

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
LUIS GUSTAVO WEBER

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO FONTE ALTERNATIVA  
DE GERAÇÃO DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO.

LAGES

2019

Monografia apresentada ao Centro Universitário Facvest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Luís Gustavo Weber

NOME DO ALUNO

Energia solar fotovoltaica como fonte

Alternativa da Geração de Energia: Estudo de Caso

TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Dra. Prof.<sup>a</sup> Francieli Lima de Sá

Titulação e nome do Orientador (a)

Msc. Prof. Silvia Moraes de Oliveira

Titulação e nome do Co-orientador (a).

Dra. Prof.<sup>a</sup> Maria Benta Camargo Rodrigues

Titulação e nome do Avaliador (a).

Prof.<sup>a</sup> Francieli Lima de Sá

Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 12 de dezembro de 2019.

LUIS GUSTAVO WEBER

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO FONTE ALTERNATIVA DE  
GERAÇÃO DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Centro Universitário UNIFACVEST como  
parte dos requisitos para a obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Coorientador: Prof. Silvio Moraes de Oliveira

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dra. Franciele Lima de Sá

LAGES

2019

LUIS GUSTAVO WEBER

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO FONTE ALTERNATIVA DE  
GERAÇÃO DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Centro Universitário UNIFACVEST como  
parte dos requisitos para a obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Coorientador: Prof. Silvio Moraes de Oliveira

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Franciéli Lima de Sá

Lages, SC \_\_\_/\_\_\_/2019. Nota \_\_\_\_\_

---

LAGES

2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Professora Dra. Franciéli Lima de Sá e ao Prof. Silvio Moraes de Oliveira pela orientação e aos demais professores do Departamento de Engenharia Elétrica que contribuem para manter o nível de excelência dessa instituição. Foi um privilégio ter professores com um alto nível de conhecimento ao meu lado, reconheço que certamente acrescentaram muito ao meu aprendizado e conhecimento científico.

Aos meus amigos e familiares que sempre tiveram o ao meu lado por esse período de 5 anos.

*“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.” (Walter S. Landor)*

## RESUMO

Uma das principais energias que vem tomando grande porte, são as energias limpas e renováveis, onde ambas visam a economia para o consumidor final, por serem fontes naturais e inesgotáveis, com muitos benefícios ao meio ambiente, causando poucos impactos ambientais. O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade de implantação de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos distribuídos em uma determinada área da empresa Rodoparaná Implementos Rodoviários Ltda, na cidade de Lages (SC)/ Brasil. Para isso foi realizada uma revisão dos conceitos básicos e trabalhos relacionados com o tema proposto. Além disso, foram avaliadas as tecnologias disponíveis, buscando analisar a melhor configuração de um sistema de geração solar de energia com o objetivo de reduzir as despesas com energia elétrica, contribuindo para a sustentabilidade de tais instalações. Como resultado foi proposto a instalação de 26 módulos com um valor de 380W cada um, totalizando 9.88 kWp para tecnologia monocristalina, e 24 módulos de 405W cada um, totalizando 9.72 kWp. Os resultados da análise mostram uma redução de 100% no consumo de energia elétrica proveniente da concessionária de energia (CELESC), quando comparado com o histórico de consumo médio de energia elétrica. O custo para o investimento de todos os sistemas foi calculado no valor de R\$ 38.602,41 para monocristalinos e R\$ 35.081,51 para policristalinos. O tempo de retorno calculado foi de aproximadamente 4 a 5 anos. Ao final do trabalho concluiu-se que o sistema alternativo de geração fotovoltaica é um bom investimento financeiro além de contribuir com o desenvolvimento sustentável do país, e que das tecnologias mais eficientes atualmente em células fotovoltaicas ambas as concorrentes tem um bom desempenho, sendo preciso identificar qual a melhor tecnologia adequada para a irradiação solar frequente no local em que será instalado.

**Palavras-chaves:** Geração Fotovoltaica, Geração Distribuída, Energia Limpa.

## ABSTRACT

One of the main energies that has been taking on large scale is clean and renewable energy, where companies target the economy for the end consumer, natural and unforgettable substances, with many benefits for the environment, those that use few environmental resources. This paper aims to analyze the feasibility of implementing a power generation system through photovoltaic panels distributed in a specific area of the company Rodoparaná Implementos Rodoviários Ltda, in the city of Lages (SC) / Brazil. For this, a review of the basic concepts and works related to the proposed theme was performed. In addition, the available technologies are available, seeking to analyze the best configuration of a solar energy generation system with the objective of reducing the expenses with electric energy, contributing to the sustainability of such facilities. As the result was proposed for the installation of 26 modules with a value of 380W each, totaling 9.88 kWp for single crystalline technology, and 24 modules of 405W each, totaling 9.72 kWp. The results of the analysis show a 100% reduction in electricity consumption proven by the electricity utility (CELESC) when compared to the history of average electricity consumption. The investment cost of all systems was calculated at R \$ 38,602.41 for monocrystallines and R \$ 35,081.51 for polycrystalline. The estimated turnaround time was approximately 3 years. At the end of the work completed, if the alternative photovoltaic generation system is a good financial investment, in addition to contributing to the sustainable development of the country, and that the most efficient photovoltaic cell technologies currently performing such as performing well, is what should be used what is the best technology suitable for solar frequency irradiation in the place where it will be installed.

**Keywords:** Photovoltaic Generation, Distributed Generation, Clean Energy.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fontes de Energia Elétrica .....	22
Figura 2 - UHE identificada como a maior predominância no Brasil. ....	23
Figura 3 - Breve esquema de geração centralizada .....	25
Figura 4 - Comparação entre GC e GD .....	27
Figura 5 - Patente do Modelo do Painel Solar.....	28
Figura 6 - Exemplo coletor térmico.....	29
Figura 7 - Representação captação radiação solar para energia elétrica .....	30
Figura 8 - Movimentação da terra, eixo imaginário ao sol.....	31
Figura 9 - Média diária insolação solar no Brasil.....	32
Figura 10 - Estrutura módulo fotovoltaico .....	33
Figura 11 - Análise consumo atual da rede elétrica período de um ano.....	36
Figura 12 - Fatura energia elétrica mês de agosto .....	37
Figura 13 - Análise geração mensalmente de energia elétrica através UFV .....	38
Figura 14 - Localização de coordenadas da GD.....	39
Figura 15 - Níveis de radiação solar em Santa Catarina .....	40
Figura 16 - Controle inflação x conta de luz. ....	41
Figura 17 - Esquema entrada instalação conversor para instalação da GD.....	44
Figura 18 - Materiais necessários para instalação da GD.....	45
Figura 19 - Módulo Canadian Perc 380w monocristalino.....	46
Figura 20 - Inversor Sofar 12KTL-X .....	47
Figura 21 - Tabela características técnicas conversoras SOFAR.....	47
Figura 22 - Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS).....	48
Figura 23 - String Box 1000V .....	48
Figura 24 - Esquema Aterramento Sistema Fotovoltaico.....	49
Figura 25 - Cabo solar e conectores .....	50
Figura 26 - Características técnicas dimensionamento cabos solares .....	50
Figura 27 - Sistema remoto WEB .....	50
Figura 28 - Análise geração mensalmente de energia elétrica através UFV.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Eficiência de conversão e custo de células solares.....	15
Tabela 2 - O Brasil possui no total 8.050 empreendimentos em operação, totalizando 167.162.778 kW de potência instalada.....	23
Tabela 3 - Níveis de radiação solar em Santa Catarina. ....	40
Tabela 4 - Irradiação Média mensal e diária .....	42
Tabela 5 - Consumo diário em kWh.....	42
<i>Tabela 6 - Materiais e peças para instalar sistema UFV conforme projeto. ....</i>	<i>44</i>
Tabela 7 - Payback em 25 anos de vida útil dos módulos.....	52
Tabela 8 - Materiais e peças para instalar sistema UFV conforme projeto de módulos policristalinos. ....	54
Tabela 9 - Payback em 25 anos de vida útil dos módulos policristalinos. ....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	- Anotação de Responsabilidade Técnica
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
NBR	- Norma Brasileira
R\$	- Real
SIN	- Sistema Interligado Nacional
USD	- Dólar dos Estados Unidos
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
UHE	- Usina Hidrelétrica
FV	- Fotovoltaica
GC	- Geração Centralizada
GD	- Geração Distribuída
ONS	- Operador Nacional de Sistema Elétrico
AT	- Alta Tensão
PIS	- Programa de Integração Social
COFINS	- Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
CC	- Corrente Contínua
CA	- Corrente Alternada
UV	- Ultravioleta
MPPT	- Maximum Power Pointing Tracker – Ponto Máximo de Potência
DPS	- Dispositivo Contra Surtos Elétricos
WEB	- Rede
CGH	- Central geradora hidráulica
PCH	- Pequena central hidrelétrica
EOL	- Usina eolioelétricas
UTN	- Usina termoneucleares
UTE	- Usina termelétrica
UFV	- Usina fotovoltaica
CGU	- Central geradora unid-elétrica

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	- Porcentagem
GW	- Gigawatt
kW	- Quilowatt
kWh	- Quilowatt-hora
kWh/m <sup>2</sup>	- Quilowatt-hora por metro quadrado
kWp	- Quilowatt-pico
MW	- Megawatt
V	- Volt
kW/m <sup>2</sup>	- Quilowatt por metro quadrado
W/m <sup>2</sup>	- Watt por metro quadrado
MWp	- Megawatt-pico
m	- Metro
m <sup>2</sup>	- Metro quadrado
W	- Watt

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	Delimitações do tema .....	17
1.2	Justificativa.....	17
1.3	Objetivo Geral .....	18
1.3.1	Objetivos Específicos.....	18
1.4	Metodologia.....	19
1.5	Estrutura dos capítulos .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1	Geração de energia .....	21
2.2	Energia elétrica no Brasil .....	23
2.3	Geração Centralizada.....	24
2.4	Geração Distribuída.....	26
2.5	Energia Solar .....	27
2.6	Princípio de Funcionamento .....	29
2.7	Energia Solar Térmica .....	29
2.8	Energia Solar Fotovoltaica .....	30
2.9	Irradiação solar .....	31
2.10	Módulos fotovoltaicos .....	32
<b>3</b>	<b>PROJETO DE PESQUISA</b> .....	<b>36</b>
3.1	Proposta comercial para instalação de módulos Monocristalinos.....	36
3.2	Instalação do sistema .....	42
3.3	Análise financeira instalação sistema fotovoltaico com módulos monocristalinos .	51
3.4	Proposta Comercial para Instalação de Módulos Policristalinos .....	53
3.5	Análise financeira instalação sistema fotovoltaico módulos policristalinos .....	54
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica as fontes de geração de energia disponíveis atualmente são, formas indiretas de energia solar (hidráulica, biomassa, eólica, entre outras) (ANEEL 2005). Atualmente, com o desenvolvimento das indústrias de equipamentos, há um crescimento na aplicação da energia fotovoltaica, se apresentando como uma alternativa confiável para reduzir os insumos com energia elétrica (PEREIRA, 2017).

Atualmente no Brasil, os sistemas fotovoltaicos de geração de eletricidade, visam ao atendimento de comunidades isoladas da rede de energia elétrica e ao desenvolvimento regional. Além aproveitamento da energia solar para aquecimento de água tem adquirido importância nas regiões Sul e Sudeste do País, onde uma parcela expressiva do consumo de energia elétrica é destinada a esse fim, principalmente no setor residencial (ANEEL, 2005).

O termo fotovoltaico vem do grego (Phos), que significa "luz", e em "volt", a unidade de força eletromotriz, o volt, que vem do sobrenome do físico italiano Alessandro Volta, inventor da pilha. O termo tem sido usado desde 1849. É a energia elétrica produzida pela luz solar, podendo-se obter resultados em dias chuvosos e nublados (PORTAL SOLAR, 2016). Usando um sistema de células fotovoltaicas feitas de materiais como silício e semicondutores para o processo de conversão de energia solar em elétrica, com a radiação solar sobre uma célula fotovoltaica os elétrons dos materiais se agitam assim gerando energia. É uma energia totalmente limpa, o seu funcionamento não gera emissão de gases e poluentes para o meio ambiente, é totalmente renovável devida a inesgotável capacidade do sol de gerar energia (PORTAL SOLAR, 2016).

A radiação solar pode ser diretamente convertida em energia elétrica, por meio de efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro se caracteriza pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, quando tal junção está a uma temperatura mais elevada do que as outras extremidades dos fios. Embora muito empregado na construção de medidores de temperatura, seu uso comercial para a geração de eletricidade tem sido impossibilitado pelos baixos rendimentos obtidos e pelos custos elevados dos materiais (ANEEL, 2005).

O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de

células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25% (GREEN et al., 2000).

Para a geração de eletricidade em escala comercial, o principal obstáculo tem sido o custo das células solares. Atualmente os custos de capital variam entre 5 e 15 vezes os custos unitários de uma usina a gás natural que opera com ciclo combinado. Contudo, nos últimos anos tem-se observado redução nos custos de capital. Os valores estão situados na faixa de US\$ 200 a US\$ 300 por MWh e entre US\$ 3 e US\$ 7 mil por kW instalado (Tabela 1) (GREEN et al., 2000).

Tabela 1 - Eficiência de conversão e custo de células solares.

Tipo de célula	Eficiência (%)			Custo (US\$/Wp)
	Teórica	Laboratório	Comercial	
Silício de cristal simples	30,0	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício concentrado	27,0	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício policristalino	25,0	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício amorfo 17,0	13,0	4 a 7	3 a 5	-

Fonte: (GREEN et al., 2000).

A civilização humana e o ecossistema terrestre estão entrando em choque, e a crise climática é a manifestação mais proeminente, destrutiva e ameaçadora desse embate. (GORE, 2010). Considerando o grande potencial solar energético do Brasil, a energia solar fotovoltaica tornou-se mais conhecida e ampliou seu mercado econômico e acadêmico (ALMEIDA, 2016).

A reação nuclear predominante no Sol, responsável por sua energia, é a fusão dos núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio. Nessa reação, uma quantidade imensa de energia é liberada à medida que a matéria é convertida em energia: aproximadamente quatro bilhões de toneladas por segundo. A radiação solar global incidente varia em diferentes locais da superfície da Terra. Enquanto uma superfície horizontal no sul da Europa Ocidental (sul da França) recebe em média, por ano, uma radiação de 1600 kWh/m<sup>2</sup> ou mais e no norte a energia varia entre 800 e 1200 kWh/m<sup>2</sup>, uma superfície no deserto do Saara recebe 2600 kWh/m<sup>2</sup> por ano, praticamente o dobro da média europeia. (Marques C.R.; Krauter C.W.S.; Lima C.L.; 2009)

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente no Nordeste brasileiro. Na região do semiárido está o melhor índice, com valores típicos de 200 a 250

W/m<sup>2</sup> de potência contínua, o que equivale de 1752 a 2190 kWh/ m<sup>2</sup> por ano de radiação incidente. Isso coloca a região entre os locais do mundo com maior potência de energia solar (Marques C.R.; Krauter C.W.S.; Lima C.L.; 2009).

Alguns Estados da região nordestina necessitam de melhorias no abastecimento elétrico. No estado do Maranhão 16% das residências carecem de energia elétrica. (VIANA, F.; ARY, J.; 2005). O estado do Piauí apresenta o menor índice de eletrificação do País, com aproximadamente 25% da população sem energia elétrica em todo o Estado, chegando a 62,78% na área da zona rural. No Estado do Ceará, por ser eminentemente um importador de energia, há a necessidade de se aumentar a geração de energia elétrica própria. (Marques C.R.; Krauter C.W.S.; Lima C.L.; 2009).

Neste sentido, o uso de Energia Solar em comunidades distantes, na zona rural, apresenta-se como uma boa alternativa. O Estado de Rio Grande do Norte é totalmente dependente da importação de energia elétrica, portanto, há necessidade local de geração elétrica, seja através das energias alternativas (energia eólica, energia solar), ou mesmo através das usinas termelétricas. Paraíba atende com energia elétrica 98% dos domicílios (Marques C.R.; Krauter C.W.S.; Lima C.L.; 2009).

A grande preocupação do governo local é incentivar a cogeração por fontes não convencionais, contribuindo em nível de sustentabilidade, também, com a questão ambiental. Existem oportunidades para a exploração de energia solar, eólica e de biomassa. O estado de Pernambuco não apresenta grandes problemas de fornecimento de energia elétrica. A capacidade instalada é bem maior do que o consumo. Entretanto, existe a necessidade de complementar a implantação do sistema de eletrificação rural do Estado. Por estar localizado próximo a algumas usinas hidrelétricas do Nordeste, o estado de Alagoas não tem tido grandes problemas no que diz respeito ao fornecimento de energia elétrica através de fontes tradicionais. Entretanto, com a eminente possibilidade de crescimento econômico a taxas elevadas, há a necessidade de se buscar a geração de energia através das fontes alternativas (Marques C.R.; Krauter C.W.S.; Lima C.L.; 2009).

O estado de Sergipe encontra-se numa situação de autossuficiência na produção energética, tendo em vista possuir em seu território uma das principais usinas hidrelétricas do Nordeste (Usina Hidrelétrica de Xingó). A Bahia é o Estado nordestino com maior capacidade de geração de energia elétrica, devido à presença, em seu território, dos complexos hidrelétricos de Paulo Afonso e Salgadinho, entretanto, é o Estado de maior consumo, o que vem aumentando nos últimos anos devido ao crescimento econômico. Assim sendo, devem



ser feitos investimentos tanto na capacidade de geração como na transmissão de energia elétrica. Cabe destacar que a Bahia possui elevados níveis de incidência de radiação solar e baixa variação destes níveis ao longo do ano, o que constitui condição favorável para o uso de energia solar. (Marques C.R.; Krauter C.W.S.; Lima C.L.; 2009).

O custo de manutenção do sistema de geração fotovoltaico é relativamente baixo em comparação com outros tipos de geração de energia, seus componentes tem o tempo de vida útil de 30 anos (Freitas G.M.; Miranda R.A.A; 2016).

Nesse trabalho, apresenta quais seriam as possibilidades de implementação e de custo de viabilidade, para que a empresa Rodoparaná Implementos Rodoviários Ltda, na cidade de Lages (SC)/ Brasil, diminuía seus custos anuais com energia elétrica, a partir do momento em que seja realizado a instalação da geração distribuída on-grid (sistema conectado à rede), de forma a se identificar ao longo da utilização desse sistema qual será seu retorno financeiro, contribuindo para a redução de despesas e a dependência de outras fontes de geração, contribuindo ainda para o meio ambiente ao produzir energia limpa, renovável e sem emissão de poluentes.

### 1.1 Delimitações do tema

A implantação de geração distribuída (GD) de energia solar fotovoltaica na empresa Rodoparaná Implementos Rodoviários Ltda na cidade de Lages (SC)/Brasil de forma que a mesma seja significativamente mais eficiente com relação ao uso da energia convencional, comparando analiticamente com os gastos obtidos durante um ano de consumo e o retorno dos investimentos em longo prazo.

### 1.2 Justificativa

O Brasil possui grandes espaços territoriais, além de uma matriz energética provida, em sua grande maioria, por usinas hidrelétricas, que se localizam a quilômetros de distância dos grandes centros urbanos e industriais. Desse modo, apresenta uma complexa rede elétrica aérea cuja topologia é denominada de sistema de transmissão. A função do sistema de transmissão é interligar a geração até os grandes centros, manipulando grandes montantes de energia. Essa estrutura requer um grande investimento para a manutenção e operação, sendo por sua vez repassado aos consumidores.

Diariamente incide sobre a superfície da terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das formas de gerar potência elétrica.

Do ponto de vista da eficiência energética, a geração direta de eletricidade a partir da energia solar, pode ser considerada bastante ideal, visto que geração e consumo de energia têm coincidência espacial, minimizando assim as perdas por transmissão comuns aos sistemas geradores centrais tradicionais.

O presente trabalho visa contribuir nesse tema, propondo um sistema no qual são utilizados sistemas fotovoltaicos na empresa Rodoparaná Implementos Rodoviários Ltda na cidade de Lages (SC)/Brasil, exemplificando tanto para outros projetos de âmbitos maiores, para outros países, o grande potencial da energia solar. Uma fonte de energia limpa e renovável, onde traz benefícios ao ecossistema, além do retorno do investimento tanto para pequenos consumidores como grandes utilizadores da energia elétrica convencional.

### 1.3 Objetivo Geral

Realizar o estudo de viabilidade econômica, para a instalação de geração distribuída de energia solar fotovoltaica na empresa Rodoparaná Implementos Rodoviários Ltda na cidade de Lages (SC)/Brasil.

#### 1.3.1 Objetivos Específicos

- Dimensionar quantas placas fotovoltaicas serão necessárias para atender a demanda da empresa;
- Identificar qual o material da placa mais adequado a região de SC;
- Identificar qual será o inversor responsável pelo melhor funcionamento do sistema;
- Realizar pré-orçamento de peças e de mão de obra necessários para conclusão;
- Fazer o estudo de viabilidade da implantação, para retorno financeiro ao longo de sua utilização.

## 1.4 Metodologia

Para execução do projeto foram realizadas revisão de literatura sobre Placas fotovoltaicas, geração distribuída, energia solar em artigos científicos, onde foi retirado todo o referencial teórico e embasamento para a escolha do melhor material para instalação e técnica a ser utilizada.

Foi utilizado uma fatura referente ao mês de agosto de 2019, onde na mesma estão apresentados os valores do consumo de energia, e a partir delas foram realizados cálculos de consumo médio no período de um ano. Assim foi dimensionado o consumo da empresa e a quantas placas fotovoltaicas seriam necessárias para suprir o consumo obtido através dos cálculos no período total identificado. Usando orientações como as coordenadas da localização da empresa, foi possível identificar o direcionamento correto das placas, para melhor aproveitamento da luz, e pôr fim a realização de gráficos de colunas, para exibir no Dashboard (painel de monitoramento) os resultados obtidos.

Após todos esses resultados obtidos, entramos em contato com várias empresas responsáveis por todos os materiais necessários para a instalação do sistema fotovoltaico, obtendo o orçamento final.

Para o dimensionamento das placas e do sistema necessário para suprir a demanda da empresa, foi necessário realizar cálculos da irradiação solar no local em que será instalada, qual a potência nominal total, qual o consumo diário em kWh, qual a inclinação das placas para obter seu melhor rendimento, da posição atual em que ambas irão estar inclinadas, identificar qual módulo será de melhor eficiência para geração de energia ao período todo da irradiação incidente e principalmente necessário identificar qual será o melhor custo benefício do estudo de caso, demonstrando todas as conclusões descritas ao longo do trabalho.

## 1.5 Estrutura dos capítulos

Este trabalho será dividido em quatro capítulos que são enumerados e descritos da seguinte forma:

- Capítulo 1 - INTRODUÇÃO: Contém uma sucinta explicação sobre a situação da energia renovável, principalmente a energia solar no Brasil, delimitação do assunto escolhido, justificativa, problema, os principais objetivos deste trabalho, metodologia e a importância de abordarmos esse tema.

- Capítulo 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: Neste capítulo será abordado sobre quais são as energias existentes no mundo, quais as energias mais utilizadas no Brasil, também um breve histórico sobre o início da energia solar, quais os responsáveis por realizar essa descoberta, e quais os tipos de células e módulos fotovoltaicos que temos atualmente.

- Capítulo 3 – PROJETO DE PESQUISA: Contém todo o conteúdo principal que deu o interesse e início desse trabalho de conclusão, onde está identificado as propostas comerciais que servem para serem apresentadas ao cliente, quais os materiais necessários para que aconteça essa instalação, dados importantes para que seja possível identificar qual será o desempenho dos módulos fotovoltaicos, e principalmente os valores totais para a aquisição desse tipo de sistema GD com objetivo de visualizar qual será o retorno financeiro com relação ao investimento total.

- Capítulo 4 – CONCLUSÃO: Nesta sessão está sendo identificado quais as conclusões obtidas ao final de todo o trabalho realizado, expondo quais os resultados foram encontrados, e a viabilidade de execução.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 Geração de energia

A energia elétrica é uma das principais causas responsáveis pelo bem-estar e futuro do ser humano, onde nos acompanha a todo e qualquer lugar, sem ela, muitas tarefas decorrentes do nosso dia a dia, não seriam possíveis executá-las. Atualmente temos no mundo 6 maneiras de gerarmos energia elétrica:

- Energia Nuclear: pode ser reconhecida também, como energia atômica, a qual funciona a partir da fissão nuclear de materiais radioativos como urânio-235. Segundo dados do ano de 2014, a França é uma das principais dependentes dessa utilização da energia nuclear, representando 75% da eficiência energética no país. Alguns pontos positivos, são que quando estão em funcionamento, não são poluentes ao meio ambiente, não necessitam de grandes áreas para serem instaladas, e também poderão ser abastecidas durante muito tempo, haja vista que urânio é um material relativamente abundante na natureza. Alguns pontos negativos são os grandes perigos que essa energia possa causar, pensando a respeito de algum acidente atômico, ou descarte incorreto do material de combustão.

- Combustíveis Fósseis: atualmente esse tipo de combustível representa 75% da necessidade energética mundial, utilizadas por veículos, indústrias, residências entre outros. Originou-se a partir da decomposição de plantas ou animais que podem ser encontrado na camada terrestre, mas podemos adotar como pontos negativos, que o mesmo não é renovável e também gera emissão de CO<sup>2</sup> ao ser realizada a combustão desse material. Temos três principais tipos de materiais fósseis, denominados de petróleo, gás natural carvão mineral ou natural.

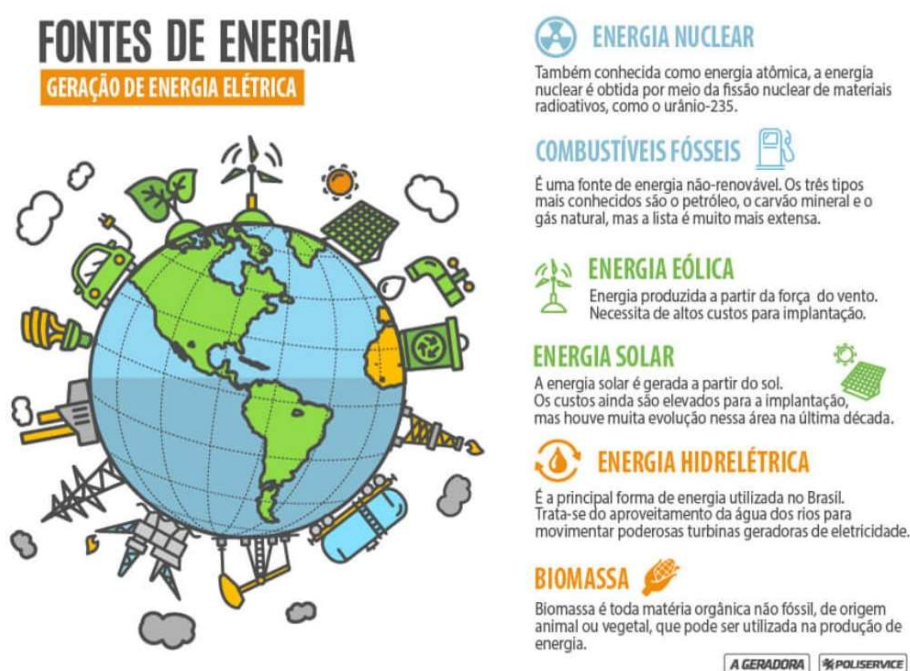
- Energia Eólica: esta energia é uma das energias mais limpas e renováveis que temos nos dias de hoje, onde seu princípio de funcionamento é a partir do vento que é responsável por gerar energia cinética, em nível do Brasil representa 3,5% da matriz energética. Pontos positivos podemos considerar fonte inesgotável de abastecimento (vento), fácil instalação, retorno financeiramente após alguns anos de utilização, não emite gases, nem gera resíduos. Algumas desvantagens são apenas o impacto visual que ambas causam, e a poluição sonora devido ao barulho projetado a partir dos movimentos das pás eólicas (A GERADORA, 2018).

- Energia Solar: esta energia vem se popularizando nos dias de hoje. O presente trabalho será responsável por identificar e apontar quais são os benefícios que elas nos trazem, tanto financeiramente quanto em nível do meio ambiente.

- Usina Hidrelétrica: esse modelo de usina para geração de energia elétrica funciona a partir do reaproveitamento do movimento cinético das correntezas da água, que são responsáveis pelas movimentações das turbinas, onde tem-se aproximadamente 3 modelos. Alguns pontos positivos, podemos destacar uso de fonte renovável, não poluição ao ar e como pontos negativos pode destacar o desmatamento necessário para recreação das usinas, e alteração nos fluxos dos rios, causando alguns impactos ambientais, como aquecimento, entre outros.

- Biomassa: é toda a matéria orgânica que vem de origem vegetal ou animal, que é utilizada para produção de energia, obtida através da decomposição de vários recursos renováveis como, madeira, resto de alimentos, resíduos agrícolas entre outros. Podemos identificar como pontos positivos, o baixo custo, a baixa emissão de gases, e a grande variedade de materiais que podem ser utilizados. Como pontos negativos, podemos identificar a eficiência reduzida, alguns impactos ambientais em florestas, e também alguns biocombustíveis líquidos pode gerar enxofre, que é uma das responsáveis causas pelo aumento da chuva de ácido (A GERADORA, 2018).

Figura 1 - Fontes de Energia Elétrica



Fonte: (A GERADORA,10/2019)

## 2.2 Energia elétrica no Brasil

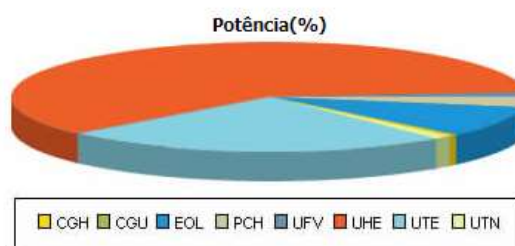
Segundo dados do IBGE apresentados no ano de 2019, o Brasil é um país que tem aproximadamente 210 Milhões de habitantes, se destacando mundialmente como a quinta nação mais populosa do mundo. Dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), apontam que o país atualmente conta com aproximadamente 61,5 Milhões de unidades consumidoras, abrangendo 99% dos municípios brasileiros, sendo 85%, unidades consumidoras residenciais (ANEEL,2019).

Tabela 2 - O Brasil possui no total 8.050 empreendimentos em operação, totalizando 167.162.778 kW de potência instalada

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	719	767.609	767.423	0,46
CGU	1	50	50	0
EOL	624	15.293.189	15.274.293	9,11
PCH	425	5.316.955	5.270.902	3,14
UFV	3.759	2.309.072	2.295.072	1,37
UHE	217	102.964.008	101.054.768	60,28
UTE	3.023	42.533.488	40.987.425	24,45
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,19
<b>Total</b>	<b>8.770</b>	<b>171.174.371</b>	<b>167.639.933</b>	<b>100</b>

Fonte: (ANEEL, 2019).

Figura 2 - UHE identificada como a maior predominância no Brasil.



Fonte: (ANEEL, 2019)

Uma das principais maneiras de se definir um país com o título de desenvolvido, e a maneira de como a população tem abundantemente os serviços de infraestrutura, isso inclui o saneamento básico, redes de telecomunicações, energia, transportes e principalmente a saúde. Podemos destacar a energia como um dos segundos fatores mais necessários para o desenvolvimento econômico da sociedade, onde nele envolve-se o apoio mecânico, elétrico, e térmico, determinantes.

Essas características foram as responsáveis para que fosse estudado na energia, qual seria o desenvolvimento necessário para atingir maior qualidade e eficiência tanto no consumo como distribuição dos recursos energéticos.

Quando falamos em geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, ao longo do tempo, o que nos vem à cabeça logo, é de como será que a população tem fácil acesso local a rede?

O que é necessário para que ocorra esse acesso ao meio alternativo de energia, não é nada mais nada menos que o nosso Sistema Interligado Nacional (SIN), que o qual é composto pelo conjunto de usinas, linhas de transmissão, subestações e ativos de distribuições.

Podemos distinguir o SIN como uma grande “conexão elétrica”, pois a mesma é responsável por abranger a maior parte do Brasil, constituídas ao longo do tempo pelas instalações padrões nas principais regiões do país. Dentro desse sistema, temos também algumas unidades de menor porte, que no qual são chamados de sistemas isolados, que não são conectados ao SIN, onde são concentrados a maioria na região da Amazônia. Esses sistemas isolados, geralmente são necessários quando a conexão entre as redes elétricas, não são possíveis, devido a florestal densa e heterogênea, impossibilitando a conexão dessas redes ao SIN (ONS, 2019).

### 2.3 Geração Centralizada

Geração centralizada (GC), é o termo utilizado para determinar o setor gerador de energia, que geralmente são usinas térmicas e hidrelétricas. A maiorias das GC's ficam localizadas a uma longa distância do consumidor final, e então necessita das redes de transmissão para que aconteça o transporte de energia elétrica para o consumidor final, muitas das vezes, localizadas em locais de difíceis acessos (FARIA, 2019). Podemos distinguir uma GC dividindo-a em 5 sistemas:

- Geração: usinas térmicas ou hidrelétricas centralizadas de peque ou grande porte, responsáveis pela geração da energia elétrica;
- Transmissão: redes e linhas de transmissão, responsáveis pela condução de energia elétrica, geralmente corrente alternada em Alta Tensão (AT);
- Subtransmissão: intermediação entre as linhas de transmissão e subestações elevadoras ou rebaixadoras;



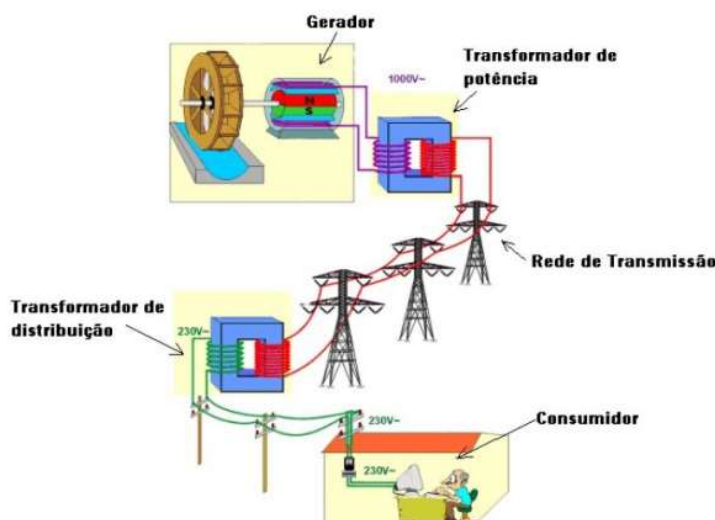
- Distribuição (primária e secundária): as redes primárias são as que ficam localizadas no ponto mais alto dos postes, transmitindo 13,8 KV, já as redes secundárias são as localizadas mais abaixo que já passaram pelos transformadores, transmitindo 127/220V;
- Consumo: é o principal responsável por todos os outros sistemas citados acima, visando sempre o bem-estar do consumidor.

Os sistemas elétricos para serem considerados de ótima qualidade, precisam ser seguros, econômicos, confiáveis, e principalmente instalados de acordo com as normas ambientais. Durante anos no Brasil, e ainda atualmente, a GC foi adotada para o sistema elétrico, no Brasil, podemos usar como referência de uma GC a usina Itaipu.

Segundo dados a ITAIPU é Líder mundial em produção de energia limpa e renovável, tendo produzido mais de 2,6 bilhões de Megawatts-hora (MWh) desde o início de sua operação, em 1984. Com 20 unidades geradoras e 14.000 MW de potência instalada, fornece 15% da energia consumida no Brasil e 90% no Paraguai. (ITAIPU, 2019)

Apesar das Gerações Centralizadas conforme figura 3 serem umas das principais formas de geração e transmissão de energia elétrica, foi na década de 70, em que usinas de grande porte sofreram um choque com relação as preocupações ambientais, onde as crises energéticas, e alguns componentes causadores de prejuízos bilionário nas usinas nucleares, foi que levou o questionamento sobre a geração centralizada, porém para que acontecesse a sua substituição, seriam necessárias outras maneiras, viáveis economicamente tanto para o consumidor quanto para o gerador, não se esquecendo dos impactos ambientais, que hoje em dia são um dos fatores mais agravantes para a intervenção de novas tecnologias (ROMAGNOLI, 2005).

Figura 3 - Breve esquema de geração centralizada



Fonte: (INFOPETRO, 05/2017)

## 2.4 Geração Distribuída

Com o grande avanço da tecnologia, nas questões de gerações de energia, abrangendo as questões ambientais, restrições de grandes linhas de transmissão, distribuição e complexidade de instalações, visando a maior economia, tornou-se possível o estudo para viabilidade de utilização de energias renováveis como fontes geradores de energias para grandes ou pequenos consumidores, sendo mais específica a Geração Distribuída (GD). Segundo a ANNEL (2015), o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade (ANEEL. SRD 2015).

A Geração Distribuída trata-se de um sistema responsável para geração de energia elétrica, que são indicadas principalmente para serem instaladas próximas às cargas, para reduzir o custo com linhas e redes de transmissão. Atualmente com atualizações periodicamente em busca de um sistema com melhor eficiência, já é possível obter sistemas de GD com dimensões bastante reduzidas, com custos baixos de produção. Podemos salientar que esse meio de energia alternativa, pode ser bastante utilizado como solução para locais em que o acesso à energia elétrica é nulo, podendo compará-la a um sistema isolado, no caso da GC.

Grande parte dos componentes necessários para a implementação do sistema GD, é de origem estrangeira, o que acaba contribuindo de forma negativa para a instalação de micro centrais em território nacional, devido ao seu custo, podemos ter como exemplo o relé direcional de potência, que atua como uma proteção do sistema elétrico, responsável por não permitir o fluxo contrário da potência, pois, caso esta potência chegue ao gerador, o mesmo passará a trabalhar como um motor, deixando ineficiente sua potência. Os pontos positivos que se destacam desse meio de geração são:

- Redução de perdas elétricas, devido a diminuição de linhas de transmissão que acarretam o efeito joule;
- Confiabilidade de microgrids por se tratar de sistema com fonte própria de geração, com cargas altamente controláveis e com dispositivos de armazenamento, ou interligadas ao gerenciamento convencional, podendo fornecer energia para a GC, convertendo em crédito para o gerador;
- Diminuição de investimentos, precisando apenas componentes para realizar a instalação in loco entre a GD e os consumidores;

- Agilidade no sistema de regularização, para que a GD se torne totalmente capacitada, e com licenciamento de implantação de projeto mais rápida, devido a sua instalação ser mais simples;
- Impactos ambientais, pois não necessitam de alteração alguma na geografia ou terreno em que será implantada, devido a sua captação ser fotovoltaica.

Figura 4 - Comparação entre GC e GD



Fonte: (INFOPETRO, 2017)

## 2.5 Energia Solar

Hoje em dia quando vemos painéis solares, tomando conta dos telhados das casas, nem se imagina que a partir do século VII já se iniciava a utilização do sol, como meio para acender fogueiras, utilizando o vidro como uma lupa.

No século III a.C, foi onde Romanos e Gregos utilizavam os espelhos, para focalizar a luz e acender tochas para cerimônias religiosas, que ficou conhecida como “espelhos queimadores” (LUKE, 2018)

Quando falamos na questão do desenvolvimento do painel solar fotovoltaico, não se sabe ao certo qual foi a data e qual foi o inventor responsável por essa tecnologia, mas a maioria das histórias apontam que foi Edmond Becquerel, quem observou este efeito fotovoltaico, elemento fundamental para a criação dos primeiros painéis de Selênio.

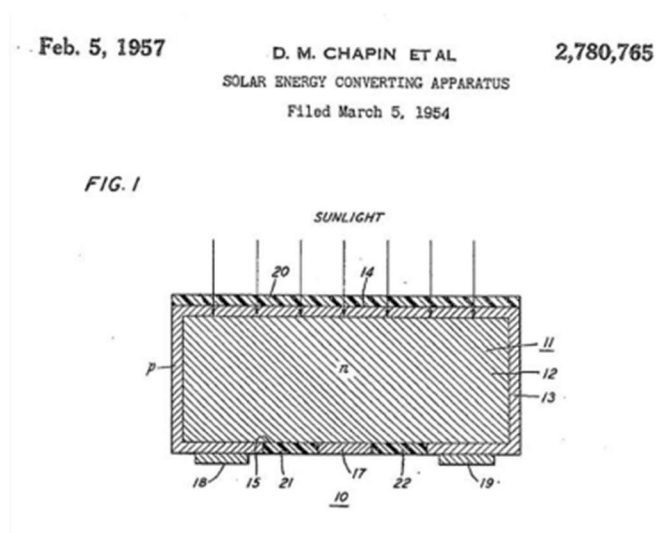
Em 1873, engenheiro electricista inglês Willoughby Smith, foi quem deu um grande passo para o avanço da energia fotovoltaica, quando o mesmo descobriu propriedade fotocondutiva no selênio, que abriu caminho para os cientistas William Grylls Adams e

Richard Evans Day em 1876, observarem quais seriam esses efeitos no selênio quando exposto a luz.

Em 1879, foi quando Becquerel descobriu esse efeito e qual sua reação há um eletrólito. Em 1883, foi quando se deu o primeiro surgimento da célula FV de selênio, porém com eficiência apenas de 1%. Charles Fritts o responsável, foi quem cobriu o selênio semiconductor com uma camada fina de ouro, dessa maneira, formando junções entre eles. Em 1930, foi onde Schottky estabeleceu a teoria do efeito FV no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica Antoine Becquerel Walter Schottky (LUKE, 2018).

Em 1954, o químico Fuller, foi quem substituiu o gálio por arsênio (formando um substrato do tipo n) seguido por uma difusão de boro (formando uma zona do tipo p à superfície). Onde as novas células podiam agora ser facilmente soldadas e revelaram uma eficiência recorde, atingindo 6%. No mesmo ano o físico Pearson, e o engenheiro Chapin, e o químico Fuller, apresentaram a primeira célula solar na reunião anual da National Academy of Sciences, em Washington, e anunciada numa conferência de imprensa no dia 25 de Abril de 1954 (LUKE, 2018).

Figura 5 - Patente do Modelo do Painel Solar



Fonte: (WESOFF ERIC, 2014)

Em 1958, foi utilizado uma das primeiras células FV para alimentar o satélite Vanguard I, atualmente com o título de satélite mais antigo em órbita. Na década de 60, foram utilizadas aplicações espaciais para tecnologia fotovoltaica. Na década de 70, Lindmeyer realizou vários testes importantes, para os desenvolvimentos nas células fotovoltaicas,

chamadas de células de poly-si. Foi então durante essa década onde foi observado que as aplicações terrestres poderiam superar as aplicações espaciais.

Na década de 80, foi onde iniciaram-se as instalações de centrais fotovoltaicas, piloto de médio porte, onde foram instaladas centenas de kWp na Europa e EUA, quase iniciando a década de 90. Em 1996, as instalações de unidades FV, já estavam aproximadamente em uma produção anual de 80 MWp de células. Em 2000, foi o ano responsável para a utilização de sistemas fotovoltaicos conectados a maioria nas redes, nos países de primeiro mundo. Em 2007, então foi registrado uma produção anual de 4200MWp de células FV (LUKE, 2018).

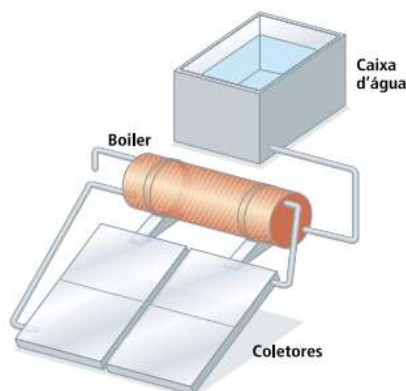
## 2.6 Princípio de Funcionamento

Quando falamos em energia solar, primeiramente precisamos entender sucintamente, quais são as formas de se obtê-la e como é seu funcionamento. A energia solar se dá através da iluminação natural, e também através do calor para o aquecimento, podendo ser chamado de aquecimento solar passivo, onde o mesmo funciona decorrente da penetração ou absorção da radiação solar (ANEEL,2019).

## 2.7 Energia Solar Térmica

Temos o reaproveitamento térmico geralmente utilizado para o aquecimento de fluídos, através de coletores ou concentradores solares. Os coletores são mais específicos em aplicações residenciais, comerciais, entre outros, principalmente para o aquecimento de água conforme figura 6. Os concentradores solares, geralmente requerem temperaturas mais elevadas devido a sua utilização ser mais específica, pode citar como exemplo, sua utilização para a secagem de grãos e a produção de vapor para secagem de madeira (ANEEL,2019).

Figura 6 - Exemplo coletor térmico



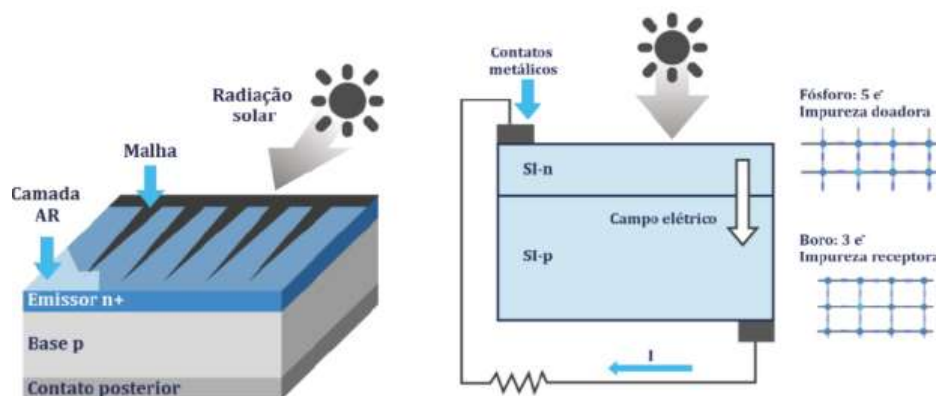
Fonte: (GREEN, M.A 2000)

## 2.8 Energia Solar Fotovoltaica

A energia fotovoltaica, podemos identificar como uma tecnologia modular, montada a partir de estruturas metálicas e painéis pré-moldados, trata-se de um meio de geração de energia elétrica com ausência quase integral da emissão de poluentes e ruídos durante a utilização desse meio de geração.

Usualmente, sendo conhecido por arranjo fotovoltaico, essa energia é constituída por módulos, onde ao longo de sua estrutura comportam células fotovoltaicas que são as principais responsáveis por converter a radiação solar em eletricidade. Ao longo dos anos, mais especificamente a partir da década de 70, temos atualmente uma grande utilização para esse meio de energia alternativa, podendo ser utilizada tanto em áreas urbanas quanto rurais, complementando ou substituindo fontes convencionais (SOLARINOVARE, 2016).

Apesar da grande procura por esse meio de energia renovável, embora em declínio seu alto custo, ainda é um grande fator para se pensar com relação a sua viabilidade, já que devido ao seu valor elevado, acaba dificultando a comprovação do seu retorno financeiro. Em alguns países estrangeiros, o incentivo para o uso dessa fonte de energia é um fator predominante, mas no Brasil, o governo até tentou o incentivo para regiões mais isoladas, mas sem sucesso. Por se tratar de uma tecnologia em tendência atualmente, sua grande procura e produção em grande escala fará com que seu valor seja mais acessível a qualquer consumidor. Em âmbito mundial, ainda não podemos a destinar como uma das principais energias, que poderá substituir a energia da GC, devido a indisponibilidade da radiação solar no planeta em alguns pontos do ano e alguns países específicos. Na figura 7, a forma direta de obtenção de energia elétrica através do painel FV:



Fonte: (SOLARINOVARE, 2016)

## 2.9 Irradiação solar

Os níveis de irradiação solar no plano terrestre, ao que se refere na superfície da terra, têm dois fatores influentes, tais como:

- As estações do ano, devido a ao nível de inclinação do eixo de rotação da terra em relação ao sol em órbita;
- Características regionais, onde se destaca as coordenadas em que se encontra (latitude, altitude, condições meteorológicas).

Essas características, são indispensáveis, devido o eixo imaginário conforme figura 8 em torno do qual a terra gira, constantemente chamado movimento de rotação, e também sua trajetória elíptica que a terra realizar derredor do sol, conhecido como translação ou revolução.

Figura 8 - Movimentação da terra, eixo imaginário ao sol



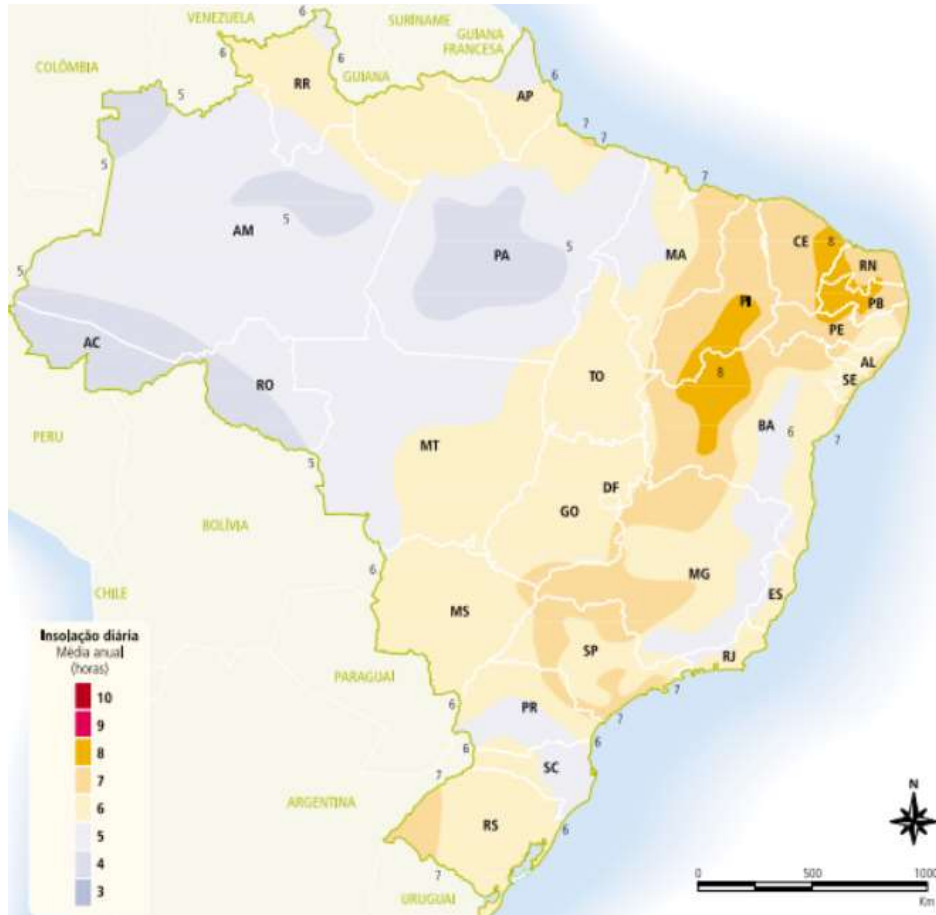
Fonte: (MAGNOLI, D. 1998)

Devido a esses fatores naturalmente serem executados, podemos entender que a duração solar do dia, sempre irá variar em alguns períodos quando o sol estiver abaixo da linha do horizonte

Falando a nível brasileiro, a parte do território está localizada perpendicularmente a linha do equador, e devido a esse fato quase não se é visivelmente possível identificar a variação da duração solar do dia conforme figura 9. A maioria dos setores socioeconômicos do Brasil, estão situados em regiões mais abaixo da linha do equador, desse modo a radiação solar no dia se dá a maior parte durante quase todo seu período claro. Pensando nessa

possibilidade de reaproveitamento o máximo possível da radiação solar, a maneira de que a placa fotovoltaica para geração de energia solar é posicionada, influencia muito no seu rendimento, para esse fator então, o estudo de longitude e latitude do local em que será instalador, deve ser de indispensável.

Figura 9 - Média diária insolação solar no Brasil



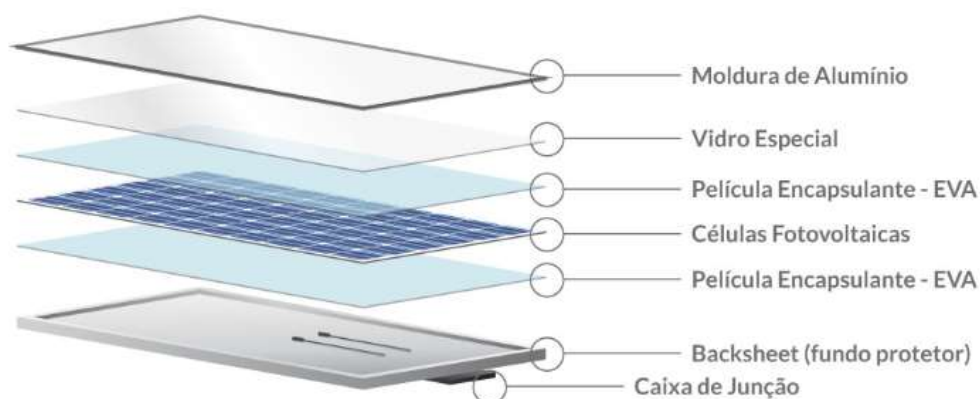
Fonte: (ATLAS, SOLARIMETRICO DO BRASIL. 2000)

## 2.10 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos, mais conhecidos como painéis solares, são os principais responsáveis por toda a captação da irradiação solar, porém quando falamos em placa fotovoltaica, o principal fator que nos interessa é a porcentagem de rendimento que iremos obter com a incidência da radiação na superfície das placas para conversão em energia elétrica. Dentre esses módulos, há uma grande cadeia de desenvolvimento de células, e isto cabe ao consumidor, identificar qual será o mais indicado para sua GD, onde atualmente temos dois modelos de módulos principais logo abaixo na figura 10 segue um breve esquema de como é a estrutura de um módulo fotovoltaico.



Figura 10 - Estrutura módulo fotovoltaico



Fonte: (FONTES, RUY. 05/2018)

Com base nessas células, podemos destacar os seguintes materiais de fabricação:

- Silício (Si): em âmbito mundial, aproximadamente 80% dos painéis existentes, tem alguma variação de Si, no ano de 2018 foi identificado que 85% das instalações existentes tinha esse meio de sistema nos seus módulos fotovoltaicos. Para que a estrutura da célula seja o mais eficiente possível, suas moléculas devem estar alinhadas o mais perfeito possível, e então será melhor sua conversão de irradiação solar para energia elétrica. O que difere o grande aproveitamento desse material, é a forma de como ele é utilizado, já que para melhor desempenho, o tratamento do Si (pureza) acaba tornando-se caro, o que irá ter grande reflexo no custo do módulo (PORTAL SOLAR, 2019).

- Silício mono-cristalino (mono-Si): estrutura monocristalino é nomeada como uma das mais eficientes e também uma das mais antigas sendo fáceis de identificá-las devido a sua forma física de como o (mono-Si) possui, com cor uniforme que indicam alta pureza e cantos arredondados. As características desse cristal, são de Si ultrapuro, chamado de lingotes de Si de forma cilíndrica, formando assim lâminas individuais, tratadas e trabalhadas para transformá-las em células FV. Para obter um melhor reaproveitamento de Si, ambas as células são cortadas as suas extremidades, para melhor encaixe e utilização de área do painel, após isso, ligações em serie e paralelo, o painel já pode ser utilizado. Algumas vantagens desse módulo, podemos destacar eficiência de 15% a 22%, pouco espaço de instalação gerando assim a mesma quantia de energia elétrica, possui uma vida útil maior que 30 anos e funcionalmente conseguem captar radiação solar mesmo com pouca luz, comparando-as com painéis solares policristalinos. Algumas desvantagens, podemos destacar apenas o seu alto custo de fabricação (PORTAL SOLAR, 2019).

- Silício Policristalino (p-Si): os painéis de silício policristalinos também chamados de polisilício (p-Si) e silício multi-cristalino (mc-Si) foram permitidos ao mercado aproximadamente no ano de 1981, onde o princípio de sua estrutura são a base de silício praticamente igual ao mono cristalino, o que os diferenciam é a maneira de como é realizado a fundição de seus cristais. Nesse formato de painel, os cristais de silício são fundidos nas células, preservando a estrutura de vários cristais, por esse motivo deu-se o nome de poli cristalino. Ao observar esse bloco, quando fatiado, é visivelmente possível identificar essa formação de vários cristais. Esse material uma vez fundido para que sejam serrados em blocos quadrados, são fatiados conforme as células quase parecidos como no mono cristalino, a diferença é que são mais fáceis de produzir, o mesmo é idêntico a um único cristal, quando se trata de desempenho como nos danos ao longo de sua utilização, porém são mais ineficientes. Sua eficiência é entre 14% e 20%, tem formato quadrado, com técnica da fundição de aquecimento em forma. Suas vantagens quando se comparados ao mono cristalinos, são menos silício residual no processo de corte das células fotovoltaicas, são mais baratos, e tem vida útil maior que 30 anos. Nas suas desvantagens, temos pouca eficiência devido a menor impureza do silício, geram menor Watts por m<sup>2</sup> e provavelmente irá precisar de mais painéis para gerar a mesma quantidade de Watts se comparado ao mono cristalino (PORTAL SOLAR, 2019).

- Filme Fino (TFPV): os painéis de filme fino, são basicamente formados pela inserção de várias camadas de material fotovoltaico, são conhecidos por terem películas finas (TFPV), e podem ser categorizadas de acordo com o material FV que é escolhido como seu substrato, como Silício amorfo (Si), Telureto de cádmio (CdTe), Cobre, índio gálio seleneto (CIS / CIGS) e células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV). Esse tipo de tecnologia pode obter eficiências entre 7-13% dependendo do tipo de material selecionado, e algumas já estão chegando próximo dos 16%, quase iguais a eficiência dos painéis Policristalinos. No ano de 2015 o painel de filme fino representou aproximadamente 20% do mercado mundial, com material escolhido de Silício Cristalino (PORTAL SOLAR, 2019).

- Silício amorfo (a-Si): esse tipo de material geralmente era utilizado para aplicações em baixa escala, como por exemplo, calculadoras, alguns relógios, mas no entanto a partir de algum tempo, foi possível utiliza-las em larga escala, utilizando uma técnica chama, de empilhamento, onde várias camadas de silício amorfo eram combinadas, resultando em maiores valores na eficiência de sua energia geralmente 6 a 9% (PORTAL SOLAR, 2019).

- Telureto de cádmio (CdTe): esse elemento, até então nos painéis solares de filme fino, foi o único que conseguiu balancear o seu valor e eficiência com relação a painéis solares de silício. Esse tipo de tecnologia opera aproximadamente entre 9 a 16% de eficiência. Hoje podemos dizer que temos instalado mais de 5 GW com base nessa tecnologia CdTe PV devido a instalação da empresa First Solar, onde detém eficiência de aproximadamente 16% (PORTAL SOLAR, 2019).
  
- Seleneto de cobre, índio e gálio (CIS/ CIGS): esse tipo de material, obteve grande sucesso em seu funcionamento, devido ao seu potencial ser maior em termos de eficiência, junto também a diminuição do cádmio (material tóxico encontrado em células solares). Sua fabricação começou a partir de 2011 na Alemanha e hoje em dia, já obtém eficiência de operação entre 10 a 12%, alguns no Brasil ultrapassam os 13% (PORTAL SOLAR, 2019).
  
- Orgânicas (OPV): esses modelos de células, funcionam do princípio do solar de polímero que utilizam eletrônica orgânica, com pequenas moléculas orgânicas condutoras responsáveis pela absorção de luz e transporte de eletricidade a partir da captação da radiação solar. Se trata de uma tecnologia de baixo custo, porém foram utilizadas poucas células de OPV ao decorrer de sua descoberta (PORTAL SOLAR, 2019).

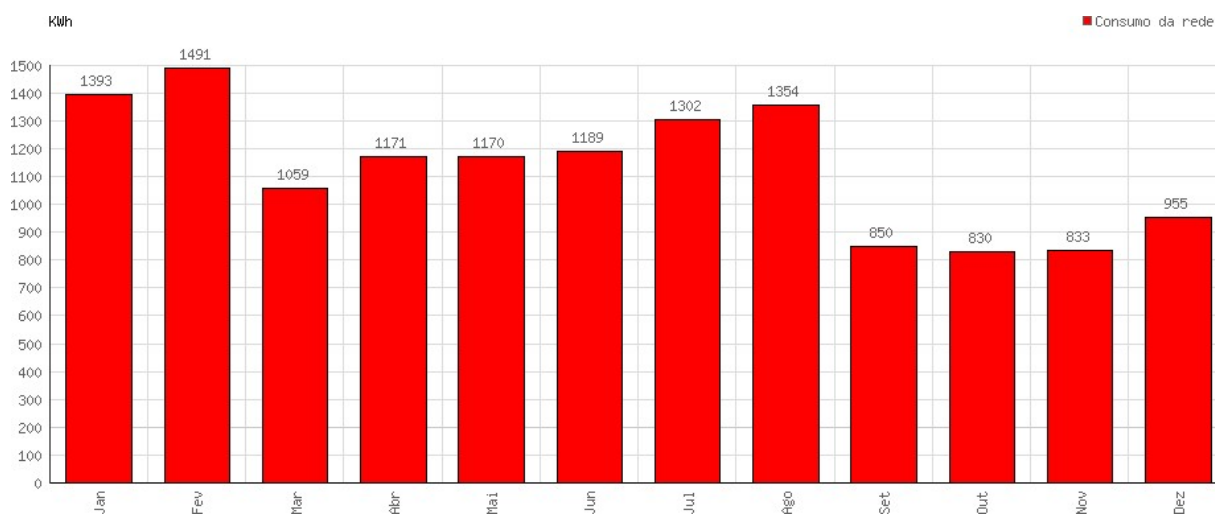
### 3 PROJETO DE PESQUISA

O presente projeto foi desenvolvido a partir de toda introdução e pesquisa necessária, para que possa se instalar na empresa uma unidade de geração fotovoltaica on-grid, ou seja, UFV conectada à rede concessionária normalmente, identificando em quantos anos será realmente obtido o lucro com relação ao investimento. Logo a seguir iremos apresentar quais são os primeiros passos para realização desse projeto.

#### 3.1 Proposta comercial para instalação de módulos Monocristalinos

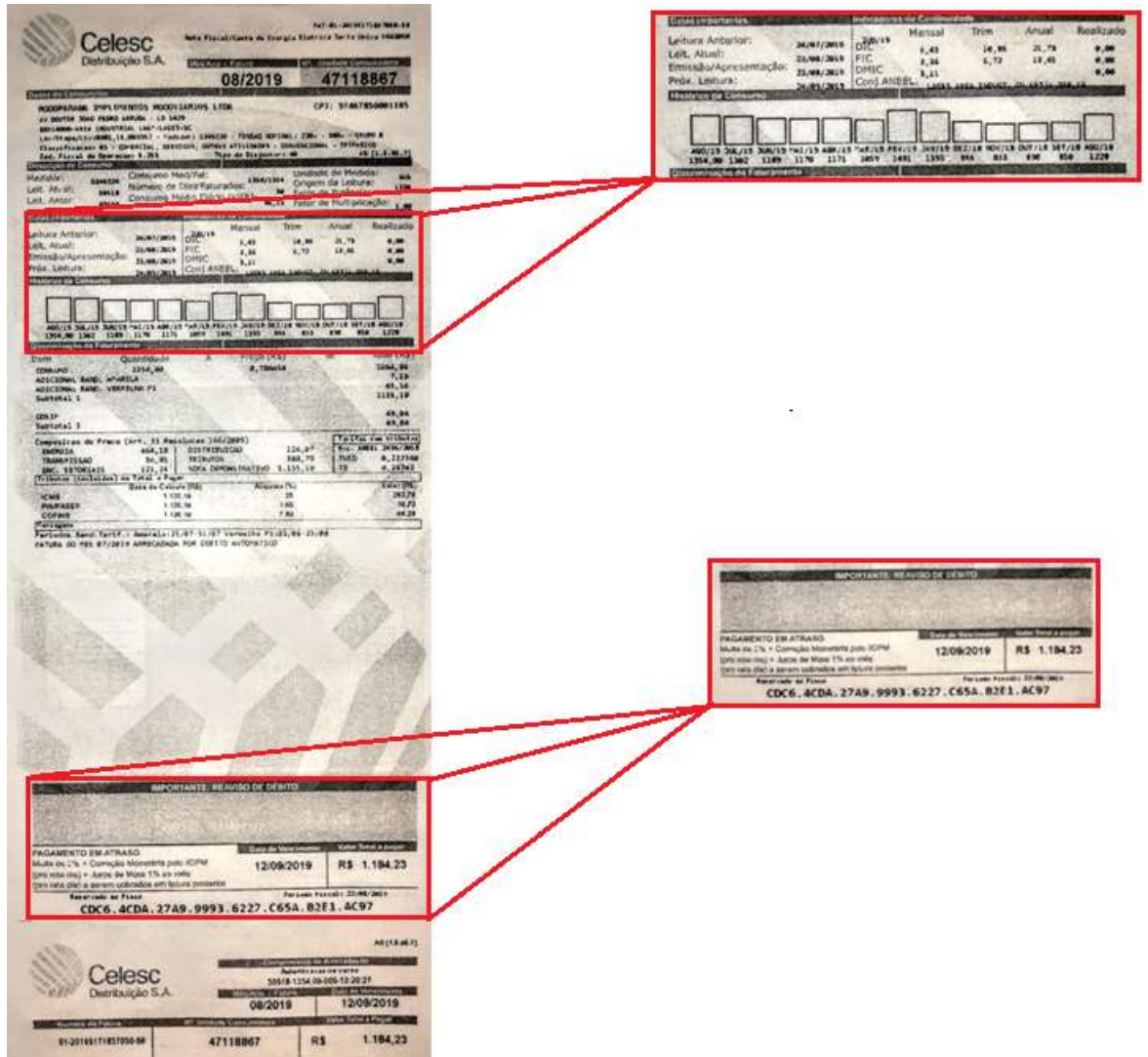
Para se realizar um pré-orçamento primeiramente, precisa se identificar quantos watts foram consumidos no período de um ano, onde na própria fatura de energia elétrica figura 11, fornecida pela concessionária está descrito certamente qual foi o consumo nesse período em watts por mês. A partir dessa informação será possível ter uma prévia de quantos placas serão necessárias para suprir a necessidade do cliente.

Figura 11 - Análise consumo atual da rede elétrica período de um ano



Fonte: (O Autor, 2019)

Figura 12 - Fatura energia elétrica mês de agosto



Fonte: (O Autor, 2019)

Analisando a figura 12 podemos identificar que no período desse um ano de consumo após 6 meses de utilização média de energia elétrica se obteve um aumento significativo no mês de agosto, e devido a isso gerou o questionamento de qual maneira se poderia obter uma diminuição valor da fatura.

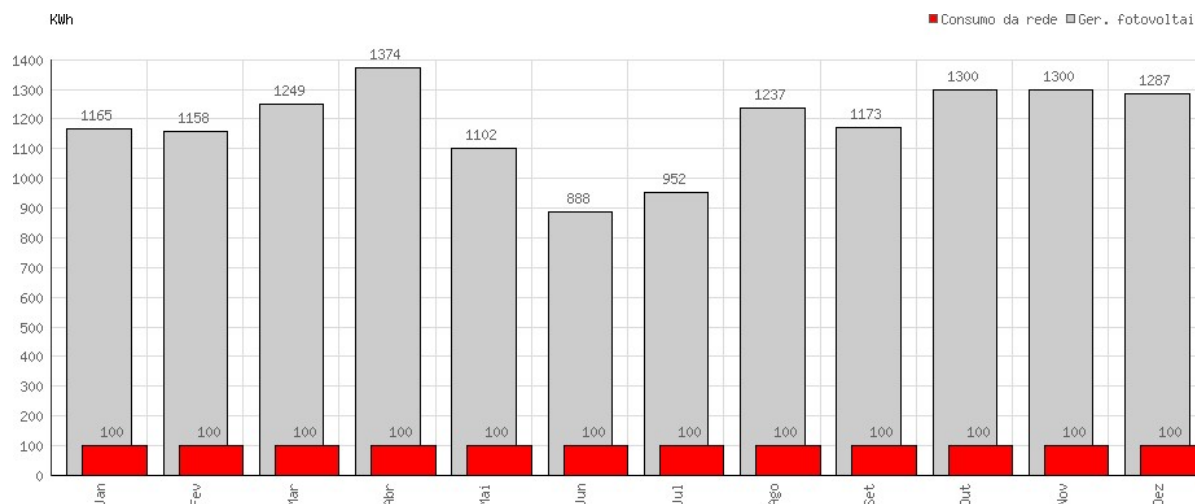
Logo abaixo será demonstrado quais os valores médios obtidos de consumo e quais seus respectivos valores de fatura, com base no valor do KWh de R\$ 0,786454 mais valores de impostos de bandeiras e tributários atuais:

CONSUMO MÉDIO ANUAL: 13.597 KWh (aproximadamente R\$ 10.741,60)

CONSUMO MÉDIO MENSAL: 1.133 KWh (aproximadamente R\$ 895,13)

O consumo médio anual de 13.597 KWh, nos dá uma grande perspectiva para dar andamento ao projeto, onde foi possível identificar que se utilizarmos placas, 26 módulos fotovoltaicos com potência de 380W terá uma potência total de 9.88 kWp onde o sistema será capaz de suprir o consumo atual de energia elétrica produzindo aproximadamente 14.564 kWh ao ano conforme a figura 13:

Figura 13 - Análise geração mensalmente de energia elétrica através UFV



Fonte: (ILUMISOL, 2019)

Os principais fatores que influenciam a quantidade de geração de energia se dá devido a irradiação no local, temperatura e inclinação, e posição das placas instaladas, já que ambas devem ser instaladas voltadas para o NORTE, pois como nós vivemos no hemisfério sul, o sol percorre do Leste a Oeste sofrendo uma leve inclinação no decorrer do dia, para o norte, e então se acentua perto do meio dia.

Caso a posição do telhado não seja corretamente apontada para o norte, pode ter uma perda significativa, por exemplo, perda de aproximadamente 3 a 8% com módulos voltados para Noroeste ou Nordeste, e de aproximadamente 12 a 20% com módulos apontados para Leste ou Oeste.

A inclinação dos módulos, é outro fator crucial para o bom desempenho do sistema UFV, pois está ligado diretamente a latitude do local que irá abrigar os mesmos.

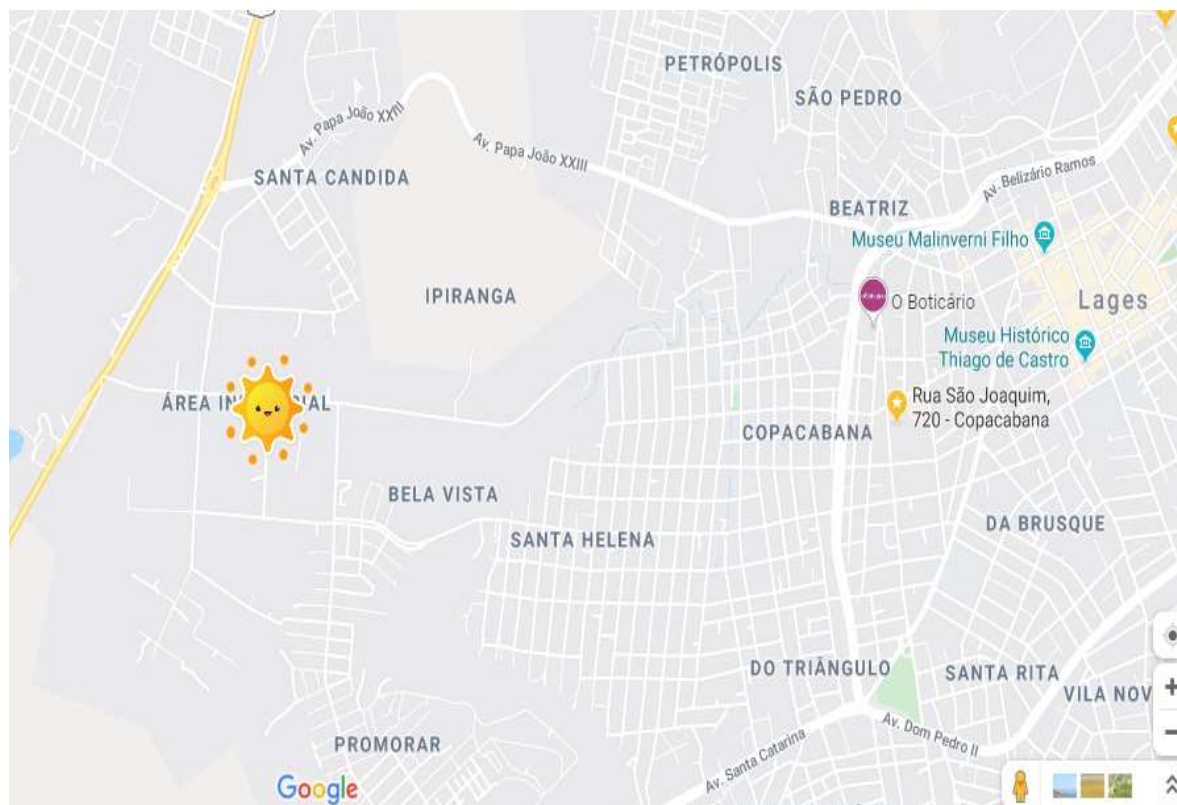
O indicado para esse tipo de fator é que a inclinação seja praticamente igual sua latitude. Conforme a figura 14, nosso caso temos a seguinte orientação do telhado e coordenadas:

Orientação do telhado: NORTE

Coordenadas: Latitude: -27.8196973 / Longitude: -50.362862

Localização: LAGES/SC

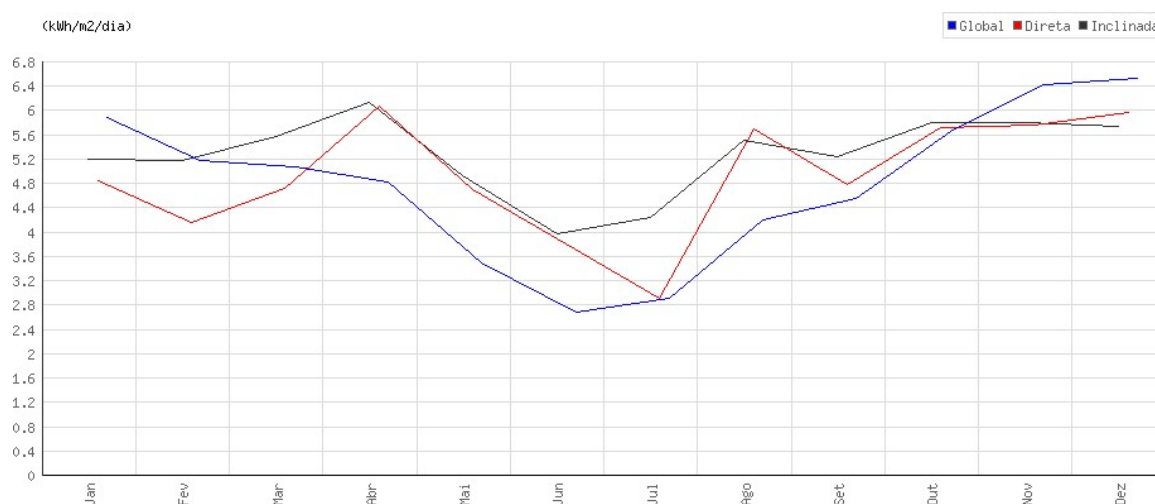
Figura 14 - Localização de coordenadas da GD.



Fonte: (GOOGLE MAPS, 2019)

O termo irradiação se refere à radiação captada em uma determinada área na superfície terrestre durante um determinado tempo. Por exemplo, ao falar em 100 kWh/m<sup>2</sup> de irradiação significa que foram captados 100 kW de radiação em uma hora por m<sup>2</sup> quadrado. Ao entendermos o funcionamento em específico 2.9, na figura 15 será identificando quais os níveis obtidos durante o ano em SC.

Figura 15 - Níveis de radiação solar em Santa Catarina



Fonte: (INPE/SWERA/, 19)

A pouca geração de energia elétrica identificada na tabela 3 no mês de julho, se dá devido ao baixo nível de radiação onde é basicamente o início da entrada para a estação do inverno.

Tabela 3 - Níveis de radiação solar em Santa Catarina.

Mês	Irradiação global	Irradiação direta	Irradiação inclinada
<b>Janeiro</b>	5.88 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4.848 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.199 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Fevereiro</b>	5.184 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4.153 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.168 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Março</b>	5.071 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4.715 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.575 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Abril</b>	4.818 kWh/m <sup>2</sup> /dia	6.067 kWh/m <sup>2</sup> /dia	6.134 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Mai</b>	3.49 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4.698 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4.919 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Junho</b>	2.689 kWh/m <sup>2</sup> /dia	3.806 kWh/m <sup>2</sup> /dia	3.963 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Julho</b>	2.916 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2.916 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4.248 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Agosto</b>	4.192 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.692 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.519 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Setembro</b>	4.549 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4.777 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.233 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Outubro</b>	5.662 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.718 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.802 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Novembro</b>	6.427 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.77 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.802 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Dezembro</b>	6.538 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.976 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5.744 kWh/m <sup>2</sup> /dia

Fonte: (INPE/SWERA/, 19)

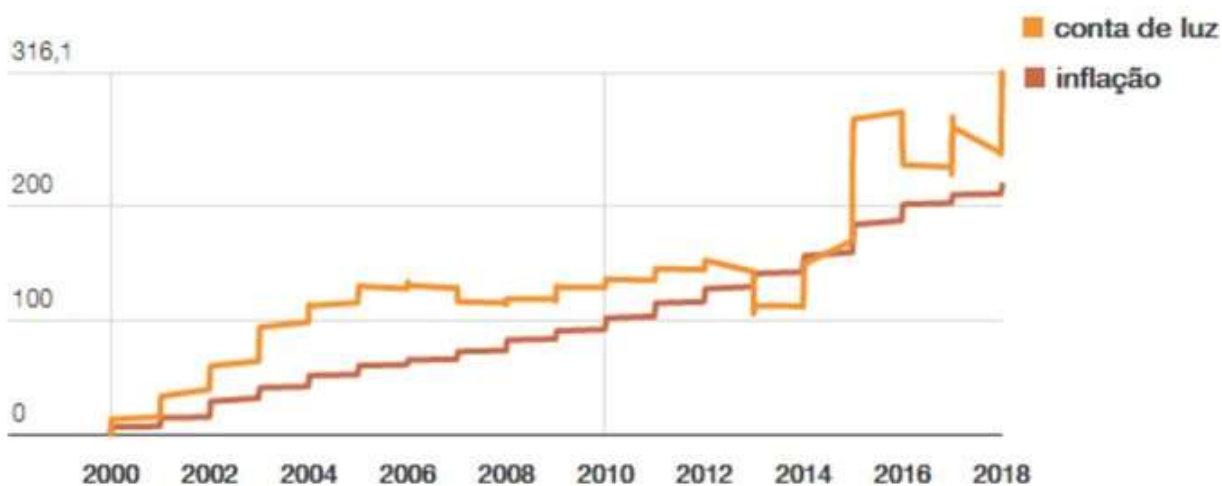
Com base nas normativas da Aneel, toda e qualquer instalação voltada para GD, pode ser instalada sem problemas, desde que haja a devida documentação legal dos módulos, identificando quais seus respectivos selos do INMETRO, no quesito de eficiência energética.



Segundo a redação dada pela ANEEL; III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou mini geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa ANEEL 687, de 24.11.2015.)” (ANEEL, 17 de ABR/2012).

Uma das principais vantagens para optar a aderir a instalação de GD, se dá devido grande custo elevado da inflação, pois com o aumento da mesma, conseqüentemente a conta de luz também aumenta conforme figura 16, onde o principal prejudicado com esse aumento, é o consumidor final, que fica responsável por pagar todo o processo de geração, distribuição, manutenção, entre outros.

Figura 16 - Controle inflação x conta de luz.



Fonte: (CONSULTORIA TR SOLUÇÕES, 2018)

- **2002:** Recomposição aumentada tarifa após racionamento;
- **2004:** Após recomposição, a redução gradativa até 2007;
- **2008:** Maior inflação desde 2004 e energia sobre menos;
- **2013:** MP do governo impõe redução de preços, que caem 16% em média;
- **2015:** Dois anos após MP, preços batem recorde;
- **2016:** Bandeiras tarifárias são criadas e contas oscilam mais.

### 3.2 Instalação do sistema

A instalação do sistema foi o principal objeto de curiosidade do presente trabalho, pois aqui será identificado fisicamente o que será necessário para que seja concluído esse procedimento conforme Tabela 4 onde foram calculadas irradiações médias a partir da Tabela 3. Os módulos fotovoltaicos, possuem hoje eficiência de aproximadamente 25 anos, com garantia contra defeitos de fabricação de 10 anos, e 7 anos contra defeitos de fabricação do inversor solar.

Para dimensionamento total do sistema que precisa para suprir a necessidade da demanda, foi necessário primeiramente identificar qual o nível médio de irradiação solar onde será localizado as placas. Conforme a tabela 3 temos:

Tabela 4 – Irradiação Média mensal e diária

Irradiação total kWh/m <sup>2</sup> /Mês	Média Irradiação kWh/m <sup>2</sup> /Dia
63,24	5,27

Fonte: (O Autor, 2019)

Após obtido o nível médio da irradiação, foi então definido qual o consumo diário em kWh, sabendo que o consumo anual é de 13.597 kWh, falta identificar qual será o consumo mensal, lembrando que por se tratar de uma classe C trifásica, a CC sempre cobrará o valor fixo ao consumo de 100kWh, ou seja, aproximadamente R\$79,00. Conforme a tabela 5, será demonstrado qual é o real consumo diário:

Tabela 5- Consumo diário em kWh

Média	Consumo kWh
Média do ano	1.133
Disponibilidade trifásica	100
Média no mês	1033
Média diária	34,43

Fonte: (O Autor, 2019)

Como na entrada padrão de energia elétrica temos um disjuntor de 50A, que multiplicando pelo valor de V que a CC nos fornece 220/380V, vamos ter um valor total da potência em aproximadamente 19kW.

Após todos esses dados obtidos, precisa-se identificar, é qual a potência nominal do sistema fotovoltaico será necessária para suprir a demanda atual da empresa. Para esses dados, vamos utilizar a seguinte equação 1 (FOTAIC, 2017).

Na equação 1, será identificado a potência instalada da empresa do estudo de caso onde:

$$P_{instalada} = \frac{E}{HSP \times n} \quad (1)$$

E – Consumo médio diário

HSP – Horas de sol pleno

n – Rendimento dos painéis.

Dessa maneira E = 34,43 kWh, horas de sol pleno HSP = 5,27 h/dia e rendimento dos painéis n = 75%, vamos obter o valor de P<sub>instalada</sub> = 8,71kWp, porém por se tratar de uma empresa geralmente é usualmente normal ser instalado novos equipamentos. Dessa maneira vamos adotar a porcentagem de 15% para aumento da potência nominal, então teremos P<sub>instalada</sub> = 10kWp.

Os módulos que foram escolhidos para realizar desse sistema foram os módulos Canadian Perc monocristalinos de 380W e os Módulos Canadian Perc policristalinos de 405W. Para dimensionamento da quantidade de módulos, vamos usar a fórmula 2 a seguir:

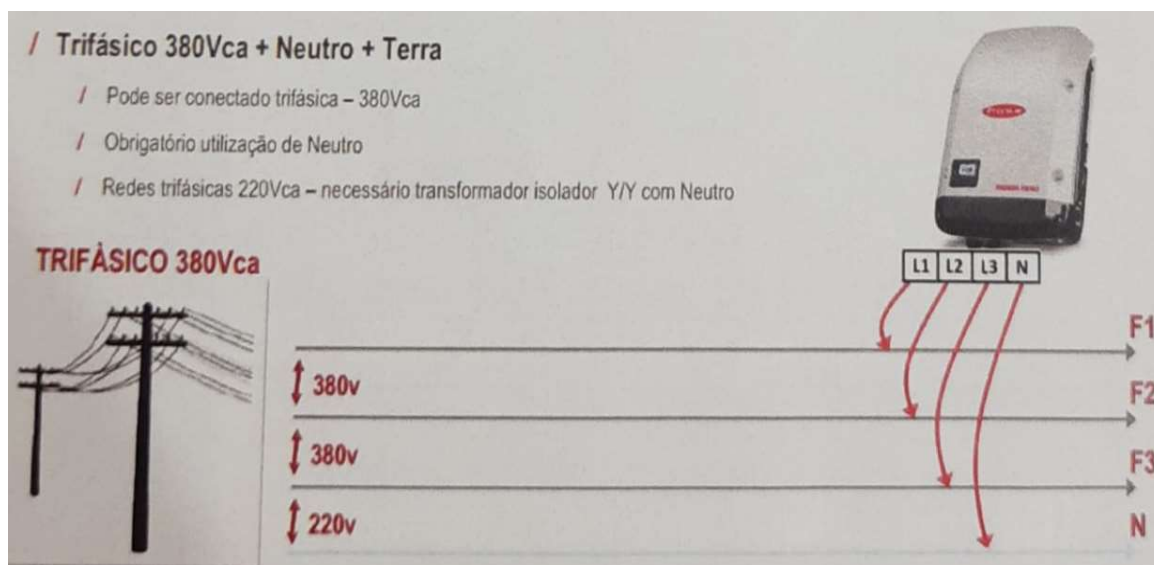
$$N_{módulos} = \frac{P_{instalada}}{P_{módulo}} \quad (2)$$

-Para módulos Monocristalinos de 380W, a P<sub>instalada</sub> = 10kWp e P<sub>módulo</sub> = 380W obtem-se N<sub>módulos</sub> = 26. Calculamos então o novo valor do número de módulos conforme segue: P<sub>instalada</sub> = P<sub>módulos</sub> x N<sub>módulos</sub> = 26x380W = 9,88kWp.

-Para módulos Policristalinos de 405W, a P<sub>instalada</sub> = 10kWp e P<sub>módulo</sub> = 405W, vamos obter N<sub>módulos</sub> = 24. Calculamos então o novo valor do número de módulos conforme segue: P<sub>instalada</sub> = P<sub>módulos</sub> x N<sub>módulos</sub> = 24x405W = 9,72kWp.

O orçamento é referente ao valor total que será cobrado da empresa, para instalação desse sistema, isso está incluído os módulos fotovoltaicos, inversor solar, cabeamento, estruturas de fixação, projeto e ART emitido por profissional registrado. Precisa-se também se ater a classificação padrão da empresa, que neste caso é trifásica conforme figura 17.

Figura 17 - Esquema entrada instalação conversor para instalação da GD.



Fonte: (ILUMISOL, 2019)

Tabela 6 - Materiais e peças para instalar sistema UFV conforme projeto.

Item	Qtde
MÓDULO MONO-PERC CANADIAN 380W	26
ILUMISOL SOFAR 7.5KTLM	1
STRING BOX	Incluso
CABO SOLAR 6MM < PRETO	Incluso
CABO SOLAR 6MM < VERMELHO	Incluso
CONECTOR MC4 MULTI-CONTACT UR PV-KBT4/6II-UR	Incluso
ACOPLADOR FEMEA	
CONECTOR MC4 MULTI-CONTACT UR PV-KST4/6II-UR	Incluso
ACOPLADOR MACHO	
JUNÇÃO PARA PERFIL DE ALUMÍNIO	Incluso
ESTRUTURA DE ALUMÍNIO ADEQUADO AO TELHADO	Incluso
MATERIAL ELÉTRICO	Incluso
SERVIÇOS DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA	Incluso
PROJETO SOLAR FOTOVOLTAICO	Incluso
ART DE PROJETO E EXECUÇÃO	Incluso
ACOMPANHAMENTO JUNTO À DISTRIBUIDORA	Incluso
MONITORAMENTO DO SISTEMA VIA WEB	Incluso

Fonte: (ILUMISOL, 2019)

Na Figura 18 segue como exemplo, quais são os componentes mínimos para instalação, onde composto por 26 módulos estima-se que a área necessária para instalação seja de aproximadamente 67,6m<sup>2</sup>.

Figura 18 - Materiais necessários para instalação da GD.



Fonte: (ILUMISOL, 2019)

-Módulo Canadian Perc 380w: Nosso módulo solar proposto para a instalação do sistema, é composto por células monocristalinas Figura19, onde atualmente são os mais recomendados devido a sua eficiência. A tecnologia Perc é responsável por captar ainda mais irradiação solar, aumentando assim sua eficiência em aproximadamente 19%.

Figura 19 - Módulo Canadian Perc 380w monocristalino



Fonte: (ILUMISOL, 09/2019)

-Conversor Ilumisol Sofar 12KTL-X: O conversor solar Figura 20, é um dos principais componentes para que ocorra o bom funcionamento do sistema solar, pois o mesmo é responsável por converter a CC para CA, ou seja, a corrente gerada pelas placas fotovoltaicas, devem ser senoidal para ter sincronismo de acordo com a corrente já injetada na rede ligada a CC . Nosso conversor proposto, poderá atender a demanda inicial da empresa, pois o mesmo possui capacidade para ligação classe c (trifásica) e 2 entradas de MPPT já que no local de posicionamento das placas, precisaremos usar dois telhados voltados para o norte. Conforme a figura 21, está identificado quais as características principais do conversor. A adequação do conversor para o sistema grid-tie, tem que ser escolhido de acordo com a potência a ser gerada pelo sistema, e a corrente nominal em que ela irá trabalhar.

Figura 20 - Inversor Sofar 12KTL-X



Fonte: (ILUMISOL, 09/2019)

Figura 21 - Tabela características técnicas conversoras SOFAR.

Modelo trifásico	Unid.	SOFAR 3000TL	SOFAR 5KTLM-G2	SOFAR 7.5KTLM	SOFAR 12KTL-X	SOFAR15000TL
Potência	kWp	3.00	5.00	7.50	12.00	15.00
MPPT	Unit.	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Entrada/String	Unit.	1.00	1.00	02/01	1.00	2.00
Tensão de Partida	V	120.00	120.00	120.00	180.00	350.00
Faixa Operação Min.	V	100.00	91.00	90.00	160.00	250.00
Faixa Operação Máx.	V	500.00	580.00	580.00	960.00	960.00
Max Tensão	V	500.00	600.00	600.00	1,000.00	1,000.00
Corrente máx CC	A	15.00	11.00	11.00	11.00	21.00
Corrente máx CC Short	A	-	-	-	14.00	27.00
Tensão CA	V	230.00	230.00	230.00	220/380	220/380
Corrente máx CA Inversor	A	13.00	22.80	32.60	19.10	22.00
Disjuntor de Proteção	V	16.00	25.00	40.00	25.00	25.00
Cabo	mm <sup>2</sup>	4.00	4.00	6.00	4.00	4.00
Nível de tensão	V	500.00	600.00	600.00	1,000.00	1,000.00
		Bifásico	Bifásico	Bifásico	Trifásico	Trifásico
		Monofásico	Monofásico	Monofásico	Trifásico	Trifásico

Fonte: (ILUMISOL, 09/2019)

- Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS): DPS ou Dispositivo de proteção contra surtos é usualmente utilizado em sistemas fotovoltaicos, e cumprem um papel importante no sistema, pois são eles os responsáveis por proteger os módulos e a entrada da CC no inversor. Ficam localizados nas chamadas String Box figura 22. Para a CA geralmente o DPS é instalado no quadro de distribuição em que o sistema se encontra conectado, e é fundamental que seja dimensionado de forma correta para que o sistema todo esteja realmente protegido (RESENDE CARLOS, 2018).

Figura 22 - Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS)



Fonte: (RESENDE CARLOS, 2018)

- String box (Caixa de junção): A string box, serve para conectar todos os módulos, dispositivos de proteções e chaves seccionadoras do sistema fotovoltaico, conforme figura 23.

Figura 23 - String Box 1000V

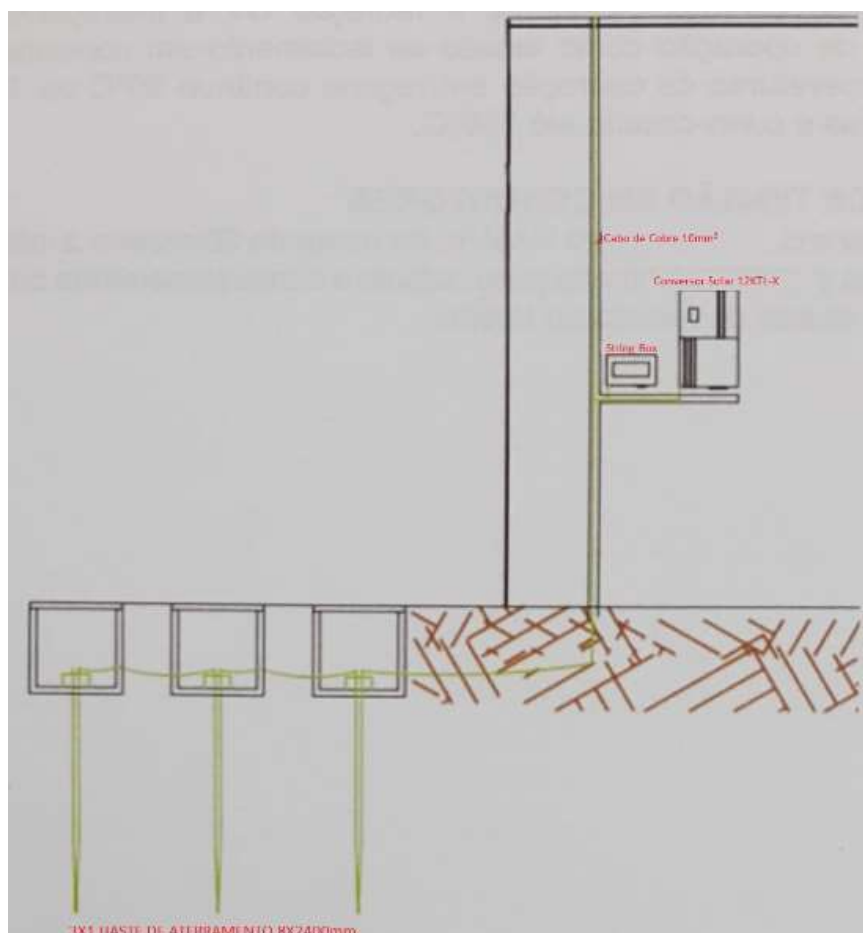


Fonte: (ILUMISOL, 2019)



- Aterramento: O aterramento irá servir como proteção para o sistema e principalmente para os demais arredores. Geralmente é aterrado a conexão da carcaça dos equipamentos através de uma linha de polaridade negativa, junto a caixa dos equipamentos e suporte dos módulos conforme figura 24.

Figura 24 - Esquema Aterramento Sistema Fotovoltaico.



Fonte: (ILUMISOL, 2019)

-Cabo solar e conectores: Os cabos solares, tem que ser em específicos cabos destinados para esse tipo de instalação, pois o mesmo precisa de resistência a elevados níveis de radiação UV, que possam trabalhar em extremas temperaturas, e que como modo de proteção não emitam fumaça corrosiva em caso de incêndio. Conforme a figura 25 e figura 26 podemos identificar quais são os modelos de cabos adequados e quais suas características técnicas de dimensionamento para qualquer projeto de instalação.

Figura 25 - Cabo solar e conectores



Fonte: (ILUMISOL, 2019)

Figura 26 - Características técnicas dimensionamento cabos solares

Seção (mm <sup>2</sup> )	Diâmetro (mm)	Condutor			Isolação Espessura (mm)	Cobertura		Peso Nominal (kg/km)	Raio mínimo de curvatura (mm)
		Rcc a 20°C (Ω/km)	Rcc a 90°C (Ω/km)	Rcc a 120°C (Ω/km)		Espessura (mm)	Diâmetro (mm)		
4	2,47	5.09	6.49	7.09	0,7	0,9	5,8	59,3	29
6	3,02	3.39	4.32	4.72	0,7	1	6,5	78,6	33
10	3,99	1.95	2.49	2.72	0,7	1	7,5	122	38

Fonte: (CONDUSPAR, 2019)

-Sistema de Monitoramento: O Sistema de monitoramento conforme figura 27, consiste no acesso remoto ao seu sistema vis WEB ou aplicativos disponibilizados pela empresa fornecedora da instalação, para visualizar quanto o seu sistema está gerando.

Figura 27 - Sistema remoto WEB



Fonte: (ILUMISOL, 2019)

Não podemos nos esquecer de um fator principal, para o bom funcionamento desse sistema, nada mais nem menos, que a limpeza dos módulos fotovoltaicos, pois é essencial para o rendimento do sistema. O ideal para limpeza dos módulos é entre 2 a 3 vezes ao ano, porque por mais que a chuva limpe apenas a superfície, precisa limpar as células cuidadosamente para que também não as danifiquem.

### 3.3 Análise financeira instalação sistema fotovoltaico com módulos monocristalinos

Após todas essas análises obtidas no decorrer do trabalho, chegamos a parte principal, com foco no valor total do investimento, onde aqui será identificado de forma resumida, qual será o valor total de consumo do sistema, quais as taxas fiscais isentas que ajudam muito no valor final dos módulos, e qual o valor total do investimento.

Custo médio do kwh: R\$ 0,79

Geração média mensal do sistema: 1.214 kwh

Icms: isento

Pis: isento

Cofins: isento

Economia gerada pelo sistema fotovoltaico: r\$ 0,79

Investimento: R\$ 38.602,41

Na tabela 7, foi realizado o estudo de prospecção das placas fotovoltaicas, onde considerando aproximadamente 10% de reajuste do valor da energia elétrica, contra o valor e rendimento total dos painéis, podemos observar que em 25 anos de vida útil de rendimento das placas, o retorno do investimento se dá em aproximadamente R\$ 1.062.883,77.

Tabela 7 - Payback em 25 anos de vida útil dos módulos.

Ano	Rendimento dos painéis	Geração anual de Energia (kWh/ano) considerando perda do rendimento dos painéis	Geração Acumulada de Energia (kWh)	% de reajuste médio anual de energia aprox.	Economia Gerada/ano - R\$ - (BxE)	Retorno do Investimento (R\$)	Economia acumulada (R\$)
1°	99.30 %	14.462	14.462	10%	12.567,52	-26.034,89	12.567,52
2°	98.60 %	14.361	28.823	10%	13.727,51	-12.307,38	26.295,03
3°	97.91 %	14.260	43.083	10%	14.994,55	2.687,17	41.289,58
4°	97.23 %	14.160	57.244	10%	16.378,55	19.065,72	57.668,13
5°	96.55 %	14.061	71.305	10%	17.890,29	36.956,02	75.558,43
6°	95.87 %	13.963	85.268	10%	19.541,57	56.497,58	95.099,99
7°	95.20 %	13.865	99.133	10%	21.345,25	77.842,84	116.445,25
8°	94.54 %	13.768	112.901	10%	23.315,42	101.158,25	139.760,66
9°	93.87 %	13.672	126.573	10%	25.467,43	126.625,69	165.228,10
10°	93.22 %	13.576	140.149	10%	27.818,08	154.443,76	193.046,17
11°	92.56 %	13.481	153.630	10%	30.385,69	184.829,45	223.431,86
12°	91.92 %	13.387	167.017	10%	33.190,28	218.019,73	256.622,14
13°	91.27 %	13.293	180.310	10%	36.253,75	254.273,48	292.875,89
14°	90.63 %	13.200	193.509	10%	39.599,97	293.873,45	332.475,86
15°	90.00 %	13.107	206.617	10%	43.255,04	337.128,49	375.730,90
16°	89.37 %	13.016	219.633	10%	47.247,49	384.375,98	422.978,39
17°	88.74 %	12.925	232.557	10%	51.608,43	435.984,41	474.586,82
18°	88.12 %	12.834	245.391	10%	56.371,89	492.356,29	530.958,70
19°	87.51 %	12.744	258.136	10%	61.575,01	553.931,30	592.533,71
20°	86.89 %	12.655	270.791	10%	67.258,38	621.189,69	659.792,10
21°	86.28 %	12.567	283.357	10%	73.466,33	694.656,02	733.258,43
22°	85.68 %	12.479	295.836	10%	80.247,28	774.903,30	813.505,71
23°	85.08 %	12.391	308.227	10%	87.654,10	862.557,40	901.159,81
24°	84.49 %	12.304	320.532	10%	95.744,57	958.301,97	996.904,38
25°	83.89 %	12.218	332.750	10%	104.581,80	1.062.883,77	1.101.486,18

Fonte: (O Autor, 2019)

Retorno financeiro de aproximadamente 4 - 5 Anos

A bonificação é sempre concedida em módulos adicionais. Caso o resultado da conta seja um número quebrado, será cobrado um valor proporcional para chegar a um número inteiro de módulos.

- 36x de R\$ 1.261,52

- 24x de R\$ 1.750,35

- 12x de R\$ 3.216,87

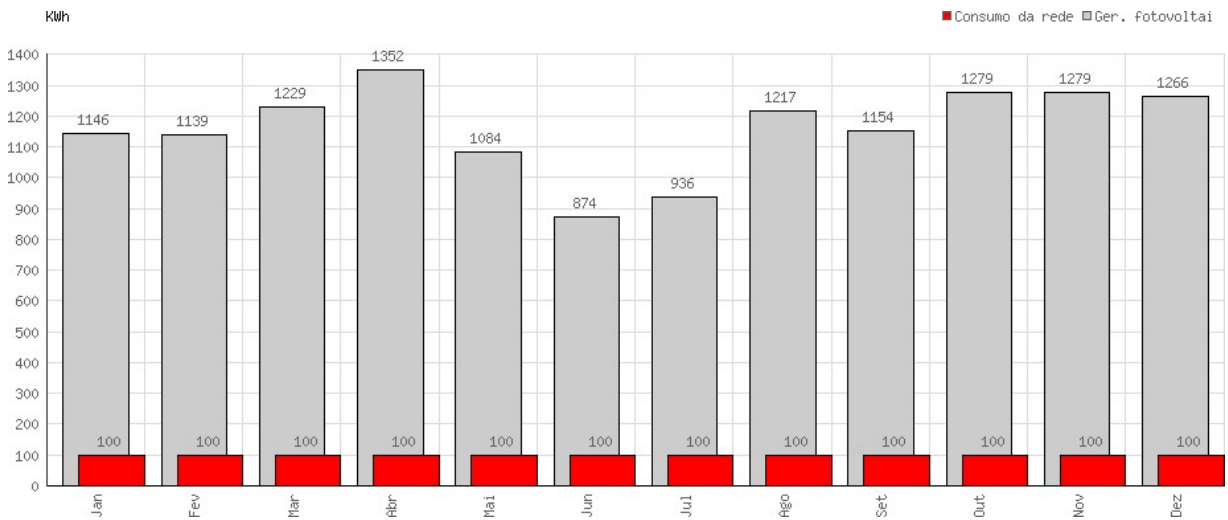
Valor total do investimento de R\$ 38.602,41.

### 3.4 Proposta Comercial para Instalação de Módulos Policristalinos

Dentro do meio dos sistemas Solares, em questões de eficiência e custo benefícios, temos dois modelos de módulos fotovoltaicos, que caminham junto nessas características, os módulos monocristalinos e os policristalinos.

Com bases nos dados do item 3.1, o sistema proposto para a mesma instalação, mesmo consumo e demanda, para os módulos policristalinos teremos um sistema de 24 módulos fotovoltaicos de 405W, totalizando 9.72kWp.

Figura 28 - Análise geração mensalmente de energia elétrica através UFV.



Fonte: (ILUMISOL, 2019)

O presente sistema devido ser necessário menos módulos solares, ocupará a área de aproximadamente 52.8m<sup>2</sup>. Com relação aos cuidados e manutenções preventivas, podemos seguir os mesmos padrões para ambos os modelos de módulos, já que seu princípio de funcionalidade é o mesmo, sendo diferente apenas a pureza dos cristais, e a forma de como são armazenados em cada célula fotovoltaica. Na tabela 8, iremos demonstrar quais são os materiais necessários para a instalação das placas policristalinas.

Tabela 8 - Materiais e peças para instalar sistema UFV conforme projeto de módulos policristalinos.

Item	Qtde
POLY PERC CANADIAN 405W KUMAX	24
ILUMISOL SOFAR 7.5KTLM	1
FONTE STRING BOX	Incluso
CABO SOLAR 6MM < PRETO	Incluso
CABO SOLAR 6MM < VERMELHO	Incluso
CONECTOR MC4 MULTI-CONTACT UR PV-KBT4/6II-UR ACOPLADOR FEMEA	Incluso
CONECTOR MC4 MULTI-CONTACT UR PV-KST4/6II-UR ACOPLADOR MACHO	Incluso
JUNÇÃO PARA PERFIL DE ALUMÍNIO	Incluso
ESTRUTURA DE ALUMÍNIO ADEQUADO AO TELHADO	Incluso
MATERIAL ELÉTRICO	Incluso
SERVIÇOS DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA	Incluso
PROJETO SOLAR FOTOVOLTAICO	Incluso
ART DE PROJETO E EXECUÇÃO	Incluso
ACOMPANHAMENTO JUNTO À DISTRIBUIDORA	Incluso
MONITORAMENTO DO SISTEMA VIA WEB	Incluso

Fonte: (O Autor, 2019)

### 3.5 Análise financeira instalação sistema fotovoltaico módulos policristalinos

Levando em consideração o mesmo projeto para instalação da UFV, podemos obter os seguintes dados abaixo, referente a parte técnica que a proposta tem a oferecer:

Custo médio do kWh: R\$ 0,79

Geração média mensal do sistema: 1.194 kwh

Icms: isento

Pis: isento

Cofins: isento

Economia gerada pelo sistema fotovoltaico: R\$ 0,79

Investimento: R\$ 35.081,71

Formas de pagamento:

-36x DE R\$ 1.188,40

-24x DE R\$ 1.648,91

-12x DE R\$ 3.030,43

Tabela 9 - Payback em 25 anos de vida útil dos módulos policristalinos.

Ano	Rendimento dos painéis	Geração anual de Energia (kWh/ano) considerando perda do rendimento dos painéis	Geração Acumulada de Energia (kWh)	% de reajuste médio anual de energia aprox.	Economia Gerada/ano - R\$ - (BxE)	Retorno do Investimento (R\$)	Economia acumulada (R\$)
1º	99.30 %	14.228	14.228	10%	12.363,87	-22.717,84	12.363,87
2º	98.60 %	14.128	28.356	10%	13.505,06	-9.212,77	25.868,94
3º	97.91 %	14.029	42.385	10%	14.751,58	5.538,80	40.620,51
4º	97.23 %	13.931	56.316	10%	16.113,15	21.651,95	56.733,66
5º	96.55 %	13.833	70.150	10%	17.600,39	39.252,34	74.334,05
6º	95.87 %	13.737	83.886	10%	19.224,91	58.477,25	93.558,96
7º	95.20 %	13.641	97.527	10%	20.999,37	79.476,62	114.558,33
8º	94.54 %	13.545	111.072	10%	22.937,61	102.414,23	137.495,94
9º	93.87 %	13.450	124.522	10%	25.054,75	127.468,98	162.550,69
10º	93.22 %	13.356	137.878	10%	27.367,30	154.836,28	189.917,99
11º	92.56 %	13.263	151.141	10%	29.893,31	184.729,58	219.811,29
12º	91.92 %	13.170	164.310	10%	32.652,46	217.382,04	252.463,75
13º	91.27 %	13.078	177.388	10%	35.666,28	253.048,32	288.130,03
14º	90.63 %	12.986	190.374	10%	38.958,28	292.006,60	327.088,31
15º	90.00 %	12.895	203.269	10%	42.554,13	334.560,72	369.642,43
16º	89.37 %	12.805	216.074	10%	46.481,87	381.042,59	416.124,30
17º	88.74 %	12.715	228.789	10%	50.772,15	431.814,74	466.896,45
18º	88.12 %	12.626	241.415	10%	55.458,42	487.273,16	522.354,87
19º	87.51 %	12.538	253.953	10%	60.577,23	547.850,39	582.932,10
20º	86.89 %	12.450	266.403	10%	66.168,51	614.018,89	649.100,60
21º	86.28 %	12.363	278.766	10%	72.275,86	686.294,75	721.376,46
22º	85.68 %	12.276	291.042	10%	78.946,92	765.241,68	800.323,39
23º	85.08 %	12.190	303.233	10%	86.233,72	851.475,40	886.557,11
24º	84.49 %	12.105	315.338	10%	94.193,10	945.668,50	980.750,21
25º	83.89 %	12.020	327.358	10%	102.887,12	1.048.555,61	1.083.637,32

Fonte: (O Autor, 2019)

Analisando a tabela 9, podemos identificar com clareza que a mudança dos módulos monocristalinos para policristalinos, ambos tem uma eficiência muito boa, sendo mais interessante para o local de estudo de caso, ser selecionado os módulos policristalinos para realizar a instalação, haja visto que o valor saiu mais barato, sua eficiência praticamente igual, e seu retorno financeiro também próximos ao mesmo período que o monocristalino. Então, no período de 25 anos que é referente a eficiência da placa solar, vamos ter R\$ 1.048,555,61 de economia na tabela 9 de eficiência e prospecção, com aproximadamente de 4 a 5 anos para que o sistema seja pago por inteiro, gerando crédito para concessionária. A prospecção de 4 a 5 anos, dá-se também devido ao valor total calculado de R\$ 79,00 o mês, referente a taxa da concessionária totalizando no período de 25 anos R\$ 23.700,00, onde somado aos valores totais do investimento das placas, os anos seguintes definidos, serão totalmente de lucros.

## 4 CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados sobre módulos solares fotovoltaicos, e o seu princípio de funcionamento que se dá através da irradiação solar, podemos concluir concretamente, que a energia solar está sendo um dos principais meios alternativos, mais eficientes para toda a humanidade, pois a mesma é limpa e renovável, onde a partir da grande demanda de sua utilização, irá refletir o baixo valor que será cobrado por todo o material e instalação necessária para seu funcionamento.

Conclui-se que diante dos dados obtidos, a empresa de estudo desse trabalho, terá uma grande economia ao longo dos 25 anos de eficiência dos módulos, onde o projeto e sistema instalado se pagarão em aproximadamente 4 a 5 anos de utilização, nesse caso, a partir desses anos de utilização, a unidade fotovoltaica on-grid, será apenas custeada para pagamento da taxa que a unidade concessionária cobra, para benefícios e taxas das distribuições interligadas ao gerenciamento da UFV.

A preocupação com o valor total do investimento, objeto de interesse do consumidor final, podemos concluir-se que o sistema proposto para instalação na empresa, é de grande interesse e com retorno financeiro justificado.

Com relação a diferença das placas selecionadas para esse tipo de instalação, podemos dizer que ambas possuem praticamente as mesmas características, já que a monocristalina é responsável por ser mais eficiente em porcentagem, e a policristalina mais barata em custo benefício, porém com o avanço das tecnologias, o presente orçamento proposto das placas policristalinas, nos sugerem placas com tecnologia Perc que servem para captar melhor a irradiação solar, e também a tecnologia Half Cell, responsáveis por não deixarem sombras ou objetos que obstruam a irradiação da placa, e interferiam no desempenho da geração de energia.

O sistema alternativo de geração fotovoltaica é um investimento financeiro além de contribuir com o desenvolvimento sustentável do país, e que das tecnologias mais eficientes atualmente em células fotovoltaicas ambas as concorrentes tem um bom desempenho, sendo preciso identificar qual a melhor tecnologia adequada para a irradiação solar frequente no local em que será instalado.



## 5 REFERÊNCIAS

- A GERADORA. Tipos e fontes de geração de energia elétrica. 2018. Disponível em: <<https://www.ageradora.com.br/tipos-e-fontes-de-geracao-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 12 ago. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA – ANEEL. Atlas de energia elétrica do Brasil. 2ª Edição. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/atlas2005.zip>>. Acesso em 13 out 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA – ANEEL. Energia Solar. 2019. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_solar/energia\\_solar.htm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/energia_solar.htm)> Acesso em: 01 Nov, 2019).
- ALMEIDA Eliane; et al.; Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. FUMEC, 2016.
- Freitas G.M.; Miranda R.A.A.; Custo/benefício e implantação de sistema fotovoltaico. Universidade de Rio Verde – UNIRV, 2016.
- FARIA C. Geração distribuída. Info Escola. 2019. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/energia/geracao-distribuida/>> Acesso em: 25 Set 2019.
- GREEN, M. A. et al. Solar cell efficiency tables: version 16. Progress in photovoltaics: research and applications, Sydney, v. 8, p. 377-384, 2000.
- GORE, A. Nossa escolha: um plano para solucionar a crise climática. Our choice: a plan to solve the climate crisis. Barueri, SP: Manole, 2010.
- ITAIPU BINACIONAL, Recordes Operativos. 2019. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/recordes-operativos>> Acesso em: 25 Set, 2019.
- LUKE.R, The history of solar energy. 2018. Disponível em: <<https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/>> Acesso em: 28, Set 219
- Marques C.R.; Krauter C.W.S.; Lima C.L.; Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o nordeste brasileiro. Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 30, n. 2, p. 153-162, dez. 2009.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, O sistema interligado nacional. 2019. Disponível em <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>> Acesso em: 09 Set, 2019.
- Pereira E.L.B., Análise de viabilidade econômica de implantação de um sistema de geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos em sítio aeroportuário. UFSM, 2017.
- PORTAL SOLAR, Como funciona o painel solar fotovoltaico, 2016. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>> Acesso em: 06 out, 2019.
- PORTAL SOLAR, Células de silício cristalino, 2016. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>> Acesso em: 20 out, 2019.

RESENDE CARLOS. Porque usar DPS em sistemas fotovoltaicos. Disponível em:<<https://shareenergy.com.br/por-que-utilizar-dps-em-sistemas-fotovolta>> Acesso em: 05 de Nov., 2019.

ROMAGNOLI, H. C. - Identificação de barreiras à geração distribuída no marco regulatório atual do setor elétrico brasileiro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) –Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - 2005.

SOLARINOVARE. O efeito fotovoltaico. 2016. Disponível em: <<https://solarinovare.wordpress.com/2016/01/04/o-efeito-fotovoltaico/>> Acesso em: 02 Nov., 2019.

VIANA, F.; ARY, J. Infraestrutura do Nordeste: estágio atual e possibilidades de investimentos. **Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil**, 2005. 103 p.