, pois interessa considerar os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado. Pode-se afirmar que a maioria das pesquisas realizadas com propósitos acadêmicos, pelo menos num primeiro momento, assume o caráter de pesquisa exploratória, pois neste momento é pouco provável que o pesquisador tenha uma definição clara do que irá investigar. (GIL, 2010, p. 27).

Quanto aos seus procedimentos refere-se de uma pesquisa bibliográfica, pois trata-se de uma pesquisa em material utilizado, empregando livros e artigos científicos, para tratar de forma mais entendida sobre assuntos voltado a placa solar fotovoltaica, sua produtividade e legislação.

Referindo-se do método utilizado, será um estudo de caso, visto que irá se verificar a viabilidade de uma residência unifamiliar, onde já está instalada o conjunto de placas solares, assim verifica-se que é o método ideal.

Quanto a abordagem será uma pesquisa quantitativa, Bicudo (2004, p. 104) apud Leonel; Motta (2007, p. 106), afirmam que:

A abordagem quantitativa está mais preocupada com a generalização, relacionada com o aspecto da objetividade passível de ser mensurável, permitindo uma ideia de racionalidade, como sinônimo de quantificação. Em outras palavras, este tipo de abordagem se define pela ideia de rigor, precisão e objetividade.

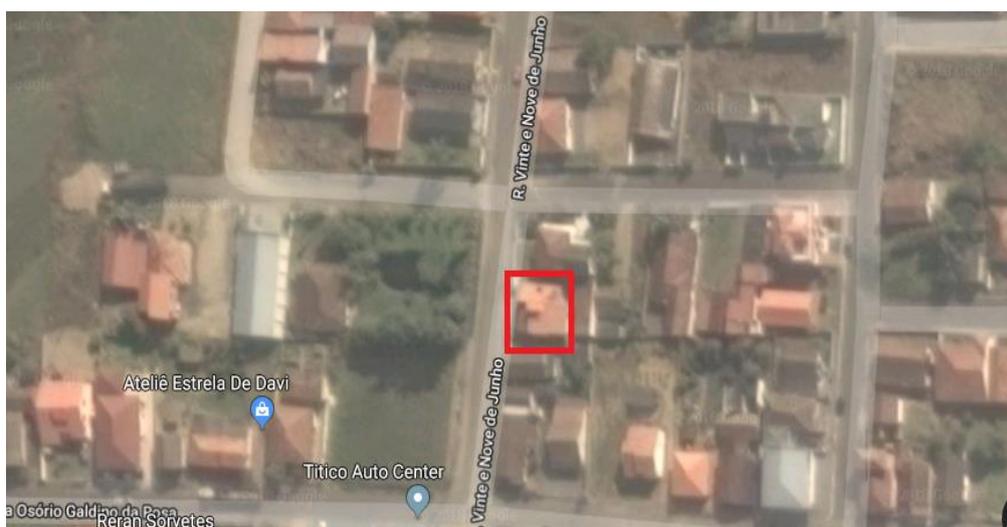
Será então verificado a viabilidade do projeto, com análise dos resultados e conclusões.

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A residência que vamos aplicar nosso estudo de caso, está localizado na rua 29 de Junho, no centro de Armazém, Santa Catarina, CEP: 88740-000, Latitude:  $-28.264935^\circ$ , Longitude:  $-49.021955^\circ$ , figura abaixo representa o croqui com vista superior do local.

Figura 10 - Localização geográfica da residência em estudo.



Fonte: Google Maps 2018, adaptado pelo autor.

Figura 11 - Ilustração fachada frontal da residência em pauta.



Fonte: Reevisa.

Fachada frontal do local em estudo, na parte superior esquerda pode ser visualizado os módulos solares.

#### 4.2 DADOS DO LOCAL EM ESTUDO

A residência proveniente do estudo de caso, teve sua construção no ano de 2003, localizada no município de Armazém, Santa Catarina, CEP 88740-000, com área de 107,14m<sup>2</sup>, ilustramos sua fachada voltada ao Norte na imagem abaixo:

Figura 12 - Vista do sistema fotovoltaico instalado.



Fonte: Reevisa.

Imagem fornecida pela empresa Reevisa.

#### 4.3 GASTO DO CONSUMIDOR COM ENERGIA ELÉTRICA

No período de 17 meses antecedentes a instalação do sistema fotovoltaico, apresentamos os dados de consumo da residência em estudo, como a quantidade total de 5020 kWh, gerando um custo de R\$3597,42 como é mostrado na tabela 1.

Tabela 1 - levantamento de gasto energético.

MÊS	CONSUMO MENSAL (kWh)	GASTO (R\$)
ago/16	460	307,80
set/16	355	236,15
out/16	335	232,24
nov/16	234	164,67
dez/16	271	188,91

jan/17	330	230,81
fev/17	248	172,84
mar/17	340	240,91
abr/17	215	157,88
mai/17	328	242,48
jun/17	389	279,17
jul/17	403	293,13
ago/17	330	243,06
set/17	253	194,58
out/17	200	154,43
nov/17	197	155,37
dez/17	132	102,99
$\Sigma=17$ meses	$\Sigma=5020$	$\Sigma=3597,42$

Fonte: Cooperzém, adaptado pelo autor.

Dados obtidos pela cooperativa Cooperzém, para melhor visualização das características do consumidor.

#### 4.4 CUSTO DE INTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Com vida útil estimada em 25 anos e custo total de R\$11,000.00 fornecido pela empresa Reevisa, o conjunto de placas solares fotovoltaicas requer manutenção de limpeza anual ou semestral, variando da poluição local, sendo executado por empresa especializada, utilizando os devidos EPI'S e EPC'S, para uma maior segurança e qualidade do serviço, sabendo que os trabalhadores obrigatoriamente deverão estar aptos a NR- 35, o sistema deverá estar totalmente desligado, utilizando materiais de limpeza adequados afim de evitar a danificação do sistema.

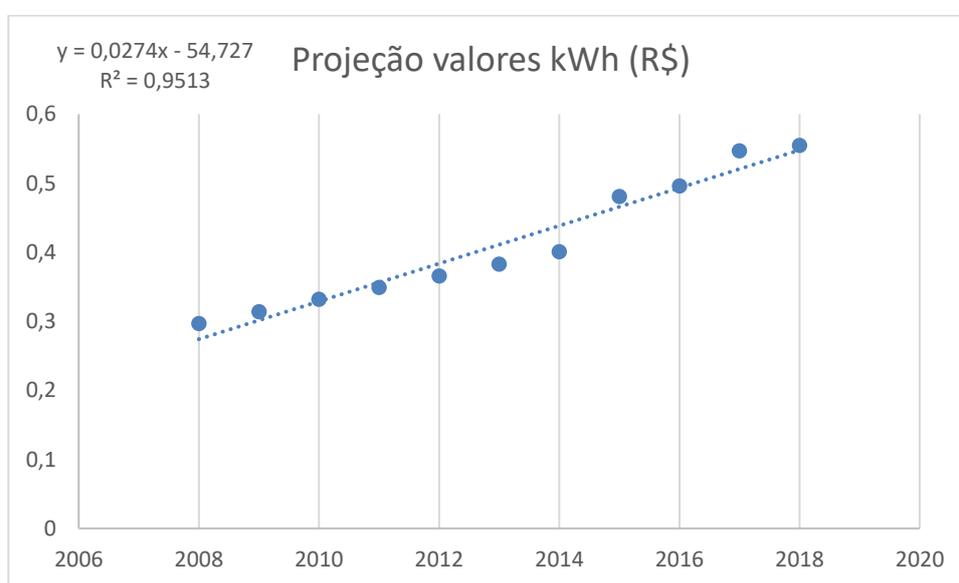
Os inversores têm vida útil estimada em 15 anos, de acordo com a empresa Reevisa, com valor de R\$ 3,200.00 aproximadamente, o valor da troca já está incluso na contabilidade econômica do sistema.

Os demais componentes do sistema, não requerem manutenção ou troca, apenas necessitando fiscalizar o funcionamento dos componentes, essa verificação poderá ser feita pelo proprietário ou se preferir executar um laudo com responsável técnico. O medidor bidirecional é fornecido pela concessionária no ato da instalação do sistema, ou se danificado no decorrer do uso.

#### 4.5 CALCULO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Através do estudo de caso, apresentamos em formato de planilha utilizando o recurso Excel, identificando o consumo mensal, com resultados anteriores à instalação do sistema fotovoltaico, gerando uma média anual, através da metodologia de linha de tendência, tendo confiabilidade de 95% da porcentagem do aumento em 10 anos, para efeitos de cálculo, ou seja, proporcionamos uma estimativa do aumento do preço do kWh, em torno dos últimos dez anos, vistos no gráfico para facilitar o entendimento a seguir.

Gráfico 1 - Levantamento de valores nos últimos 10 anos.



Fonte: Autor.

No estudo em questão, serão aplicadas técnicas de análises de investimentos, como Pay-Back, TIR e VPL, para analisar a viabilidade econômica da instalação fotovoltaica. Identificamos os resultados na tabela 2. Já incluso o custo de reposição do inversor, que tem vida útil aproximada de 15 anos de acordo com a empresa instaladora Reevisa, considerando também a perda de eficiência gradativa das placas, sendo os primeiros 12 anos terão um rendimento de 90% aproximadamente, ou seja, 10% de perda. Já os últimos 13 anos, o rendimento cai para 80%, gerando uma perda de 20%. Foram desprezados o custo de manutenção que seria basicamente a limpeza das placas.

##### 4.5.1 Valores reais de geração e consumo

Através de resultados fornecidos pela Cooperzém montamos valores reais de consumo e geração, afim de melhor entendimento dos resultados.

Tabela 2 - Valores de consumo e geração

	Faturamento	Geração em	Valor creditado	Gerado (kWh)	Creditado (kWh)	Saldo (kWh)
Energia gerada		jan/18	R\$ 62,79	202		202
Energia utilizada	jan/18		R\$ 62,79		113	89
Energia gerada		fev/18	R\$ 108,35	312		401
Energia utilizada	fev/18		R\$ 108,35		195	206
Energia gerada		mar/18	R\$ 56,68	171		377
Energia utilizada	mar/18		R\$ 56,68		102	275
Energia gerada		abr/18	R\$ 84,46	268		543
Energia utilizada	abr/18		R\$ 84,46		152	391
Energia gerada		mai/18	R\$ 121,13	218		609
Energia utilizada	mai/18		R\$ 121,13		218	391
Energia gerada		jun/18		208		599
Energia utilizada	jun/18		R\$ 280,60		505	94
Energia gerada		jul/18		155		249
Energia utilizada	jul/18		R\$ 138,35		249	0
Energia gerada		ago/18	R\$ 95,02	171		
Energia utilizada	ago/18		R\$ 95,02		171	0
Energia gerada		set/18	R\$ 161,21	256		256
Energia utilizada	set/18		R\$ 161,21		256	0
Energia gerada						
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 1.108,59</b>	<b>1961</b>	<b>1961</b>	

Fonte: Cooperzém, adaptado pelo autor.

Com resultados reais é muito mais interessante o entendimento real do consumo e geração, desprezando projeções.

#### 4.5.2 Payback simples e descontado

Para calcular a viabilidade do projeto, consideramos valores do kWh entre os anos de 2008 até 2018, tendo um ajuste de 8,69% a.a.

Sabendo que o fluxo de caixa acumulado representa o payback simples, que seria o tempo de retorno sem os descontos da taxa mínima de atratividade.

O fluxo de caixa descontado representa o payback descontado, sendo o tempo de retorno com uma taxa mínima de atratividade de 10% a.a., sendo ela estipulada pelo investidor e para esse estudo de caso estipulamos com base na taxa de juros de aplicação da aquisição na poupança que gira em torno de 7,2% a.a. incluso com 2% pelos custos anuais com manutenção e 0,8% para cerceamento anual do sistema.

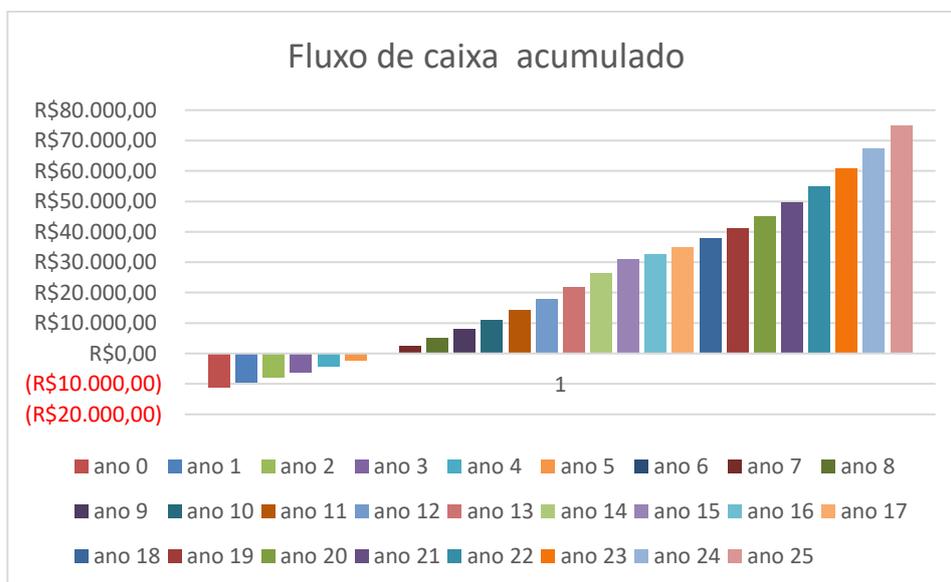
Tabela 3 - Payback simples e descontado.

ano	fluxo de caixa final	fluxo de caixa acumulado	fluxo de caixa descontado	fluxo de caixa descontado acumulado
0	-R\$ 11.000,00	-R\$ 11.000,00	-R\$ 11.000,00	-R\$ 11.000,00
1	R\$ 1.465,80	-R\$ 9.534,20	R\$ 1.332,55	-R\$ 9.667,45
2	R\$ 1.593,13	-R\$ 7.941,06	R\$ 1.316,64	-R\$ 8.350,81
3	R\$ 1.731,53	-R\$ 6.209,53	R\$ 1.300,92	-R\$ 7.049,89
4	R\$ 1.881,94	-R\$ 4.327,59	R\$ 1.285,39	-R\$ 5.764,50
5	R\$ 2.045,43	-R\$ 2.282,17	R\$ 1.270,05	-R\$ 4.494,45
6	R\$ 2.223,11	-R\$ 59,06	R\$ 1.254,89	-R\$ 3.239,56
7	R\$ 2.416,23	R\$ 2.357,17	R\$ 1.239,91	-R\$ 1.999,65
8	R\$ 2.626,12	R\$ 4.983,29	R\$ 1.225,11	-R\$ 774,55
9	R\$ 2.854,25	R\$ 7.837,54	R\$ 1.210,48	R\$ 435,93
10	R\$ 3.102,20	R\$ 10.939,74	R\$ 1.196,03	R\$ 1.631,96
11	R\$ 3.371,68	R\$ 14.311,42	R\$ 1.181,75	R\$ 2.813,72
12	R\$ 3.664,57	R\$ 17.975,99	R\$ 1.167,65	R\$ 3.981,36
13	R\$ 3.954,59	R\$ 21.930,58	R\$ 1.145,50	R\$ 5.126,86

14	R\$ 4.298,12	R\$ 26.228,70	R\$ 1.131,83	R\$ 6.258,69
15	R\$ 4.671,49	R\$ 30.900,18	R\$ 1.118,32	R\$ 7.377,01
16	R\$ 1.877,30	R\$ 32.777,48	R\$ 408,55	R\$ 7.785,56
17	R\$ 2.318,35	R\$ 35.095,83	R\$ 458,67	R\$ 8.244,24
18	R\$ 2.797,73	R\$ 37.893,56	R\$ 503,20	R\$ 8.747,43
19	R\$ 3.318,74	R\$ 41.212,30	R\$ 542,64	R\$ 9.290,07
20	R\$ 3.885,01	R\$ 45.097,32	R\$ 577,48	R\$ 9.867,56
21	R\$ 4.500,48	R\$ 49.597,80	R\$ 608,15	R\$ 10.475,71
22	R\$ 5.169,41	R\$ 54.767,21	R\$ 635,04	R\$ 11.110,75
23	R\$ 5.896,45	R\$ 60.663,66	R\$ 658,50	R\$ 11.769,26
24	R\$ 6.686,65	R\$ 67.350,31	R\$ 678,87	R\$ 12.448,12
25	R\$ 7.545,49	R\$ 74.895,80	R\$ 696,42	R\$ 13.144,54

Fonte: Autor.

Gráfico 2 - Fluxo de caixa acumulado.



Fonte: Autor.

Através do fluxo de caixa acima já podemos encontrar a data através do Payback simples e descontado:

Payback simples:

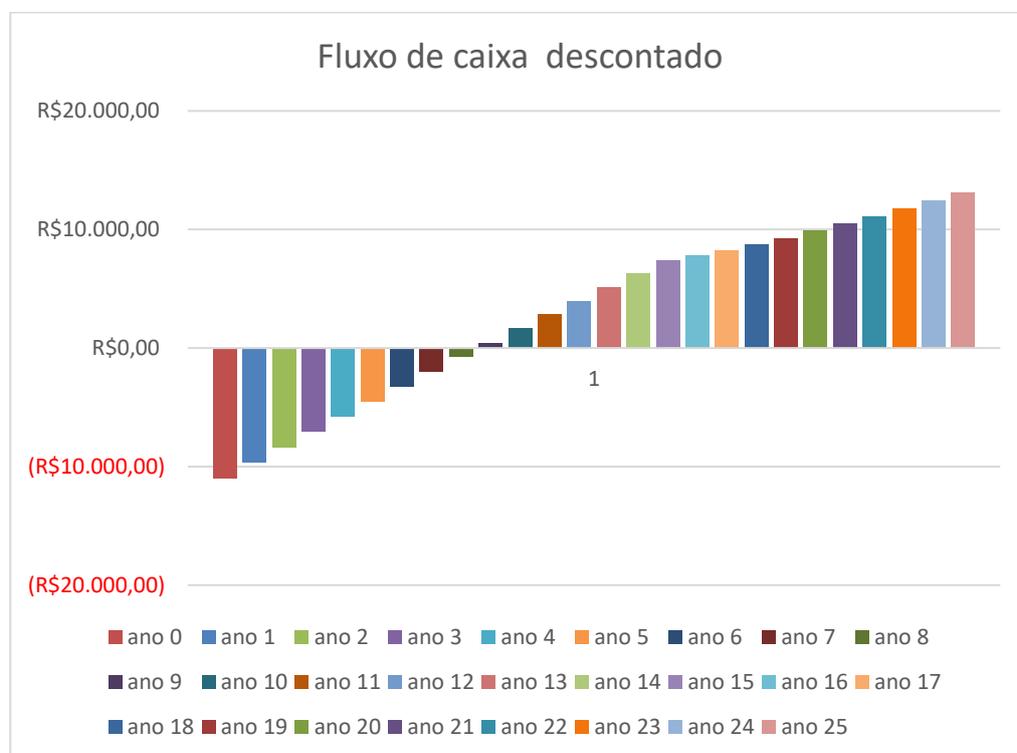
6 anos

$$-59,06 \div 2416,23 = 0,024441459$$

$$0,024441459 \times 12 = 0,293297508 \Rightarrow 0 \text{ mês}$$

$$0,293297508 \times 30 = 8,7989 \Rightarrow 9 \text{ dias}$$

Gráfico 3 - Fluxo de caixa descontado



Fonte: Autor.

Payback descontado:

8 anos

$$-774,55 \div 1210,48 = 0,639868609$$

$$0,639868609 \times 12 = 7,674842 \Rightarrow 7 \text{ meses}$$

$$0,674842 \times 30 = 20,3526 \Rightarrow 21 \text{ dias}$$

Para uma maior confiabilidade utilizamos também o payback descontado, sendo de maior exatidão totalizando um tempo de 8 anos, 7 meses e 21 dias.

### 4.5.3 Valor presente líquido (VPL)

Para calcular o valor presente líquido utilizamos a seguinte equação:

$$\text{VPL} = -\frac{\text{FC}_0}{(1+i)^0} + \frac{\text{FC}_1}{(1+i)^1} + \frac{\text{FC}_2}{(1+i)^2} + \frac{\text{FC}_3}{(1+i)^3} + \frac{\text{FC}_4}{(1+i)^4} + \dots + \frac{\text{FC}_n}{(1+i)^n}$$

Onde:

**FC0** = é o valor do fluxo de caixa na data zero. Trata-se de um desembolso,

representado no fluxo de caixa com seta direcionada para “baixo”, pois é uma saída de caixa e terá um sinal “negativo”.

**FC1; FC2; FC3.....FCn** = representam os fluxos de caixa líquidos do projeto nos diferentes momentos. São valores não uniformes, entendidas como entradas (benefícios), proporcionados pelo investimento e representados por setas direcionadas para “cima” com sinal “positivo”.

$i$  = é a taxa mínima requerida para realizar o investimento ou o custo de capital do projeto do investimento.

$n$  = representa o prazo de análise do projeto.

Com a utilização do software EXCEL, para uma facilitação de cálculo, chegamos no seguinte resultado:

$$\text{VPL} = \text{R\$}13.144,54.$$

#### 4.5.4 Taxa interna de retorno (TIR)

Para calcular a TIR, verificando o retorno financeiro da inclusão do sistema, utilizamos o mesmo método acima descrito, porém igualar o VPL a 0 para assim conseguir descobrir a TIR:

$$0 = -\text{FC}_0 + \frac{\text{FC}_1}{(1+\text{TIR})^1} + \frac{\text{FC}_2}{(1+\text{TIR})^2} + \frac{\text{FC}_3}{(1+\text{TIR})^3} + \frac{\text{FC}_4}{(1+\text{TIR})^4} + \dots + \frac{\text{FC}_n}{(1+\text{TIR})^n}$$

Com ajuda das análises de dados do Excel, fizemos um teste de hipóteses para saber qual a porcentagem de retorno quando o VPL for 0, esse valor encontrado é a nossa TIR do projeto, que é a taxa interna de retorno ao ano desse investimento.

$$\text{TIR} = 20\%$$

#### 4.5.5 Viabilidade econômica

Através dos resultados obtidos em nosso estudo de caso, o payback simples e descontado com tempos de 6 anos e 9 dias e 8 anos, 7 meses e 21 dias, respectivamente.

Apresentando uma VPL de R\$13.144,54 e a TIR com valor de 20%, concluímos que, a viabilidade do sistema fotovoltaico é extremamente atrativa no quesito econômico, pois, o tempo de retorno do investimento é menor que a vida útil do sistema, apresentando o VPL positivo e sua TIR maior que a TMA. Finalizamos que além de economicamente ser viável, a instalação promove a sustentabilidade da habitação humana. É um investimento inicial considerável, porém, seu retorno é verídico.

## 5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho de conclusão de curso, podemos afirmar que é interessante o investimento em um sistema de geração de energia elétrica, através do modo de captação fotovoltaico.

Percebendo que o custo da energia elétrica no Brasil é elevado, a instalação do sistema atribui energia renovável, tendo o sol como fonte de energia inesgotável e em abundância no enorme território nacional. Mesmo com o contraste de estações climáticas, traduzindo em meses de baixa e alta geração, variando a incidência solar. Após a RES 482/2012 da ANEEL, através do sistema fotovoltaico On – Grid, descartando o uso de baterias, interligando o sistema diretamente com a rede de distribuição da concessionária local, permitindo a transformação em créditos da energia gerada excedente ao consumo, ou seja, para os meses de pouca incidência solar será consumido os créditos gerados nos meses de alta incidência solar.

A energia fotovoltaica no Brasil se encontra em estado emergente, sendo um país com território privilegiado de incidência solar, situado próximo a linha do Equador.

Este trabalho permitiu esclarecimento do método de aproveitamento da energia solar, vinculando a sustentabilidade com a geração de lucro financeiro, objetivando incentivo que futuras gerações se beneficiem desta fonte de energia inesgotável e renovável.

Explicando de uma forma geral, é analisado as faturas anteriores de consumo para assim decidir a potência do sistema solar, visualizando assim o valor necessário para execução de projeto, compra dos componentes e mão de obra de instalação, totalizando um montante de R\$: 11.000,00 reais, ao analisar este custo a longo prazo, pelo fato de as placas fotovoltaicas ter garantia de vida útil por 25 anos, com até 80% de eficiência, segundo a empresa fornecedora Reevisa,, tudo de acordo com as normas e tramites para homologação legal em relação a lei vigente, que é explicada minuciosamente nos capítulos anteriores, já prevendo a elevação do preço da energia elétrica fornecida pelas concessionárias devido à escassez de combustível para as termoelétricas, e água para as hidrelétricas, que são o pilar de abastecimento no Brasil, assim que concluir-se a instalação, imediatamente ao receber a radiação solar, haverá a geração de energia elétrica, na pior das hipóteses dos estudos acima prescritos, no 8º ano a totalidade do investimento é compensada pela energia que é gerada, fazendo com que assim, tenha entre 16 a 17 anos de lucratividade, totalmente confiante com está tecnologia esperamos poder esclarecer bem os termos, e o convencer a investimentos neste setor.

Chegamos ao fim dos nossos objetivos com sucesso, e com a demonstração estimada do lucro financeiro proveniente do sistema gerador, esclarecendo os benefícios sustentáveis e informação para a população poder desfrutar desta tecnologia.

## REFERÊNCIAS

- ALTOE, Leandra; OLIVEIRA FILHO, Delly; CARLO, Joyce Correna. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambient. constr.**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 75-87, set. 2012. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212012000300006&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212012000300006&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 18 abr. 2018.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW, 1997
- VIANNA, Nelson Solano; GONÇALVES, Joana Carla Soares. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Virtus S/c Ltda, 2001
- .J.C. McVEIGH. ENERGIA SOLAR – Introdução às aplicações da energia solar. 1977
- P. R. SABADY, A Energia solar na habitação. 1979
- CABIROL, Thierry; PELISSOU, Albert; ROUX, Daniel. **O AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA**. Portugal: Edições Cetop, 1980.
- CEPEL; CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014. Disponível em <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em 18 abr. 2018.
- CRESESB. **Centro de referência para as energias solar e eólica sérgio de s. brito**. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=301](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301)>. Acesso em: 21 mai. 2018.
- CRESESB. **Energia solar, princípios e aplicações**. Disponível em: SOLAR, Portal. **O inversor solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>>. Acesso em: 22 maio 2018.
- BISCHOFF, Lisandra. Análise de Projetos de Investimentos. 1ª ed. Editora Ferreira, 2013.
- CELESC. **MEDIDOR ELETRÔNICO BIDIRECIONAL: MANUAL ESPECIAL**. 2017. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas-tecnicas/equipamentos-medicao/E-321.0010-MEDIDOR-ELETRONICO-BIDIRECIONAL.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

**RAMPINELLI, Giuliano Arns. ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E  
TÉRMICAS DE INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

**CONECTADOS À REDE.** 2010. 254 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Cap. 2. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27935/000764646.pdf?sequence=1>>.

Acesso em: 10 jun. 2018.

**CELESC. MEDIDOR ELETRÔNICO BIDIRECIONAL: MANUAL ESPECIAL.** 2017. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas>

[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Por%20Dentro%20da%20Conta%20de%20Luz\\_.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Por%20Dentro%20da%20Conta%20de%20Luz_.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2018.