



**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIAMÉRICA  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MAYCON ARTHUR SPETH**

**ANÁLISE ENERGÉTICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO EM  
UMA GRANJA DE SUÍNOS EM UMA PROPRIEDADE RURAL**

**FOZ DO IGUAÇU - PR**

**2019**

MAYCON ARTHUR SPETH

**ANÁLISE ENERGÉTICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO EM  
UMA GRANJA DE SUÍNOS EM UMA PROPRIEDADE RURAL**

Projeto de Pesquisa apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário União das Américas como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

O presente projeto de pesquisa encontra-se sob a orientação da Professora: Luciana Scarin Freitas.

FOZ DO IGUAÇU - PR

2019

*Dedico este trabalho a todos que acreditaram na  
educação, honestidade e empenho como principais  
aliados à transformação do Brasil.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por nos presentear com cada novo dia uma possibilidade de realizar as nossas conquistas.

Aos meus pais Eloi e Roseli e minha namorada Letícia, pelo apoio, incentivo e por todo o suporte prestado pela professora e orientadora Luciana Scarin Freitas, pelas suas idéias, orientações, pela amizade e pelo engajamento no desenvolvimento do trabalho.

Também ao Claudinei Almeida que disponibilizou vários dados para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Daniel Perin proprietário da granja a ser estudada, que disponibilizou os dados de geração e consumo da granja e autorizou a pesquisa.

“Eu colocaria meu dinheiro na energia solar.

Que fonte de energia!

Espero não ser necessário aguardar que o petróleo e o carvão acabem para encarar isto.”

Thomas Edison em conversa com Henry Ford e Harvey Firestone, em 1931.

## RESUMO

Tendo em vista que a matriz elétrica brasileira é composta majoritariamente pela energia proveniente de usinas hidrelétricas e a energia solar no território brasileiro tem elevado potencial para sua conversão em energia elétrica, pesquisa-se sobre análise energética de um sistema fotovoltaico em uma granja de suínos em uma propriedade rural, a fim de efetuar uma análise energética de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos. Para tanto, é necessário analisar e comparar o consumo antes da instalação e depois da instalação do sistema, analisar se é viável a energia fotovoltaica. Realiza-se, então, uma pesquisa após uma instalação de um sistema de geração de energia por painéis fotovoltaicos, analisando por meio de duas faturas de energia, uma de antes da instalação e a outra de alguns meses após a instalação e de todos os dados da geração de energia elétrica durante o período desde a instalação no final do mês de março de 2019 até final do mês de outubro de 2019, estas informações proporcionarão base para efetuar a análise energética. Diante disso, o sistema supriu todo o consumo de energia elétrica e ainda sobra para compartilhar um consumo remoto para a casa do proprietário na cidade. A viabilidade técnica também foi comprovada, é possível executar o projeto com equipamentos e mão-de-obra disponíveis no mercado brasileiro. A análise econômica também provou que o projeto é viável e tem um tempo de retorno de investimento de 75,7 meses.

Palavras-chave: Energia Solar. Análise energética. Geração de energia. Energia renovável.

## **ABSTRACT**

Considering that the Brazilian electric matrix is mainly composed of energy from hydroelectric plants and solar energy in the Brazilian territory has high potential for its conversion into electric energy, research on energy analysis of a photovoltaic system in a pig farm a rural property in order to carry out an energy analysis of a power generation system using photovoltaic panels. Therefore, it is necessary to analyze and compare the consumption before installation and after installation of the system, to analyze if the photovoltaic energy is viable. A research is then carried out after an installation of a photovoltaic power generation system, analyzing by means of two energy bills, one from before installation and the other a few months after installation and all data. electricity generation during the period from installation at the end of March 2019 to the end of October 2019, this information will provide the basis for the energy analysis. Given this, the system supplied all the electricity consumption and still left to share a remote consumption for the owner's home in the town house. The technical feasibility has also been proven, it is possible to carry out the project with equipment and labor available in the Brazilian market. The economic analysis also proved that the project is viable and has a payback time of 75.7 months.

**Keywords:** Solar energy. Energy analysis. Power generation. Renewable energy.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Célula Fotovoltaica .....	21
FIGURA 2 – Junção PN .....	22
FIGURA 3 – Efeito fotovoltaico .....	23
FIGURA 4 – Lacunas e Elétrons .....	23
FIGURA 5 – Ligação PN .....	24
FIGURA 6 – Constituição interna de uma célula fotovoltaica .....	25
FIGURA 7 – Conjunto Fotovoltaico .....	26
FIGURA 8 – Radiação solar total.....	27
FIGURA 9 – Radiação distribuída na superfície da Terra .....	28
FIGURA 10 – Energia térmica para aquecimento de água residencial.....	28
FIGURA 11 – Usina de energia solar concentrada .....	30
FIGURA 12 – Satélite com energia solar fotovoltaica .....	31
FIGURA 13 – Mapa do potencial Solar brasileiro.....	33
FIGURA 14 – Radiação Direta e Difusa .....	34
FIGURA 15 – Mapa do Potencial Solar mundial .....	35
FIGURA 16 – Potencial total de energia solar em comparação com outras fontes não renováveis.....	36
FIGURA 17 – Célula Fotovoltaica.....	37
FIGURA 18 – Célula Monocristalina .....	38
FIGURA 19 – Célula Policristalina .....	39
FIGURA 20 – Silício em estado natural, areia.....	40
FIGURA 21 – Gerando o lingote de silício.....	42
FIGURA 22 – Lingote de silício pronto.....	42
FIGURA 23 – Lingote de silício sendo fatiado.....	43
FIGURA 24 – Disco de silício que será usado para produzir as células fotovoltaicas. ....	43
FIGURA 25 – Estrutura da célula. ....	44
FIGURA 26 – Áreas de superaquecimento detectadas. ....	46
FIGURA 27 – Teste dos painéis.....	47
FIGURA 28 – Teste de impacto.....	47
FIGURA 29 – Imagem via satélite da granja .....	48



## **LISTA DE GRÁFICOS**

GRÁFICO 1 – Consumo mensal da granja (kWh).....	49
GRÁFICO 2 – Geração mensal a ser analisada da planta .....	51
GRÁFICO 3 – Comparação entre consumo, geração e créditos de 2019 .....	52

## **LISTA DE TABELA**

TABELA 1 – Arranjo fotovoltaico do sistema de geração fotovoltaica. ....	50
--	----

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

**ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica

**AU** – Unidade Astronômica

**COGEN** – Associação de Indústria de Cogeração de Energia

**COMERC** – Empresa de Mercado Livre de Energia

**CdTe** – Telureto de cádmio

**CIGS** – Cobre-Índio-Gálio-Selênio

**c-Si** – Silício cristalino

**CVD** – Deposição Química de Vapor

**EJ** – Exajoules

**EPE** – Empresa de Planejamento Energético

**ETI** – Irradiância Solar Total

**FV** – Fotovoltaica

**GWth** – Gigawatt térmicos

**IEC** – Comissão Eletrotécnica Internacional

**INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**MME** – Ministério de Minas e Energia

**Mono-Si** – Monocristalino

**Multi-Si** – Multicristalino

**N** – Negativo

**PDE** – Plano Decenal de Expansão de Energia 2021

**P** – Positivo

**TIR** – Taxa Interna de Retorno

**TW** – Terawatts

**UFRJ** – Universidade Federal do Rio de Janeiro

**VPL** – Valor Presente Líquido

**ZCE** – Zona de Carga Espacial

**W/m<sup>2</sup>** – Watt por metro quadrado

**Wh/m<sup>2</sup>** – Watt-hora por metro quadrado

**kW/m<sup>2</sup>** – Quilo-watt por metro quadrado

**kWh/m<sup>2</sup>** – Quilo-watt-hora por metro quadrado

**Wp** – Pico de watts

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1.TEMA .....	15
1.2.JUSTIFICATIVA .....	15
1.3.PROBLEMA.....	16
1.4.OBJETIVOS .....	16
<b>1.4.1. Objetivo geral</b> .....	16
<b>1.4.2. Objetivos específicos</b> .....	17
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	18
<b>3. EFEITO FOTOVOLTAICO</b> .....	2121
<b>4. TIPOS DE ENERGIA SOLAR</b> .....	2626
4.1.ENERGIA TÉRMICA.....	2828
4.2.ENERGIA SOLAR CONCENTRADA.....	2929
4.3.ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	3030
<b>5. O SOL</b> .....	31
5.1.IRRADIAÇÃO SOLAR .....	32
5.2.UNIDADES.....	32
5.3.IRRADIAÇÃO NO BRASIL .....	32
5.4.TIPOS DE RADIAÇÃO.....	34
<b>5.4.1. Difusa</b> .....	34
<b>5.4.2. Direta</b> .....	34
<b>5.4.3. Global</b> .....	35
<b>5.4.4. Potencial Energético Solar</b> .....	35
<b>6. FABRICAÇÃO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICA</b> .....	36
6.1.MATERIAIS .....	36
6.2.SILÍCIO CRISTALINO .....	3838
6.3.SILÍCIO MONCRISTALINO .....	3838
6.4.SILÍCIO POLICRISTALINO .....	3939
6.5.SILÍCIO EM FITA .....	3939
6.6.PRODUÇÃO DAS CÉLULAS .....	4040
<b>6.6.1. Matéria Prima</b> .....	4040
6.7.PROCESSO DE FABRICAÇÃO .....	4141

<b>6.7.1. Purificação do Silício</b> .....	41
<b>6.7.2. Fabricação de Silício de Cristal Único</b> .....	41
<b>6.7.3. Fabricação de “Wafers” de Silício</b> .....	4242
<b>6.7.4. Dopagem</b> .....	4343
<b>6.7.5. Contatos Elétricos</b> .....	4444
<b>6.7.6. O Revestimento Anti-Reflexo</b> .....	4545
<b>6.7.7. Encapsulando a Célula</b> .....	<b>4545</b>
<b>6.7.8. Controle de Qualidade</b> .....	45
<b>7. METODOLOGIA</b> .....	48 <b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
7.1.ESTUDO DE CASO DA GRANJA DE SUÍNOS .....	48 <b>Erro! Indicador não definido.</b>
7.2.DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO .....	49 <b>Erro! Indicador não definido.</b>
7.3.PROJETO FOTOVOLTAICO .....	50 <b>Erro! Indicador não definido.</b>
7.4.GERAÇÃO DA PLANTA FOTOVOLTAICA PROPOSTA	51 <b>Erro! Indicador não definido.</b>
7.5.ANÁLISE DE CUSTO E DE TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO ..	52 <b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>8. CONCLUSÕES</b> .....	54 <b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>9. REFERÊNCIAS</b> .....	55 <b>49</b>
APÊNDICE A – Lista de materiais para o projeto fotovoltaico	59 <b>Erro! Indicador não definido.</b>
ANEXO A – Relatório de Configuração dos Inversores	61 <b>Erro! Indicador não definido.</b>
ANEXO B – Folha de dados dos módulos Fotovoltaicos	63 <b>Erro! Indicador não definido.</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial e da produção industrial tem elevado continuamente a demanda por energia elétrica. Estima-se que as fontes tradicionais, como hidráulica, fóssil e nuclear, atingirão seu limite de produção de energia em aproximadamente 20 TW, e o déficit de produção deverá ser atendido por fontes de energia renováveis (INPE, 2007).

Além disso, nas últimas décadas, em decorrência da conscientização ambiental, empresas de diversos setores, incluindo o setor elétrico, perceberam a necessidade de se mobilizar e adotar novas políticas de forma a minimizar os danos ambientais oriundos da crescente demanda de energia.

A energia elétrica desempenha um papel de suma importância, seja para uso residencial, comercial ou industrial, pois se caracteriza como um insumo básico para o desenvolvimento econômico, tecnológico e social dos países.

Desse modo, a organização social a nível mundial tem uma dependência bastante significativa da eletricidade. Ocorre que o impacto ambiental gerado durante a obtenção de energia já vem sendo discutido mundialmente há muito tempo em razão da gravidade da questão. Assim, a busca da sustentabilidade, que passou a ser uma preocupação empresarial e governamental, requer planejamento e inserção de novas fontes de energia, que sejam renováveis e impactem o mínimo possível no meio ambiente.

No Brasil, a principal fonte de geração de energia elétrica é a hidráulica, em seguida encontra-se a geração térmica (ANEEL, 2016). Como fontes alternativas e renováveis dessa energia observam-se o crescimento do uso da biomassa, dos ventos e da proliferação de pequenas centrais hidroelétricas, todas impulsionadas por programas governamentais de incentivo a Geração Distribuída (FRAUNHOFER, 2013).

Uma fonte de energia sustentável atualmente utilizada é a energia solar fotovoltaica, que atende ao processo de sustentabilidade e gera uma energia limpa e de baixo custo. Há no mercado energético uma grande perspectiva de expansão do parque de geração de energia solar fotovoltaica, cujo estudo é objeto do presente trabalho.

A conversão de energia solar fotovoltaica apresenta elevado potencial no Brasil, onde a irradiação média diária está entre 4,8 e 6,0 kWh/m<sup>2</sup> por dia. Na Alemanha, país que possui a maior capacidade instalada em energia fotovoltaica, a máxima irradiação diária não ultrapassa 3,2 kWh/m<sup>2</sup> (COMERC, 2016).

Como resultado de esforços de pesquisa e desenvolvimento, essa tecnologia de geração vem atingindo resultados cada vez melhor em termos de rendimento na conversão da energia solar em energia elétrica. Segundo uma junta alemã de 14 laboratórios de pesquisa em tecnologia de geração fotovoltaica, foi possível atingir um valor de 47,7% de eficiência na conversão (EPE, 2016), o que contribui para tornar o custo de geração por kWh financeiramente muito mais acessível. Com a concretização dessa tendência, associada a incentivos políticos, a energia solar pode contribuir de maneira considerável na matriz de energia elétrica através de duas formas: as centrais solares e a geração distribuída (COGEN, 2012).

No que se refere à geração distribuída no Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a partir da resolução 482/2012, estabeleceu as condições para o acesso de sistemas de micro e minigeração aos sistemas de distribuição, além de criar o sistema de compensação de energia elétrica. Por meio dele, o cliente que gera energia pode ganhar “créditos” nos intervalos nos quais sua produção for superior à sua demanda. Com a publicação desse documento, a geração distribuída no Brasil passou a ser uma realidade.

Por outro lado, os custos dessa tecnologia no país ainda são elevados, dificultando sua competitividade e justificando a baixa participação na matriz de energia elétrica. Aliado a isso, o impacto da inserção de fontes na rede de distribuição se torna uma preocupação das concessionárias de energia. A intermitência e os ciclos de produção dessas fontes introduzem um elemento novo na operação das redes de distribuição, em particular no controle de tensão e proteção.

Dessa forma, para obter o melhor aproveitamento dessa tecnologia, é necessária uma correta implantação dos equipamentos responsáveis pela conversão da energia solar em elétrica. Para isso é essencial projetar o sistema para as condições específicas de cada local, e, dependendo da carga a ser atendida, a simulação computacional do seu comportamento antes de qualquer investimento, o que possibilita avaliar os impactos técnicos que essa nova fonte pode causar.

### 1.1.TEMA

O presente projeto de pesquisa estrutura um estudo antes e depois da instalação do equipamento que abrange um sistema de energia solar fotovoltaica, cujo tema está descrito a seguir:

“Análise energética de um sistema fotovoltaico instalado em uma granja de suínos em uma propriedade rural, situada na Vila Ipiranga, distrito de São Miguel do Iguazu – Paraná (PR), onde o proprietário do local tem uma granja de suínos e efetuará a instalação de um sistema solar fotovoltaica”.

### 1.2.JUSTIFICATIVA

A matriz elétrica brasileira é composta majoritariamente pela energia proveniente de usinas hidrelétricas. Em 2011, 81,7% da energia elétrica gerada no Brasil era de origem hidráulica (MME, 2012). Há a preocupação de se ter cada vez mais diferentes fontes de energia renovável, para que a matriz energética seja diversificada, não dependendo quase que exclusivamente de uma fonte energética, evitando futuros problemas com apagões e racionamentos de energia elétrica.

A implantação de usinas hidrelétricas impacta fortemente no meio ambiente, sendo alvo de uma legislação bastante rígida. Além do tempo que envolve a obra para a construção de uma usina hidrelétrica, há ainda o tempo envolvido no licenciamento ambiental exigido. A energia solar é uma fonte de energia renovável e os painéis solares fotovoltaicos para a geração de energia elétrica são de fácil instalação, reduzindo o tempo para implantação do sistema.

Também porque a energia solar no território brasileiro tem elevado potencial para sua conversão em energia elétrica, com irradiação global média anual entre 1.200 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Para efeito de comparação, em países que exploram esta fonte há mais tempo, como Alemanha e Espanha, os valores variam, respectivamente, nas faixas 900-1.250 e 1.200-1.850 kWh/m<sup>2</sup>/ano. (PDE, 2012, p.90).

O consumidor a serem analisado é uma granja de suíno, de consumo de energia elétrica não tão elevado, mas pelo motivo que o dono morra na cidade e tem essa propriedade no interior. O principal motivo da instalação no interior é pelo fato do financiamento os juros

para esse tipo de instalação em cima da granja ser menor que se fosse instalado na casa da cidade, esta característica faz dos SFV uma boa opção, uma vez que dependem somente da incidência de raios solares para a geração de energia elétrica, proporcionando a inserção de uma energia renovável.

### 1.3.PROBLEMA

Deste modo, fica esclarecido que o sol é um recurso natural infinito em relação com o tempo de vida de um ser humano. A partir de então o presente projeto elaborou um estudo em cima desta propriedade no interior da Vila Ipiranga, distrito de São Miguel do Iguaçu – PR, com a elaboração do estudo abordando as seguintes situações problemas:

- O alto valor do kW/h;
- A dependência de energia elétrica nas residências;
- A dúvida das pessoas se realmente compensa efetuar uma instalação de um sistema solar fotovoltaico na questão de:
  - a) Valor total do equipamento;
  - b) Retorno financeiro,
  - c) Vida útil do equipamento;
  - d) Preocupação com a concessionária de energia elétrica local.

### 1.4.OBJETIVOS

Os objetivos foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos conforme pode ser observado a seguir.

#### **1.4.1. Objetivo geral**

O objetivo geral do estudo é efetuar uma análise energética de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos instalado em uma granja de suínos no interior de São Miguel do Iguaçu – PR.



### **1.4.2. Objetivos específicos**

Para atingir o objetivo geral deste trabalho foram elaborados objetivos específicos conforme segue abaixo:

- Fazer o levantamento de todas as informações para a fabricação de uma placa fotovoltaica;
- Analisar o consumo antes da instalação e depois da instalação do sistema fotovoltaico;
- Comparar o consumo antes e depois da instalação do sistema fotovoltaico;
- Analisar a viabilidade da energia fotovoltaica;

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

À primeira vista, a energia solar é talvez a solução mais elegante para as nossas necessidades energéticas. O sol expõe a superfície do nosso planeta mais energia do que o suficiente para nos manter para sempre. Estima-se que a Terra receba mais de 173.000 terawatts de energia por ano, o que é mais de 10.000 vezes o que a humanidade precisa. Feito isto abaixo segue algumas referencias já publicadas que foram utilizadas para desenvolver este trabalho.

De acordo com Santos (2011) fez uma descrição e análise dos componentes principais que constituem os sistemas fotovoltaicos autônomos e sistemas fotovoltaicos ligados à rede. Foram analisados os passos que, no seu conjunto, constituem uma metodologia adequada para efetuar o dimensionamento de ambos os tipos de sistemas fotovoltaicos. Foi realizado o dimensionamento e o estudo da viabilidade econômica de um sistema de micro produção fotovoltaica e também feita uma análise da relação existente entre as aplicações fotovoltaicas e a arquitetura dos edifícios. Os aspectos legislativos, as tarifas e os seguros do micro produção fotovoltaica foram também referenciados. Também o estado atual e as perspectivas futuras do fotovoltaico em Portugal e no Mundo foram examinados, mediante dados estatísticos e previsões.

Segundo Leitão (2014) avaliou a viabilidade de se implantar um sistema de ar condicionado com aproveitamento de energia solar no edifício do Centro de Tecnologia da UFRJ, localizado na Cidade Universitária, na cidade do Rio de Janeiro. Ele utilizou a ferramenta de simulação EnergyPlus™ e planilhas eletrônicas, onde primeiramente foram calculadas as cargas térmicas ao longo do ano, e com isso, determinaram-se as condições de conforto em que os sistemas de refrigeração irão operar para, por seguinte, determinar-se o consumo de eletricidade necessário. O interesse do presente projeto é verificar se esses sistemas de ar condicionado solar são economicamente mais vantajosos durante o ano.

Silvestri (2014) apresenta o estudo de viabilidade para a implantação de geração fotovoltaica em shopping Centers. Foi feito uma análise teórica, e depois um estudo do local de instalação dos painéis, considerando as características elétricas que são peculiares ao local analisado, como consome de energia elétrica em horário de ponta e fora de ponta. Realizado o projeto preliminar de instalação, analisando o impacto que os painéis fotovoltaicos iram causar na fatura do consumidor, concluindo-se, então, o estudo ao verificar a viabilidade do projeto.

Oliveira (2015) busca por fontes de energia renovável e limpa, minimizando os impactos ambientais e fortalecendo o desenvolvimento sustentável, tecnologia esta chamada de energia solar, que através da incidência solar tem o propósito de geração de eletricidade. Tendo-se como base o estudo da geração de energia elétrica, através de um sistema solar fotovoltaico conectado na rede de distribuição energética, podendo ser instalado em outras residências, sendo um projeto e de extrema importância por envolver a educação ambiental para população, empresas e para o governo, comprovando que o Brasil precisa e precisará da utilização de fontes renováveis de energia, mas infelizmente os incentivos ainda são poucos no Brasil.

De acordo com Alves (2016) apresenta ao leitor os preceitos e prerrogativas básicas associadas à conversão direta da energia solar em energia elétrica, tratando principalmente da geração de eletricidade a partir do aproveitamento e da contextualização do recurso solar englobando suas tecnologias correlatas. Apresenta desde avaliação do potencial solar até aplicações, dimensionamentos, instalação e manutenção dos conversores solares fotovoltaicos e seus principais acessórios, além de outros aspectos técnicos afins a este recurso energético de grande potencial, no que se refere à complementar a geração de eletricidade da matriz energética do Brasil. Vislumbrando maximizar a curva de aprendizagem, utilizamos como premissa básica o encadeamento de idéias e/ou aplicações de forma objetiva e didática, sempre que possível enfatizando aspectos de natureza prática, alicerçados em normas e padrões correlatos.

Segundo Alves (2016) descreve a viabilidade da instalação de painéis fotovoltaicos é altamente importante devido à necessidade de utilizar novas fontes alternativas de energia, impulsionada pelo esgotamento das fontes em uso (água, petróleo, etc.), crescimento da população brasileira, aumento da demanda de energia e diversas questões ambientais. Portanto, Alves (2016) mostra como um consumidor industrial pode começar a explorar essa fonte de energia inesgotável, os problemas que serão enfrentados em relação aos custos, as suas vantagens e desvantagens, e se há ou não benefícios econômicos.

Pereira (2016) utiliza-se de uma empresa situada em Caxias do Sul para avaliar o potencial de instalação de um sistema fotovoltaico, levando em consideração algumas informações como: irradiação local, disponibilidade de área e sistema tarifário em que a unidade consumidora está inserida. Por fim, é realizada uma avaliação de retorno financeiro, frente à energia fornecida pela concessionária, de acordo com a consistência dos dados obtidos na análise de rendimento do sistema de geração de energia fotovoltaica, como justificativa para um investimento neste determinado sistema.

O trabalho de Goetze (2017) tem por objetivo o desenvolvimento de um projeto básico de um sistema de microgeração fotovoltaico conectado à rede de distribuição de energia elétrica para uma residência localizada no município de São Leopoldo. Foram coletados os dados de irradiância e temperatura local que embasaram o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e do inversor de frequência do sistema proposto. A partir do projeto dimensionado obtiveram-se os dados estimados de energia elétrica gerada em comparação com as estimativas de consumo. Por fim é calculado o tempo de retorno do investimento realizado no projeto.

Caldas (2017) por sua vez analisa a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede instalada em um centro de pesquisa através de métodos determinísticos como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), aplicado a partir do potencial de geração disponível na região da cidade de Salvador-Ba, fazendo referência as normas brasileiras que regulamentam a geração de energia elétrica através de fontes renováveis. Entretanto, existem condições de incertezas na economia e na implantação da tecnologia que podem provocar uma decisão precipitada. Com o método de Monte Carlo é possível fornecer respostas considerando dados imprevisíveis na avaliação do investimento real utilizando uma distribuição de probabilidades.

Segundo David (2017) efetuou um desenvolvimento de pesquisas referenciais que estruturam as áreas de aplicações na área de energia solar, servindo como um guia referencial de apoio e orientação para estudantes e pesquisadores do setor energético. Neste sentido, a elaboração de uma matriz de potencialidades na área de energia solar, fazendo uma análise entre o Brasil e a Alemanha é de extrema relevância para pesquisadores e estudiosos na identificação de desenvolvimento de projetos nesta área.

Pereira (2017) produziu um trabalho com objetivo analisar a viabilidade de implantação de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos distribuídos em uma determinada área do aeroporto. 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. Os resultados da análise mostram uma redução de 100% no consumo de energia elétrica proveniente da concessionária de energia, quando comparado com o histórico de consumo médio de energia elétrica das unidades consumidoras. Ele concluiu que o sistema alternativo visando suprir integralmente a demanda de energia é viável economicamente.

Crespi (2015) efetuou uma análise energética e de custo do potencial fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica do complexo aeroportuário da cidade de Joinville. A proposta de um sistema de geração de energia fotovoltaica conectado à rede de distribuição, mediante avaliação dos requisitos legais, técnicos e econômicos de projeto e o impacto do excedente de geração para a concessionária de energia, é apresentada e discutida. O projeto contemplou equipamentos disponíveis no mercado brasileiro e regularizados e teve como limitante de potência de instalação a atual legislação vigente, e também propôs um projeto para suprir 36% do consumo do aeroporto, pois não foi possível abater mais porque a demanda contratada é baixa e não deve ser abatido acima da demanda

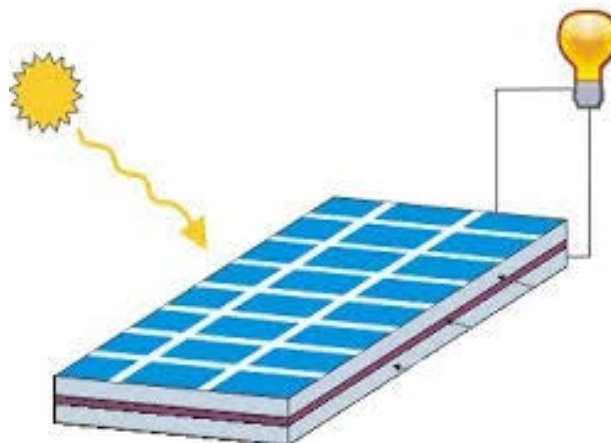
### 3. EFEITO FOTOVOLTAICO

De acordo com Pinho (2014) o efeito fotovoltaico é a criação de tensão ou corrente elétrica em um material após a exposição à luz e é uma propriedade física e química. O efeito fotovoltaico está intimamente relacionado com o efeito fotoelétrico em ambos os casos, a luz é absorvida, causando a excitação de um elétron ou outro portador de carga para um estado de energia mais alta. Um potencial elétrico (ou tensão) é produzido pela separação de cargas, e a luz tem que ter uma energia suficiente para superar a barreira de potencial para excitação.

Segundo Pinho (2014) a primeira demonstração do efeito fotovoltaico em 1839 usou uma célula eletroquímica, mas a forma mais familiar do efeito fotovoltaico nos tempos modernos, porém, é em dispositivos de estado sólido, principalmente em fotodiodos.

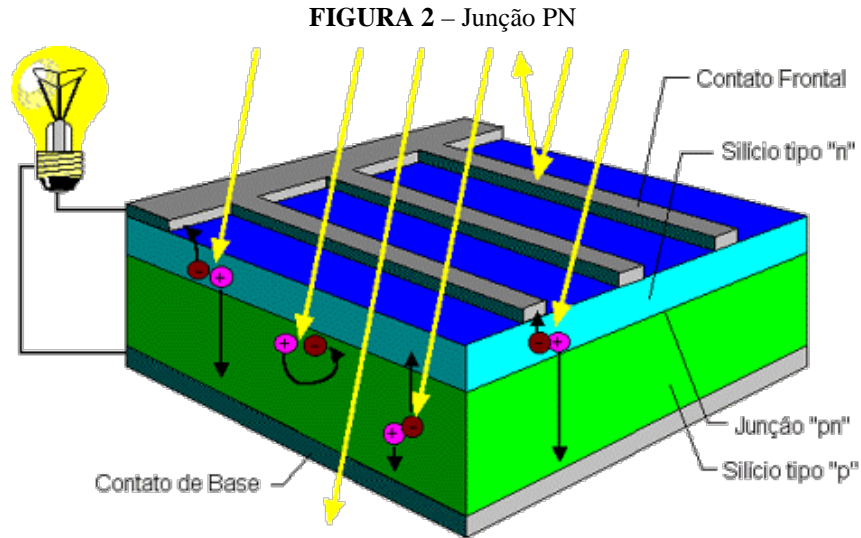
Quando a luz solar ou outra luz suficientemente energética incide sobre o fotodiodo, os elétrons presentes na camada de valência absorvem energia e, sendo excitados, saltam para a banda de condução e tornam-se livres.

FIGURA 1 – Célula Fotovoltaica



Fonte: Solar Brasil.

Estes elétrons excitados difundem-se, e alguns alcançam a junção retificadora (geralmente uma junção p-n) onde são acelerados em um material diferente por um potencial incorporado (potencial de Galvani). Isso gera uma força eletromotriz, e assim parte da energia luminosa é convertida em energia elétrica.

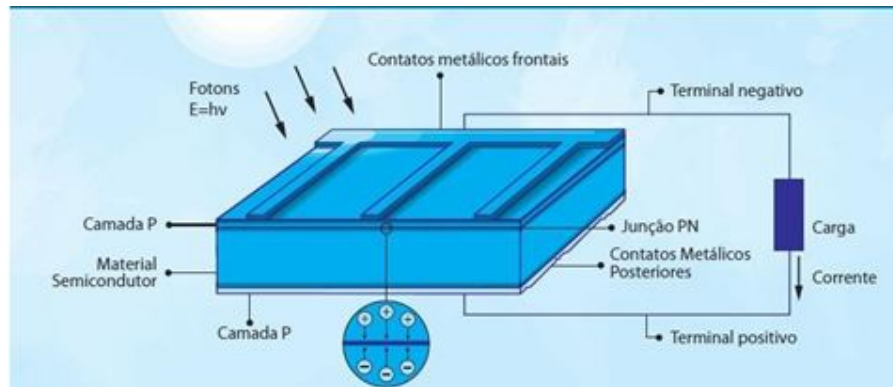


Fonte: Bluesol (2016).

Conforme Pinho (2014) o efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez pelo físico francês AE Becquerel em 1839. Ele explicou sua descoberta em Les Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, "a produção de uma corrente elétrica quando duas placas de platina ou ouro imerso em um ácido, ou solução alcalina são expostas de forma desigual à radiação solar".

Além da excitação direta de elétrons livres, um efeito fotovoltaico também pode surgir simplesmente devido ao aquecimento causado pela absorção da luz. O aquecimento leva a um aumento da temperatura, que é acompanhado por gradientes de temperatura.

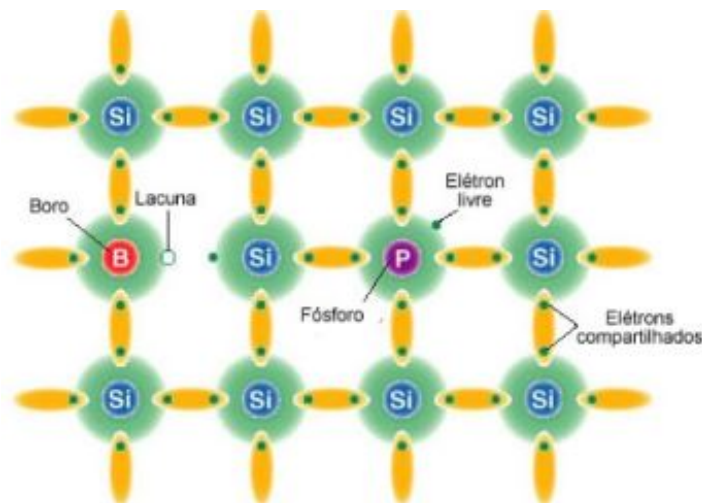
Na maioria das aplicações fotovoltaicas a radiação é a luz solar, e os dispositivos são chamados de células solares. No caso de uma célula solar de junção p-n, a iluminação do material cria uma corrente elétrica como elétrons excitados e os furos remanescentes são varridos em direções diferentes pelo campo elétrico interno na região de depleção.

**FIGURA 3** – Efeito fotovoltaico

Fonte: Silvestri e Takasaki (2014).

Segundo Pinho (2014) num semicondutor exposto à luz, um fóton de energia arranca um elétron, criando ao mesmo tempo uma lacuna ou buraco no átomo excitado. Normalmente, o elétron encontra rapidamente outra lacuna para voltar a preenchê-lo, e a energia proporcionada pelo fóton, por tanto, dissipa-se em forma de calor.

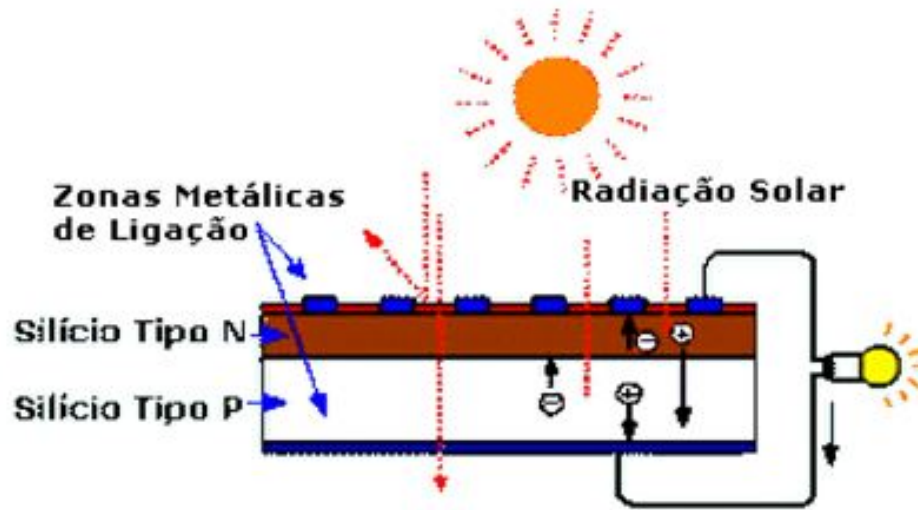
O princípio de uma célula fotovoltaica é obrigar os elétrons e as lacunas a avançar para o lado oposto do material em lugar de simplesmente recombinar-se nele: assim, produzir-se-á uma diferença de potencial e, portanto, tensão entre as duas partes do material, como ocorre numa pilha.

**FIGURA 4** – Lacunas e Elétrons

Fonte: Eletrônica PT.

Para isso, cria-se um campo elétrico permanente, através de uma união PN, entre duas capas dopadas respectivamente, P e N. Nas células de silício, que são majoritariamente utilizadas, se encontram por tanto:

FIGURA 5 – Ligação PN.



Fonte: Eletrônica PT.

De acordo com Pinho (2014) a capa superior da célula se compõe de silício dopado de tipo N. nesta capa, há um número de elétrons livres maiores que numa capa de silício puro, daí o nome de dopagem N, negativo. O material permanece eletricamente neutro, já que tanto os átomos de silício como os do material dopante são neutros: mas a rede cristalina tem globalmente uma maior presença de elétrons que numa rede de silício puro.

A capa inferior da célula se compõe de silício dopado de tipo P. Esta capa tem, portanto, uma quantidade média de elétrons livres menores que uma capa de silício puro. Os elétrons estão unidos à rede cristalina que, em consequência, é eletricamente neutra, mas apresenta lacunas, positivas (P). A condução elétrica está assegurada por estes portadores de carga, que se deslocam por todo o material (PINHO, 2014).

No momento da criação da união PN, os elétrons livres de capa N entram instantaneamente na capa P e se recombinam com as lacunas na região P. Existirá assim durante toda a vida da união, uma carga positiva na região N ao longo da união (porque faltam elétrons) e uma carga negativa na região em P ao longo da união (porque as lacunas têm desaparecido); o conjunto forma a Zona de Carga Espacial (ZCE) e existe um campo elétrico entre as duas, de N para P. Este campo elétrico faz da ZCE um diodo, que só permite o fluxo de corrente numa direção: os elétrons podem mover da região P ao N, mas não na direção oposta e pelo contrário as lacunas não passam mais que de N para P.

Segundo Pinho (2014) quando um fóton expulsa um elétron da matriz, criando um elétron livre e uma lacuna, sobre o efeito deste campo elétrico, cada um vai em direção



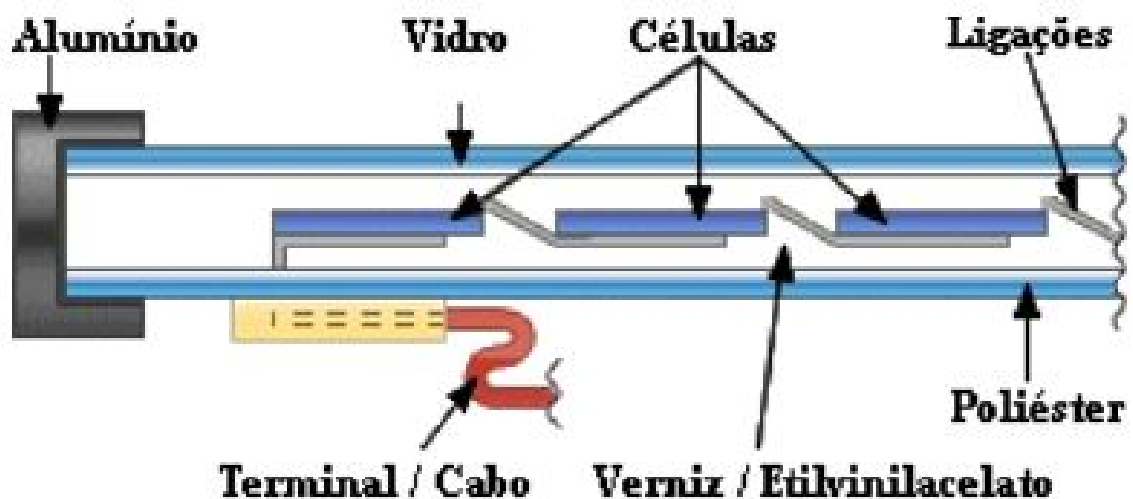
oposta: os elétrons acumulam-se na região N (para converter-se em pólo negativo), enquanto as lacunas acumulam-se na região dopada P (que se converte no pólo positivo).

Este fenômeno é mais eficaz na zona de carga espacial, onde quase não há portadores de carga (elétrons ou lacunas), já que são anulados, ou na redondeza imediata à ZCE: quando um fóton cria um par elétron-lacuna, separaram-se e é improvável que encontrem a seu oposto, mas se a criação tem lugar num lugar mais afastado da união, o elétron (convertido em lacuna) mantém uma grande oportunidade de recombinar-se antes de chegar à zona N (PINHO, 2014).

De acordo com Pinho (2014) ZCE é necessariamente muito fina, de modo que não é útil dar uma grande espessura à célula. Efetivamente, a espessura da capa N é muito pequena, já que esta capa só é necessária basicamente para criar a ZCE que faz funcionar a célula. Em mudança, a espessura de capa P é maior: depende de um compromisso entre a necessidade de minimizar as recombinações elétron- lacuna, e pelo contrário permitir a captação do maior número de fótons possível, para o que se requer mínima espessura.

Em resumo, uma célula fotovoltaica é o equivalente de um gerador de energia à que se acrescentou um diodo. Para conseguir uma célula solar prática, também é preciso acrescentar contatos elétricos (que permitam extrair a energia gerada), uma capa que proteja a célula, mas deixe passar a luz, uma capa anti- reflexo para garantir a correta absorção dos fótons, e outros elementos que aumentem a eficiência do mesmo.

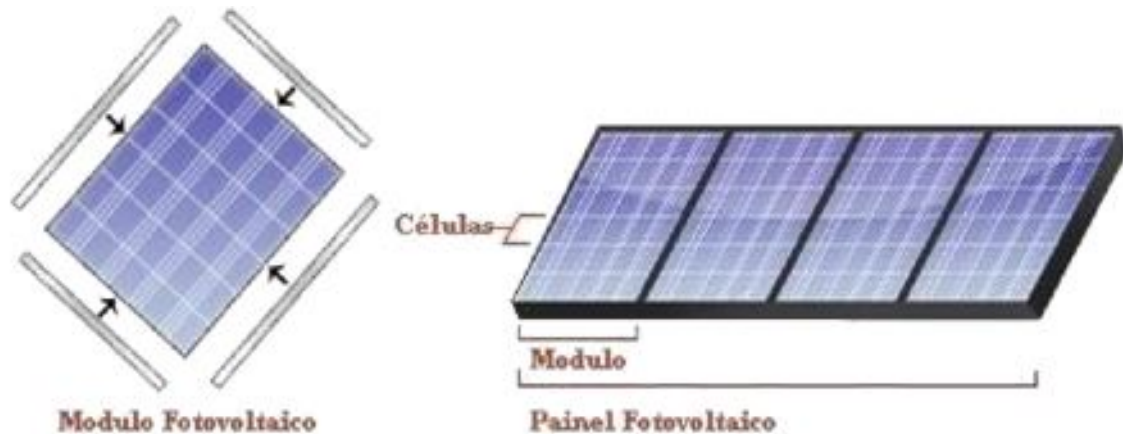
**FIGURA 6** – Constituição interna de uma célula fotovoltaica



Fonte: Soliens (2016).

Um conjunto de células fotovoltaicas constitui um painel fotovoltaico, também conhecido como módulo fotovoltaico.

**FIGURA 7** – Conjunto Fotovoltaico



Fonte: Soliens (2016).

#### **4. TIPOS DE ENERGIA SOLAR**

Segundo Pinho (2014) a energia solar é a luz e o calor do Sol que é aproveitado usando uma gama de tecnologias em constante evolução, como o aquecimento solar, a energia fotovoltaica, energia solar térmica, arquitetura solar, plantas de energia de sal fundido e fotossíntese artificial.

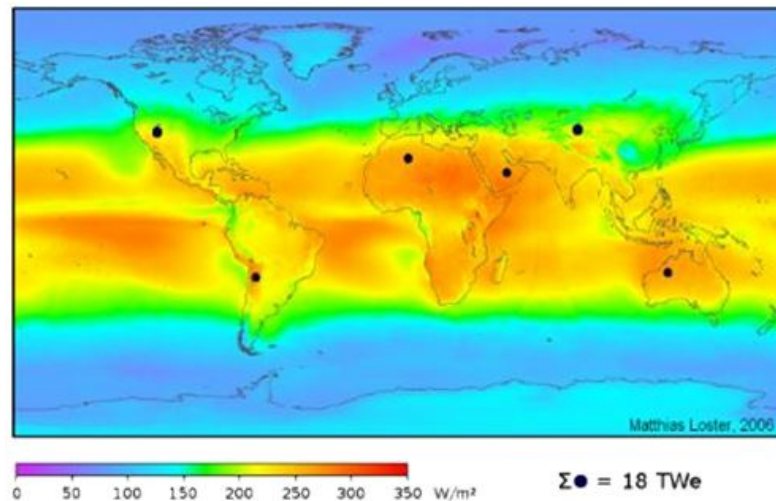
É uma importante fonte de energia renovável e suas tecnologias são amplamente caracterizadas como solar passiva ou solar ativa dependendo de como elas capturam e distribuem a energia ou a convertem em energia elétrica. As técnicas solares ativas incluem o uso de sistemas fotovoltaicos, energia solar concentrada e aquecimento solar de água.

De acordo com Pinho (2014) as técnicas solares passivas incluem a orientação de um edifício para o Sol, a escolha de materiais com propriedades térmicas favoráveis ou propriedades de dispersão da luz e a concepção de espaços que circulam naturalmente o ar.

A grande magnitude da energia solar disponível torna uma fonte altamente atraente de eletricidade. O Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas em sua Avaliação Energética Mundial de 2000 constatou que o potencial anual da energia solar era entre 1.575 e 49.837 exajoules (EJ). Isto é, várias vezes maiores do que o consumo total mundial de energia, que foi de 559,8 EJ em 2012 (PINHO, 2014).

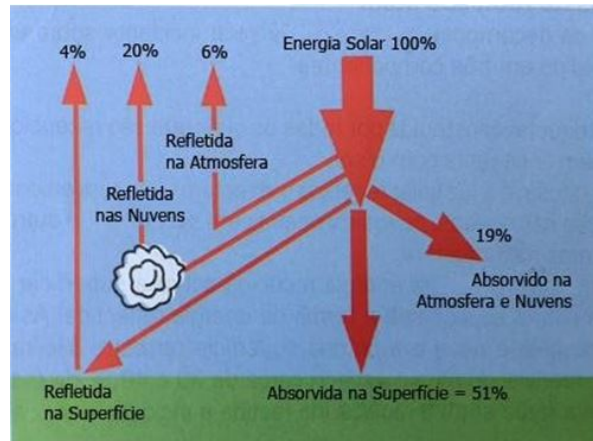
Pinho (2014) afirma que a Terra recebe 174.000 terawatts (TW) de radiação solar entrante (insolação) na atmosfera superior. Aproximadamente 30% são refletidos de volta ao espaço enquanto o resto é absorvido por nuvens, oceanos e massas terrestres. A maioria da população do mundo vive em áreas com níveis de insolação de 150 - 300 watts/m<sup>2</sup>, ou 3,5 - 7,0 kWh/m<sup>2</sup> por dia.

**FIGURA 8** – Radiação solar total.



Fonte: Atlas Mundial de energia solar.

Segundo Pinho (2014) a radiação solar é absorvida pela superfície da Terra e a atmosfera. O ar quente que contém a água evaporada dos oceanos aumenta, causando a circulação atmosférica ou a convecção. Quando o ar atinge uma altitude elevada, onde a temperatura é baixa, o vapor de água se condensa em nuvens, que chovem sobre a superfície da Terra, completando o ciclo da água. O calor da condensação de água amplifica a convecção, produzindo fenômenos atmosféricos como vento, ciclones e anticiclones. A luz solar absorvida pelos oceanos e massas terrestres mantém a superfície a uma temperatura média de 14 °C.

**FIGURA 9** – Radiação distribuída na superfície da Terra

Fonte: Silvestri e Takasaki (2014).

A energia solar total absorvida pela atmosfera terrestre, oceanos e massas terrestres é de aproximadamente 3.850.000 exajoules (EJ) por ano. Em 2002, isto era mais energia em uma hora do que o mundo usa em um ano (PINHO, 2014).

#### 4.1.ENERGIA TÉRMICA

**FIGURA 10** – Energia térmica para aquecimento de água residencial.

Fonte: Levek (2018).

De acordo com Pinho (2014) os sistemas de água quente solar usam a luz solar para aquecer a água. Em baixas latitudes geográficas (abaixo de 40 graus), 60 a 70% da água quente doméstica podem ser fornecida com sistemas de aquecimento solar até 60 °C. Os tipos mais comuns de aquecedores de água solares são coletores de vácuo (44%) e coletores de

placas planas (34%) geralmente usadas para água quente doméstica; E coletores plásticos não esmaltados (21%) utilizados principalmente para aquecer piscinas.

Segundo as informações de Pinho (2014) a partir de 2007, a capacidade instalada total de sistemas de água quente solar era de aproximadamente 154 gigawatt térmicos (GWth). A China é o líder mundial em sua implantação com 70 GWth instalado a partir de 2006 e um objetivo de longo prazo de 210 GWth até 2020. Israel e Chipre são os líderes per capita no uso de sistemas solares de água quente com mais de 90% das casas usando-os. Nos Estados Unidos, Canadá e Austrália, a piscina de aquecimento é a aplicação dominante de água quente solar com uma capacidade instalada de 18 GWth a partir de 2005.

#### 4.2.ENERGIA SOLAR CONCENTRADA

De acordo com Pinho (2014) o sal fundido pode ser aproveitado como um método de armazenamento de energia térmica, para reter a energia térmica coletada por uma torre solar ou cocho solar de uma usina de energia solar concentrada, de modo que ele pode ser usado para gerar eletricidade em mau tempo ou à noite.

Pinho (2014) cita o projeto Solar Two de 1995-1999, prevê que o sistema tenha uma eficiência anual de 99%, uma referência à energia retida armazenando calor antes de transformá-lo em eletricidade, versus converter o calor diretamente em eletricidade. As misturas de sal fundido variam e as mais utilizadas contém nitrato de sódio, nitrato de potássio e nitrato de cálcio, não inflamável e não tóxico.

Segundo Pinho (2014) o sal funde a 131°C, mantém-se líquido a 288°C num tanque de armazenamento "frio" isolado, o sal líquido é bombeado através dos painéis em um coletor solar onde o sol focalizado o aquece a 566°C. Em seguida, é enviado para um tanque de armazenamento quente. Isto é tão bem isolado que a energia térmica pode ser armazenada por até uma semana.



**FIGURA 11** – Usina de energia solar concentrada.



Fonte: IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia.

De acordo com Pinho (2014) quando a eletricidade é necessária, o sal quente é bombeado para um gerador de vapor convencional para produzir vapor superaquecido para uma turbina/gerador como usado em qualquer usina convencional de carvão, óleo ou nuclear. Uma turbina de 100 megawatts precisaria de um tanque de cerca de 9,1 metros de altura e 24 metros de diâmetro para conduzi-lo por quatro horas neste projeto.

#### 4.3.ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Nas duas últimas décadas, a energia fotovoltaica (FV), também conhecida como PV solar, evoluiu de um nicho de mercado puro de aplicações de pequena escala para se tornar uma fonte de eletricidade generalizada. Uma célula solar é um dispositivo que converte luz diretamente em eletricidade usando o efeito fotoelétrico (PINHO, 2014).

Segundo Pinho (2014) a primeira célula solar foi construída por Charles Fritts em 1880. Em 1931, um engenheiro alemão, o Dr. Bruno Lange, desenvolveu uma célula fotográfica usando seleneto de prata no lugar de óxido de cobre, embora o protótipo de células de selênio tenha convertido menos de 1% da luz incidente em eletricidade, Ernst Werner Von Siemens e James Clerk Maxwell reconheceram a importância desta descoberta.

De acordo com Pinho (2014) após o trabalho de Russell Ohl nos anos 40, os pesquisadores Gerald Pearson, Calvin Fuller e Daryl Chapin criaram a célula solar de silício cristalino em 1954. Essas células solares iniciais atingiam eficiências de 4,5-6%. Em 2012, as eficiências disponíveis excediam os 20%, e a eficiência máxima da conversão fotovoltaica era

superior a 40%. Em 2017 já é normal encontrarmos módulos fotovoltaicos poli-cristalinos mais baratos com mais de 16% de eficiência.

**FIGURA 12** – Satélite com energia solar fotovoltaica



Fonte: NASA.

## 5. O SOL

Pinho (2014) descreve que o Sol é uma esfera quase perfeita de plasma quente, com movimento convexo interno que gera um campo magnético através de um processo de dínamo. É de longe a mais importante fonte de energia para a vida na Terra. Seu diâmetro é cerca de 109 vezes o da Terra, além de ser 330.000 vezes maior, representando cerca de 99,86% da massa total do Sistema Solar.

Cerca de três quartos da massa do Sol consistem em hidrogênio (~73%); O resto é principalmente hélio (~25%), com quantidades muito menores de elementos mais pesados, incluindo oxigênio, carbono, neon e ferro (PINHO, 2014).

O Sol é uma estrela de tipo G (G2V) baseada na sua classe espectral, referida como uma anã amarela. Formou-se há aproximadamente 4,6 bilhões anos atrás e esta mais ou menos na meia-idade. Calcula-se que o Sol se tornará suficientemente grande para engolfar as órbitas atuais de Mercúrio, Vênus e, provavelmente, a Terra. O enorme efeito do Sol na Terra tem sido reconhecido desde tempos pré- históricos, e o Sol tem sido considerado por algumas culturas como uma divindade (PINHO, 2014).

## 5.1. IRRADIAÇÃO SOLAR

Segundo Pinho (2014) a irradiação solar é a potência por unidade de área recebida do Sol sob forma de radiação eletromagnética, ela também pode ser medida no espaço ou na superfície da Terra após absorção atmosférica e dispersão. A irradiância solar total (ETI) é uma medida da energia solar sobre todos os comprimentos de onda por unidade de área incidente na atmosfera superior da Terra. A constante solar é uma medida convencional de ETI média a uma distância de uma unidade astronômica (AU). A irradiação na Terra também é medida perpendicularmente à luz solar que entra. Insolação é a potência recebida na Terra por unidade de área em uma superfície horizontal.

## 5.2. UNIDADES

A unidade de irradiância é o watt por metro quadrado ( $W/m^2$ ). A indústria de energia solar usa watt-hora por metro quadrado ( $Wh/m^2$ ) dividido pelo tempo.  $1 kW/m^2 = 24 kWh/m^2$  dia.

As unidades de irradiância são usadas como entrada para planilhas para dimensionar sistemas de energia solar fotovoltaica. Porque os painéis solares são montados quase sempre em um ângulo determinado pela localização para o sol, seguindo uma tabela, a insolação deve ser ajustada para impedir as estimativas que são imprecisamente baixa para o inverno e irregularmente elevadas para o verão. Em muitos países, os números podem ser obtidos a partir de um mapa de insolação ou de tabelas de insolação que refletem dados sobre os 30-50 anos anteriores (PINHO, 2014).

Segundo Pinho (2014) os painéis fotovoltaicos são classificados em condições padrão para determinar a potência  $W_p$  (pico de watts), que pode então ser usada com insolação para determinar a saída esperada, ajustada por fatores como inclinação, rastreamento e sombreamento. Os valores de insolação variam de 800 a 950 kWh na Noruega até 2.900 na Austrália.

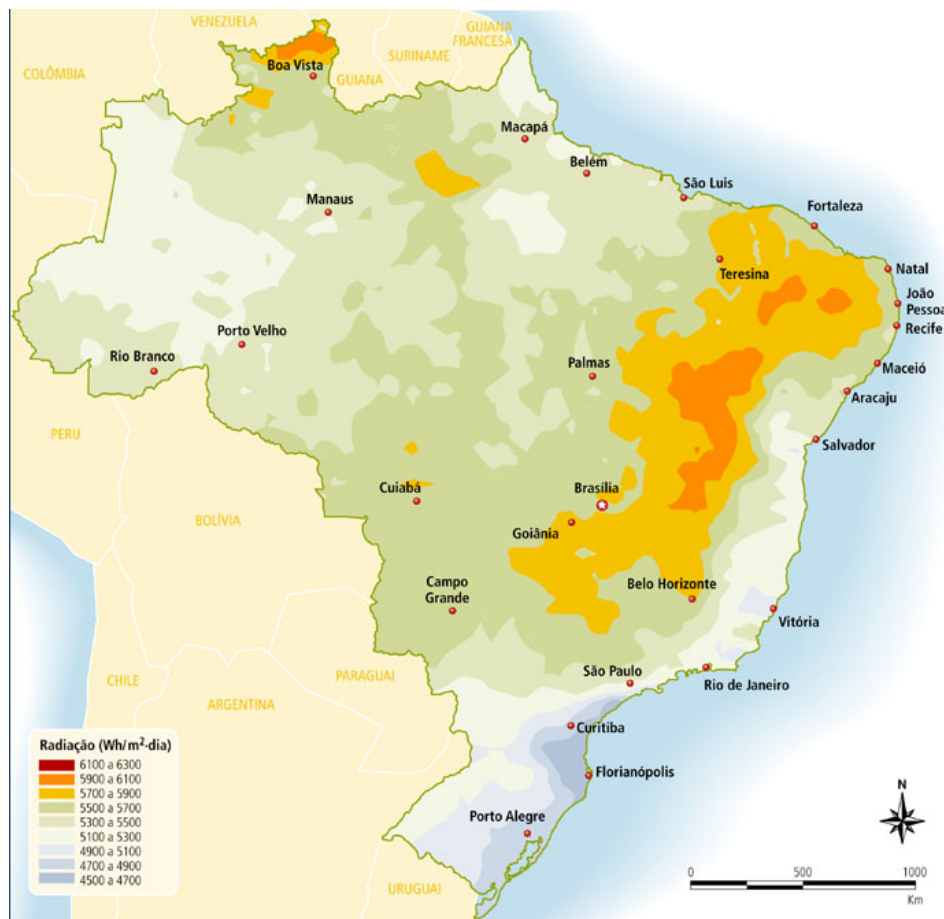
## 5.3. IRRADIAÇÃO NO BRASIL

De acordo com Pinho (2014) o mapa solar do Brasil mostra a média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro. O valor máximo de irradiação global ( $6,5 kWh/m^2$ ) ocorre no norte do estado da Bahia, a menor irradiação solar



global (4,25 kWh/m<sup>2</sup>) ocorre no litoral norte de Santa Catarina. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (4200-6700 kWh/m<sup>2</sup>) são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como Alemanha (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>), França (900- 1650 kWh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200-1850 kWh/m<sup>2</sup>), onde o governo tem um forte incentivo em relação a projetos de energia solar.

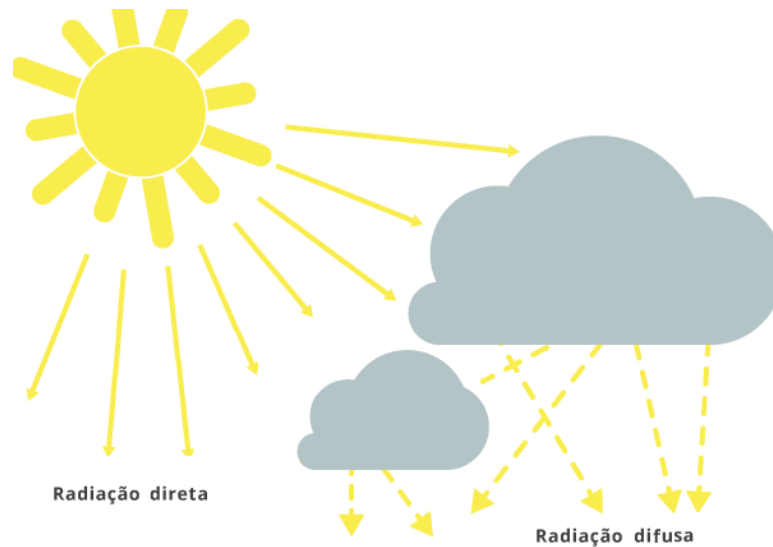
**FIGURA 13** – Mapa do potencial Solar brasileiro



Fonte: Atlas Brasileira de energia solar.

## 5.4. TIPOS DE RADIAÇÃO

**FIGURA 14** – Radiação Direta e Difusa



Fonte: IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia.

### 5.4.1. Difusa

De acordo com Pinho (2014) a radiação difusa é a radiação solar que atinge a superfície da Terra depois de ter sido dispersa do feixe solar direto por moléculas na atmosfera. Da luz total retirada do feixe solar direto por espalhamento na atmosfera, cerca de dois terços atinge a terra como radiação difusa do céu. Quando o sol está no céu sem nuvens, com  $1361 \text{ W/m}^2$  acima da atmosfera, a luz solar direta é de cerca de  $1050 \text{ W/m}^2$  e a insolação total é de  $1120 \text{ W/m}^2$ . Isto implica que sob estas condições a radiação difusa é apenas cerca de  $70 \text{ W/m}^2$  fora do original  $1361 \text{ W/m}^2$ .

### 5.4.2. Direta

Segundo Pinho (2104) insolação direta é a insolação solar medida em um determinado local na Terra com um elemento de superfície perpendicular aos raios do Sol, excluindo a insolação difusa. A insolação direta é igual à irradiância solar acima da atmosfera menos as perdas atmosféricas devidas à absorção e dispersão. Enquanto a irradiância solar acima da atmosfera varia com a distância Terra-Sol e os ciclos solares, as perdas dependem do tempo do dia, cobertura de nuvens, teor de umidade e outras impurezas.

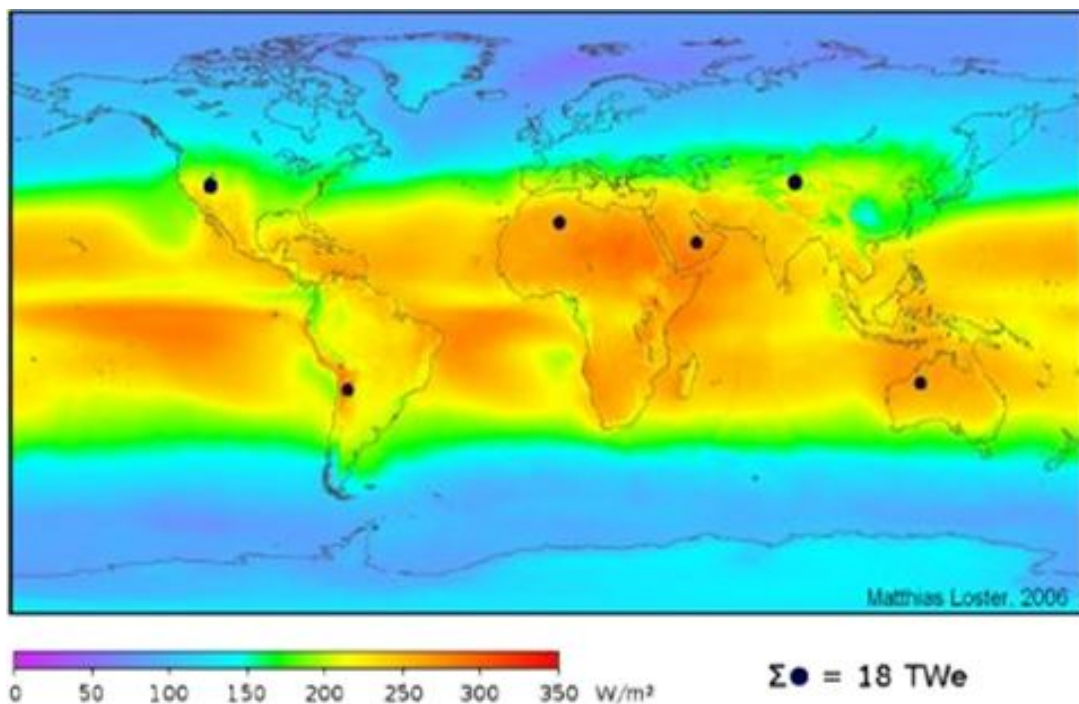
### 5.4.3. Global

Conforme cita Pinho (2014) a irradiância global em uma superfície horizontal na Terra consiste na irradiância direta e irradiância difusa. Num plano inclinado, há outro componente de irradiância, que é o componente refletido a partir do solo. A reflexão média do solo é de cerca de 20% da irradiância global. Assim, a irradiância global em um plano inclinado consiste em irradiância direta, difusa e do solo.

### 5.4.4. Potencial Energético Solar

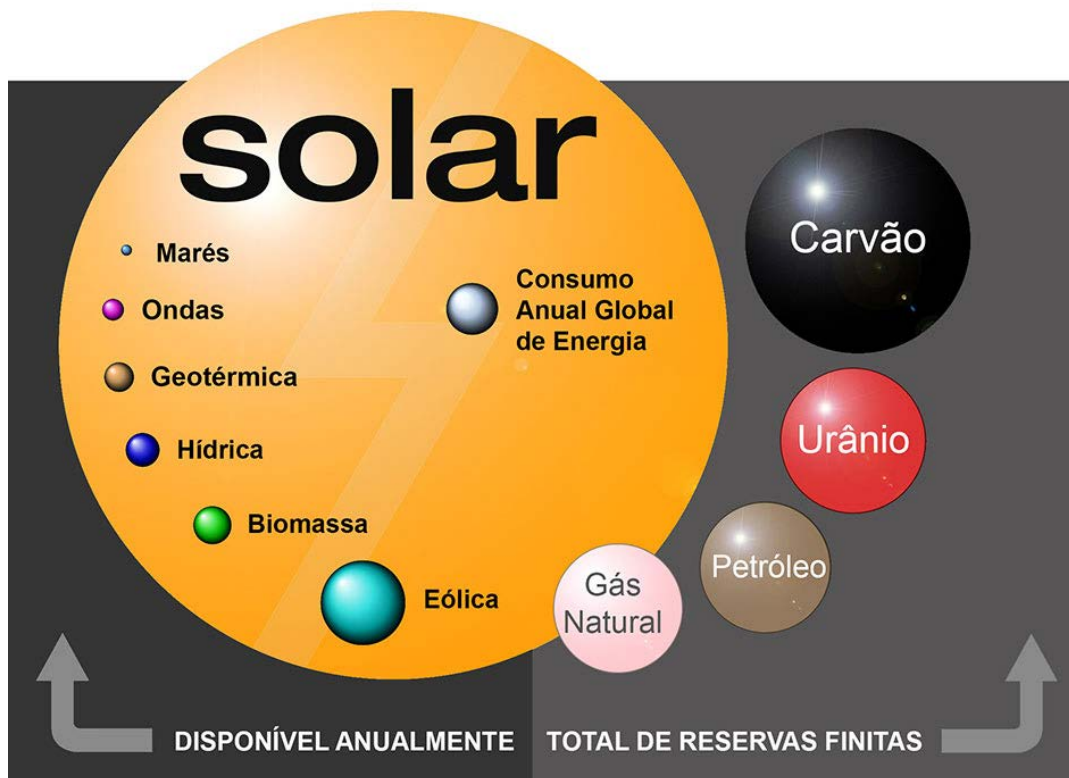
O potencial de energia solar é massivo. O potencial da energia solar é grande (conversão de energia solar em eletricidade), estimar esse potencial depende em grande parte dos fatores que são levados em conta. Na figura a seguir está uma visão geral da cobertura (pontos pretos) em células fotovoltaicas (células solares) para cobrir todo o consumo de energia do mundo (com base numa suposição de uma taxa de conversão de eletricidade de 8%).

FIGURA 15 – Mapa do Potencial Solar mundial



Fonte: Atlas Mundial de energia solar.

**FIGURA 16** - Potencial total de energia solar em comparação com outras fontes não renováveis.

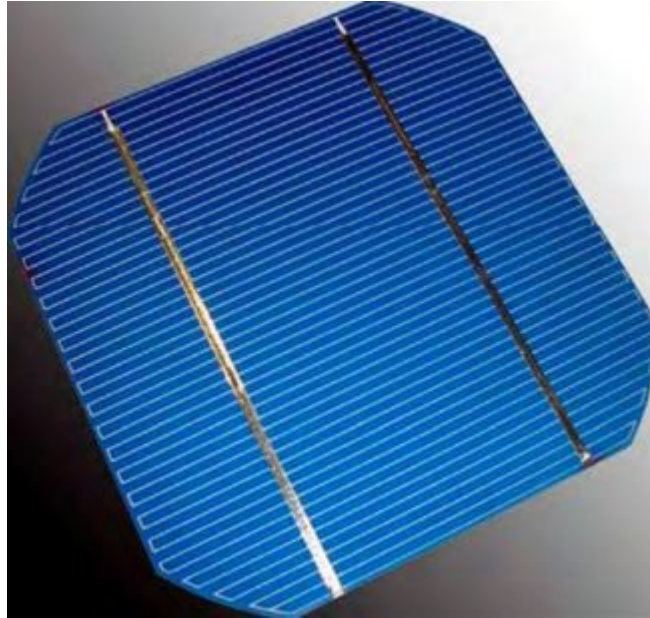


Fonte: Portal Solar.

## 6. FABRICAÇÃO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICA

### 6.1.MATERIAIS

Os materiais que compõem as células solares devem ter certas características a fim de absorver a luz solar. Algumas células são projetadas para lidar com a luz solar que atinge a superfície da Terra, enquanto outras são aperfeiçoadas para uso no espaço. Segundo Alves (2016) as células solares podem ser feitas de apenas uma única camada de material absorvente de luz (junção simples) ou usar múltiplas configurações físicas (junções múltiplas) para aproveitar vários mecanismos de separação de carga e absorção.

**FIGURA 17** – Célula Fotovoltaica.

Fonte: Cresesb.

De acordo com Alves (2016) as células solares podem ser classificadas em células de primeira, segunda e terceira geração. As células da primeira geração - também chamadas de células convencionais, tradicionais ou baseadas em “wafer” - são feitas de silício cristalino, a tecnologia fotovoltaica predominante, se subdividem em silício policristalino e silício monocristalino. As células de segunda geração são células solares de película fina, que incluem células de silício amorfo, CdTe e CIGS e são comercializadas em locais onde o peso das células é um fator limitante, construindo sistemas fotovoltaicos integrados ou em pequenos sistemas de energia autônomos.

A terceira geração de células solares inclui várias tecnologias de filmes finos, muitas vezes descritas como fotovoltaicas emergentes - a maioria delas ainda não foi aplicada comercialmente e ainda está em fase de pesquisa e desenvolvimento.

Descreve Alves (2016) que muitas células usam materiais orgânicos, muitas vezes compostos organometálicos, bem como substâncias inorgânicas. Apesar do fato de as suas eficiências terem sido baixas e a estabilidade do material absorvente ser muitas vezes curta para aplicações comerciais, existe uma grande quantidade de estudo investida nestas tecnologias, uma vez que prometem atingir o objetivo de produzir produtos de baixo custo e de elevada eficiência.

## 6.2.SILÍCIO CRISTALINO

De longe, o material mais prevalente para células solares é o silício cristalino (c-Si), também conhecido como "silício de grau solar". De acordo com Alves (2016) o silício em massa é separado em várias categorias de acordo com a cristalinidade e o tamanho do cristal no lingote, fita ou "wafer" resultante, estas células são inteiramente baseadas em torno do conceito de uma junção p-n, células solares feitas de c-Si são feitas de wafers entre 160 e 240 micrômetros de espessura.

## 6.3.SILÍCIO MONOCRISTALINO

As células solares de silício monocristalino (mono-Si) são mais eficientes e mais caras do que a maioria dos outros tipos de células. Segundo Alves (2016) os cantos das células parecem cortados, como um octógono, porque o material de bolacha é cortado de lingotes cilíndricos, que são tipicamente cultivados pelo processo de Czochralski, os painéis solares que usam células mono-Si exibem um padrão distinto de pequenos diamantes brancos.

Explica Alves (2016) que os discos epitaxiais de silício cristalino podem ser cultivados numa bolacha de silício monocristalino de "semente" por deposição química de vapor (CVD), e então destacadas como bolachas autoportantes de alguma espessura padrão (por exemplo, 250 $\mu$ m) que podem ser manipuladas à mão e substituídas diretamente por células de bolacha cortadas a partir de lingotes de silício monocristalino. As células solares feitas com esta técnica "sem defeitos" podem ter eficiências que se aproximam daquelas de células cortadas em wafer, mas a custos consideravelmente mais baixos se a CVD pode ser feita à pressão atmosférica em um processo em linha de alto rendimento. A superfície de wafers epitaxiais pode ser texturizada para aumentar a absorção de luz.

**FIGURA 18** – Célula Monocristalina.



Fonte: Cresesb.

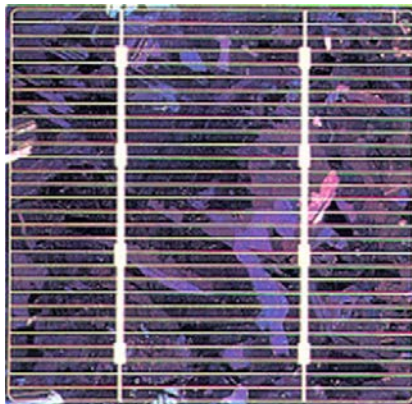


A empresa Crystal Solar de Santa Clara, Califórnia, em colaboração com o instituto de pesquisa europeu anunciou que eles alcançaram uma eficiência celular de 22,5% de uma célula de silício.

#### 6.4.SILÍCIO POLICRISTALINO

Segundo Alves (2016) o silício policristalino, ou células de silício multicristalino (multi-Si) são feitas de lingotes quadrados de fundição - grandes blocos de silício fundido cuidadosamente resfriado e solidificado. Eles consistem em pequenos cristais e são o tipo mais comum usado em fotovoltaica e são menos dispendiosas, mas também menos eficientes do que as feitas a partir de silício monocristalino.

**FIGURA 19** – Célula Policristalina.



Fonte: Cresesb.

#### 6.5.SILÍCIO EM FITA

De acordo com Alves (2016) o silício em fita é um tipo de silício policristalino - é formado extraindo películas finas planas do silício derretido e resulta em uma estrutura policristalina, estas células são mais baratas de fazer do que multi-Si, devido a uma grande redução no desperdício de silício, uma vez que esta abordagem não requer serração de lingotes. No entanto, elas são menos eficientes, portanto pouco usadas.

## 6.6.PRODUÇÃO DAS CÉLULAS

Alves (2016) cita a explicação de Albert Einstein em 1905 sobre o efeito fotoelétrico - o metal absorve a energia da luz e reterá essa energia até que a luz a acerte. No entanto, só em 1954 que os cientistas da Bell, Gordon Pearson, Darryl Chapin e Cal Fuller produzissem uma célula solar de silício de 4%. As células solares foram usadas primeiramente na cidade rural e isolada de Americus (Geórgia, EUA) como uma fonte de alimentação para um sistema do relé do telefone, onde foi usada com sucesso por muitos anos.

### 6.6.1. Matéria Prima

O componente básico de uma célula solar é silício puro, pois o encontrado na natureza não é puro e deve ser purificado para ser utilizado em células solares.

Para fazer as células solares, as matérias-primas - dióxido de silício de cascalho de quartzo ou quartzo esmagado - são primeiro colocados em um forno de arco elétrico, onde um arco de carbono é aplicado para liberar o oxigênio. Segundo Alves (2016) os produtos são dióxido de carbono e silício fundido, infelizmente neste ponto, o silício ainda não é puro o suficiente para ser usado para células FV e requer mais purificação.

**Figura 20** - Silício em estado natural, areia.



Fonte: SRM (2019).

De acordo com Alves (2016) o silício puro é derivado de tais dióxidos de silício como cascalho de quartzito (a sílica mais pura) ou quartzo triturado, e então dopado (tratado com) com fósforo e boro para fazer um semicondutor capaz de conduzir eletricidade. Os discos de



silício são brilhantes e exige um revestimento anti-reflexo que geralmente são dióxido de titânio.

De acordo com Alves (2016) o módulo solar consiste no semicondutor de silício rodeado por material protetor em uma estrutura metálica, sendo este material protetor um encapsulante de borracha de silício transparente ou plástico de butirilo (utilizado em pára-brisas de automóvel) ligado em torno das células, que são então incorporadas em acetato de etileno e vinilo. Uma película de poliéster (tal como o mylar ou o tedlar) compõe o revestimento protetor, então uma cobertura de vidro é encontrada em arranjos terrestres, uma capa de plástico leve em matrizes de satélite. As peças eletrônicas são padrão e consistem principalmente de cobre, o quadro é de aço ou alumínio, o silício é usado como o cimento para colocar tudo junto.

## 6.7.PROCESSO DE FABRICAÇÃO

### 6.7.1. Purificação do Silício

Segundo Alves (2016) o dióxido de silício do cascalho de quartzito ou quartzo triturado é colocado em um forno de arco elétrico, após isso se aplica um arco de carbono para libertar o oxigênio, os produtos gerados são dióxido de carbono e silício fundido, este processo simples produz silício com 1% de impureza, útil em muitas indústrias, mas não para a indústria de células solares.

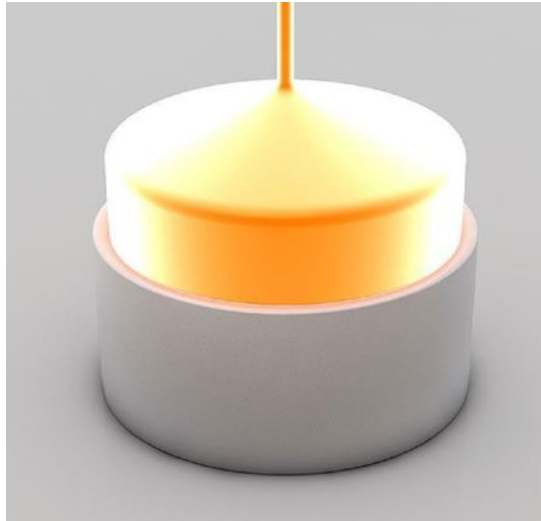
De acordo com Alves (2016) o silício 99% puro é purificado ainda mais usando a técnica de zona flutuante, onde uma vareta de silício impuro é passada através de uma zona aquecida várias vezes na mesma direção, este procedimento "arrasta" as impurezas em direção a uma extremidade com cada passagem, após ser repetida várias vezes o mesmo procedimento o silício é considerado puro, e a extremidade impura é removida.

### 6.7.2. Fabricação de Silício de Cristal Único

Segundo Alves (2016) as células solares são feitas de cristais de silício, estruturas mono cristalinas que têm a estrutura atômica de um único cristal, o processo mais comumente usado para criar o lingote é chamado o método Czochralski. Neste processo, um cristal semente de silício é mergulhado em silício fundido, à medida que o cristal de semente é

retirado e rodado, é formado um lingote cilíndrico ou "boule" de silício, o lingote retirado é puro, porque as impurezas tendem a permanecer no líquido.

**Figura 21** – Gerando o lingote de Silício.

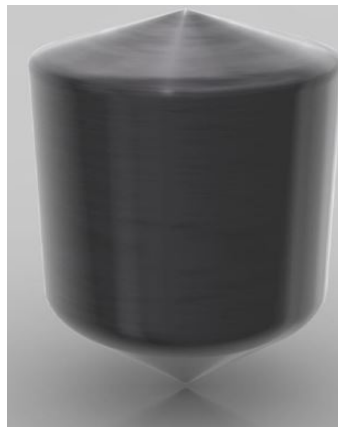


Fonte: SRM (2019).

### 6.7.3. Fabricação de “Wafers” de Silício

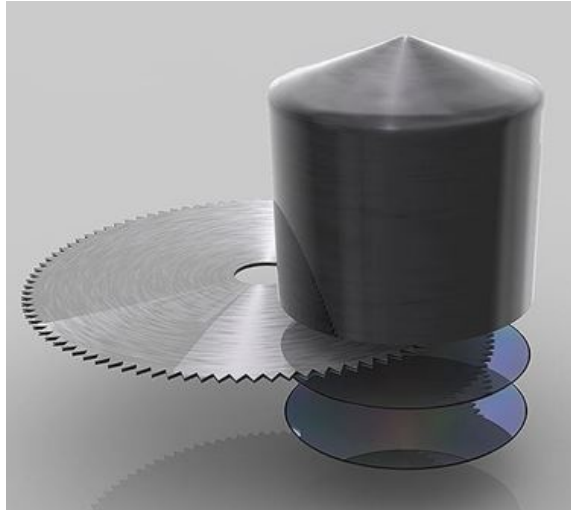
De acordo com Alves (2016) os discos do silício são cortados um de cada vez usando uma serra circular ou com uma serra de fio (serra de diamante produz cortes que são tão largos quanto o wafer – 5 milímetros de espessura), a metade do silício é perdida do lingote para o corte dos discos acabados, mais ainda se o disco for cortado para ser retangular ou hexagonal. Wafers retangulares ou hexagonais são os utilizados em células solares, porque eles podem ser montados juntos sem perder muito espaço na superfície frontal da célula solar.

**Figura 22** – Lingote de silício pronto.



Fonte: SRM (2019).

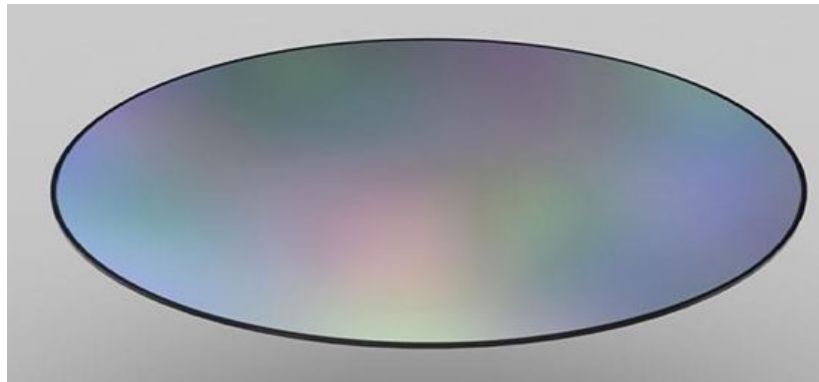
**Figura 23** – Lingote de silício sendo fatiado.



Fonte: SRM (2019).

Após os lingotes serem fatiados eles são polidos para remover as marcas da serra. (Recentemente foi descoberto que as células mais ásperas absorvem a luz de forma mais eficaz).

**Figura 24** – Disco de silício que será usado para produzir as células fotovoltaicas.



Fonte: Soliens (2016).

#### **6.7.4. Dopagem**

A forma tradicional de dopagem (doping = adição de impurezas) do wafers de silício é introduzir uma pequena quantidade de boro durante o processo de Czochralski. Segundo Alves (2016) os discos são então selados de costas para trás e colocados em um forno para serem aquecidos abaixo do ponto de fusão do silício (1.410 graus Celsius) na presença de gás fosforoso. Os átomos de fósforo tocam o silício, que é mais poroso porque está perto de se

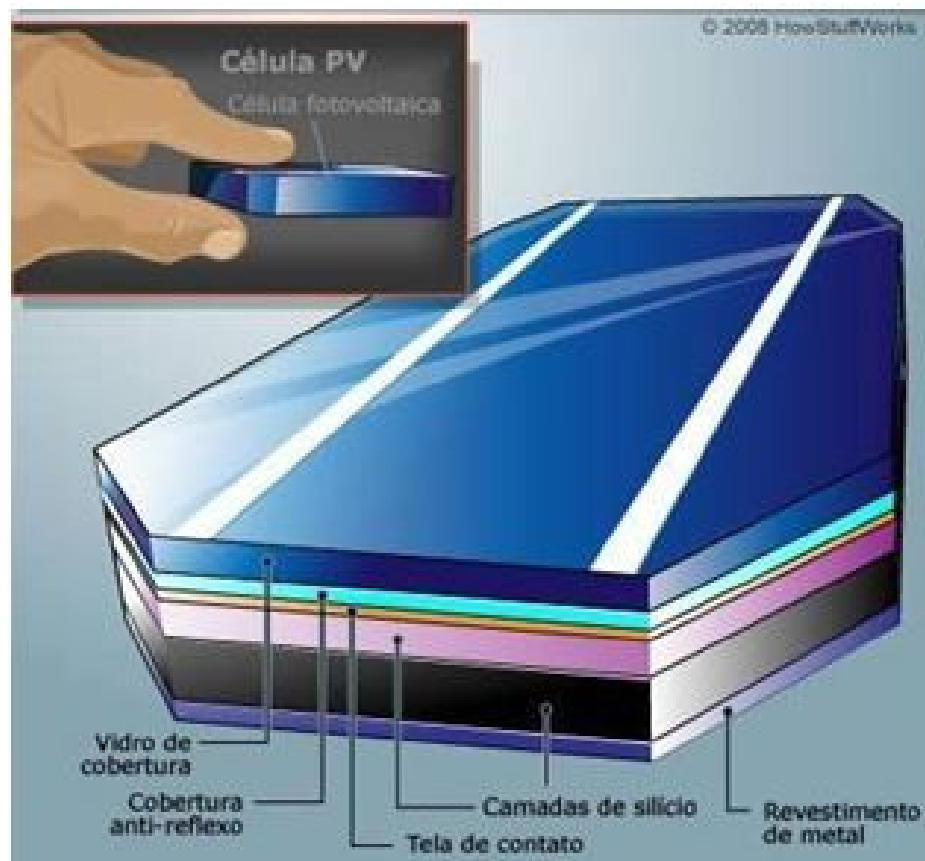
tornar um líquido. A temperatura e o tempo dados ao processo são controlados com cuidado para assegurar uma junção uniforme da profundidade apropriada.

Uma forma mais recente de dopagem de silício com fósforo é usar um pequeno acelerador de partículas para atirar íons de fósforo no lingote. Controlando a velocidade dos íons, é possível controlar a sua profundidade de penetração. Este novo processo, no entanto, ainda não é utilizado em larga escala pelos fabricantes comerciais.

### 6.7.5. Contatos Elétricos

Os contatos elétricos conectam cada célula solar a outra e ao receptor da corrente produzida. De acordo com Alves (2016) os contatos devem ser muito finos (pelo menos na frente) para não bloquear a luz solar para a célula, os metais como prata-paládio, níquel ou cobre são evaporados a vácuo, as células são encapsuladas em etileno acetato de vinilo e colocadas numa armação metálica que tem uma folha posterior “mylar” e cobertura de vidro.

**FIGURA 25** – Estrutura da célula.



Fonte: Oliveira (2017).

Depois que os contatos estiverem no lugar, tiras finas (filamentos) são colocadas entre as células, essas tiras geralmente são de cobre estanhado e prata.

#### **6.7.6. O Revestimento Anti-Reflexo**

Devido ao silício puro ser brilhante, pode refletir até 35% da luz solar, Alves (2016) cita que para reduzir esta perda um revestimento anti-reflexo é colocado sobre o disco de silício, nos quais são dióxido de titânio e óxido de silício, sendo assim ele é aquecido até que suas moléculas fervam e viajam ao silício e condensam-se, ou o material sofre pulverização catódica, neste processo, uma alta tensão expulsa moléculas fora do material e os deposita no silício. Ainda outro método é permitir que o próprio silício reaja com gases contendo Oxigênio ou Nitrogênio para formar dióxido de silício ou nitrato de silício. Os fabricantes comerciais de células solares geralmente utilizam nitrato de silício.

#### **6.7.7. Encapsulando a Célula**

Segundo Alves (2016) as células solares acabadas são então encapsuladas em borracha de silício ou etileno acetato de vinilo, as células solares encapsuladas são então colocadas em uma estrutura de alumínio que tem uma folha de fundo “mylar” ou “tedlar” e uma cobertura geralmente de vidro ou plástico.

#### **6.7.8. Controle de Qualidade**

O controle de qualidade é importante na fabricação de células solares porque a discrepância nos muitos processos e fatores pode afetar adversamente a eficiência global das células, o principal objetivo destes testes é encontrar maneiras de melhorar a eficiência de cada célula solar ao longo de uma vida mais longa.

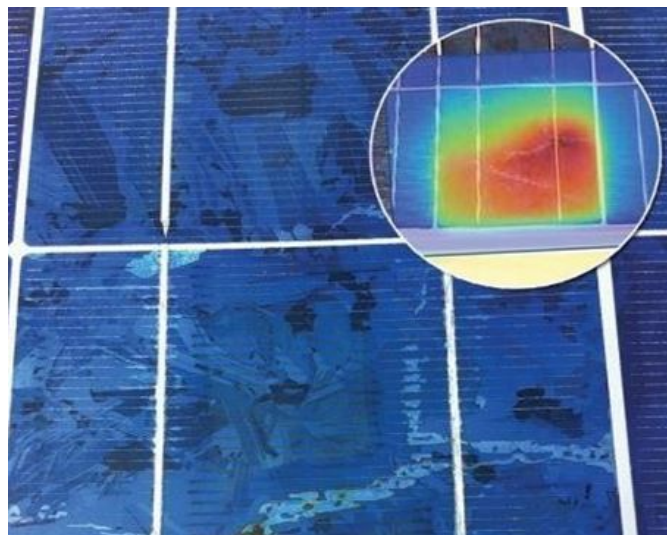
De acordo com Alves (2016) o silício é testado quanto à pureza, orientação cristalina e resistividade. Os fabricantes também testam a presença de oxigênio (que afeta sua resistência e resistência à deformação) e carbono (que causa defeitos). Os discos de silício acabados são examinados para não houver qualquer dano, escamação ou dobra que possa ter ocorrido durante a serragem, polimento e gravação.

Segundo Alves (2016) durante todo o processo de fabricação do disco de silício, a temperatura, a pressão, a velocidade e as quantidades de contaminantes são continuamente

monitoradas. Também são tomadas medidas para assegurar que as impurezas no ar e na superfície de trabalho sejam mantidas a um mínimo.

Alves (2016) explica que os semicondutores concluídos devem ser submetidos a testes elétricos para verificar se a corrente, a tensão e a resistência de cada um correspondem a padrões apropriados, um problema anterior com células solares era uma tendência de parar de funcionar quando parcialmente sombreado, este problema foi atenuado fornecendo diodos de derivação que reduzem tensões perigosamente altas para a célula, a resistência deve então ser testada usando junções parcialmente sombreadas.

**Figura 26** - Áreas de superaquecimento detectadas.



Fonte: Soliens (2016)

Durante todo o processo de fabricação do disco de silício, a temperatura, de teste com condições e intensidade de luz que eles vão encontrar em condições normais e, em seguida, verificando para que eles tenham um bom desempenho, as células também são expostas ao calor e ao frio e testadas contra vibração, torção e granizo (ALVES, 2016).

O teste final para módulos solares é o teste de campo, no qual os módulos acabados são colocados onde eles serão realmente usados, isso fornece ao pesquisador os melhores dados para determinar a eficiência de uma célula solar em condições ambientais e a vida útil da célula solar, os fatores mais importantes de todos (ALVES, 2016).

**Figura 27** – Teste dos painéis.



Fonte: Soliens (2016).

Segundo Alves (2016) existem ainda testes feitos nos módulos montados para testar a resistência a impactos, o mais substancial destes testes de impacto IEC acontece com uma bola de gelo de 203 gramas projetada a 39,5 m/seg. de encontro à placa, o módulo solar deve funcionar com um máximo de 5% de degradação sem danos visíveis.

**Figura 28** – Teste de impacto.



Fonte: Soliens (2016).

Para uma região que é propensa a tempestades de granizo, os módulos solares que foram testados para o impacto e contém a certificação europeia IEC 61215 são os mais recomendados para tal situação.

## 7. METODOLOGIA

O presente trabalho tem como objetivo ser um instrumento de estudo de uma instalação em uma propriedade localizada no interior da Vila Ipiranga, na cidade de São Miguel do Iguazu no estado do Paraná. Para isso, o trabalho abordará as etapas e análises relevantes para a elaboração da análise energética de um projeto de um sistema fotovoltaico interligado à rede de distribuição de energia elétrica.

No Brasil, a ANEEL, órgão que regulamenta as concessionárias de distribuição de energia, normatiza a micro e mini geração de energia fotovoltaica. A granja a ser estudada é atendida pela distribuidora Copel e não participa do mercado livre de energia. Logo, a unidade de geração distribuída deve atender os requisitos e parâmetros estabelecidos.

Para o desenvolvimento do estudo, alguns softwares foram utilizados. O aplicativo PHB Viewer foi utilizado para manipulação de dados da geração local. Ele consiste em um software gratuito desenvolvido pelo PHB Eletrônica LTDA.

### 7.1. ESTUDO DE CASO DA GRANJA DE SUÍNOS

A granja de suínos, objeto deste estudo, é situada na cidade de São Miguel do Iguazu no Oeste do Paraná. A granja possui uma capacidade de atender 1500 suínos por lote de 90 a 120 dias aproximadamente.

**Figura 29** – Imagem via satélite da granja



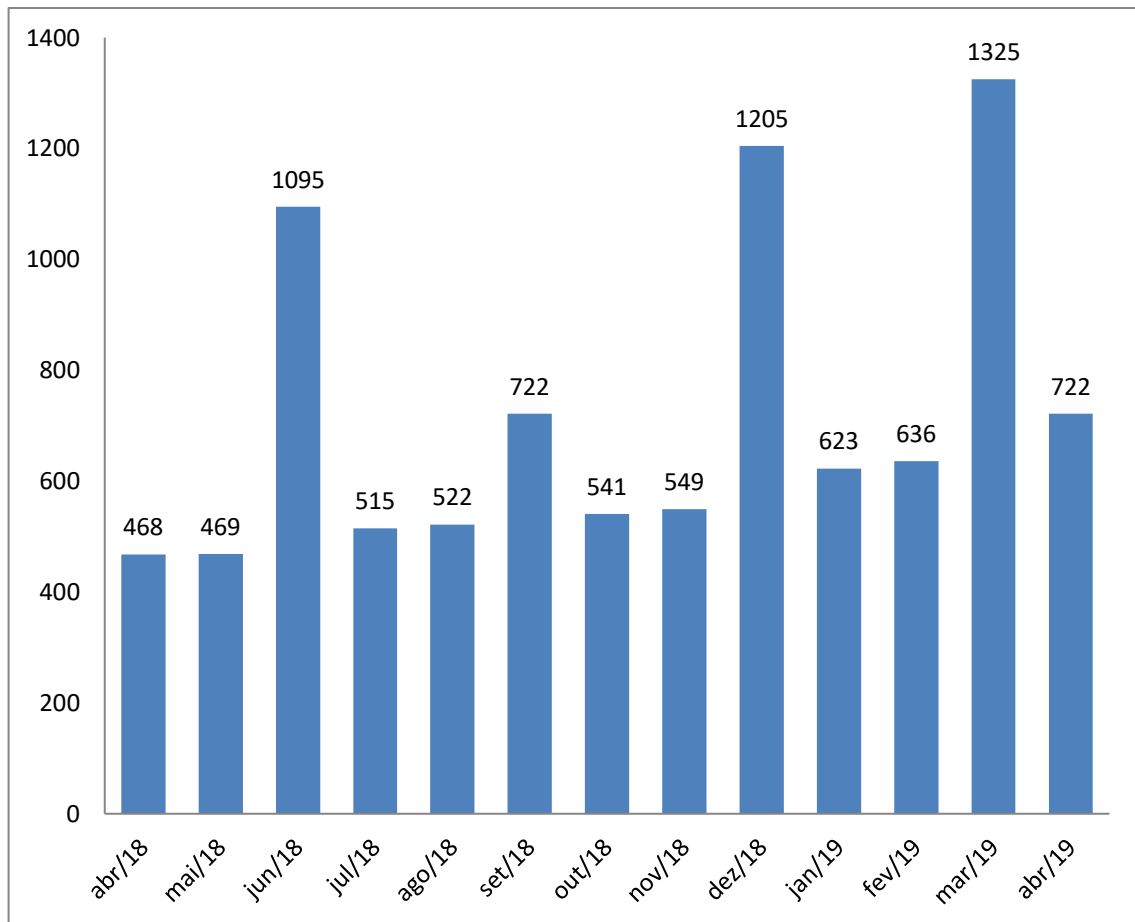
Fonte: Google Earth 2019, modificado pelo autor.



## 7.2.DADOS DE CONSUMO ENERGÉTICO

Para começar o dimensionamento do sistema fotovoltaico, é necessário analisar o histórico de consumo de energia elétrica da unidade consumidora. Foram fornecidos pelo proprietário os dados de consumo da granja dos últimos 13 meses antes da instalação do sistema fotovoltaico.

**Gráfico 1** – Consumo mensal da granja (kWh).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados fornecidos pelo proprietário.

Com o consumo relatado na tabela acima se efetuou o cálculo para obter-se a média, assim com sua média estabelecida em 722,46 kWh o proprietário optou por um sistema maior do que poderia ser, pois a sobra de energia seria abatida em outra residência com a unidade consumidora no mesmo CPF do proprietário da granja, tudo conforme a NR 482/2012.

### 7.3.PROJETO FOTOVOLTAICO

Conforme a figura 29 acima nenhum dos lados dos telhados esta virado para o norte que seria o melhor sentido para um sistema fotovoltaico, então se optou pelo talhado no sentido oeste e no barracão da direita, porque no sentido oeste é onde se tem uma irradiação solar maior e por mais tempo e o barracão da direita fica mais próximo do local dos inversores e do padrão de energia da propriedade.

Optou-se por usar painéis rígidos, que possuem um menos custo que as demais tecnologias. Dentro da tecnologia de painéis rígidos a solução escolhida é o silício policristalino por possuir uma boa eficiência energética e um menos custo em relação ao silício monocristalino. Atualmente no Brasil, há varia tecnologias de painéis fotovoltaicos entre elas o silício policristalino, silício monocristalino, filme finos entre outras que são autorizadas pelo INMETRO.

A escolha dos equipamentos empregados no projeto, painéis e inversores, tem como critério o atendimento da Resolução Normativa 482 da ANEEL, isto é, estejam homologados, para o caso de painéis, e possuam as certificações da ABNT para o caso de inversores. Outro critério em consideração é a escolha de marcas líderes de mercado, com o intuito de facilitar a viabilização do projeto.

Foi escolhido painel de silício policristalino rígido de potencia de 330 Wp. Para as especificações técnicas desse painel, foi escolhida a marca JINKO SOLAR modelo JKM330PP-72, que possui a maior eficiência energética entre os painéis de silício policristalino, sendo de 17,01%. Este painel tem uma produção média de energia de 38,808 kWh/mês.

**Tabela 2** – Arranjo fotovoltaico do sistema de geração fotovoltaica.

Numero de Inversores	Potência Inversor (kVA)	String por Inversor	Módulos por String	Total de Módulos	Potência por Módulos (Wp)	Potência Instalada (Wp)	Potência Instalada (kWh/mês)
2	5	2	8	32	330	10,56	1241,856

Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema fotovoltaico necessita de inversores de corrente, uma vez que a corrente elétrica gerada nos painéis é continua (CC) e a corrente fornecida pela concessionária de energia elétrica é em corrente alternada (CA). Como apresentado na Tabela 2, no projeto foram usados dois inversores da PHB SOLAR do modelo PHB5000D-NS com duas string cada inversor. Essa marca foi escolhida por ser uma marca nacional, sendo facilmente encontrada para aquisição e para suporte técnico.

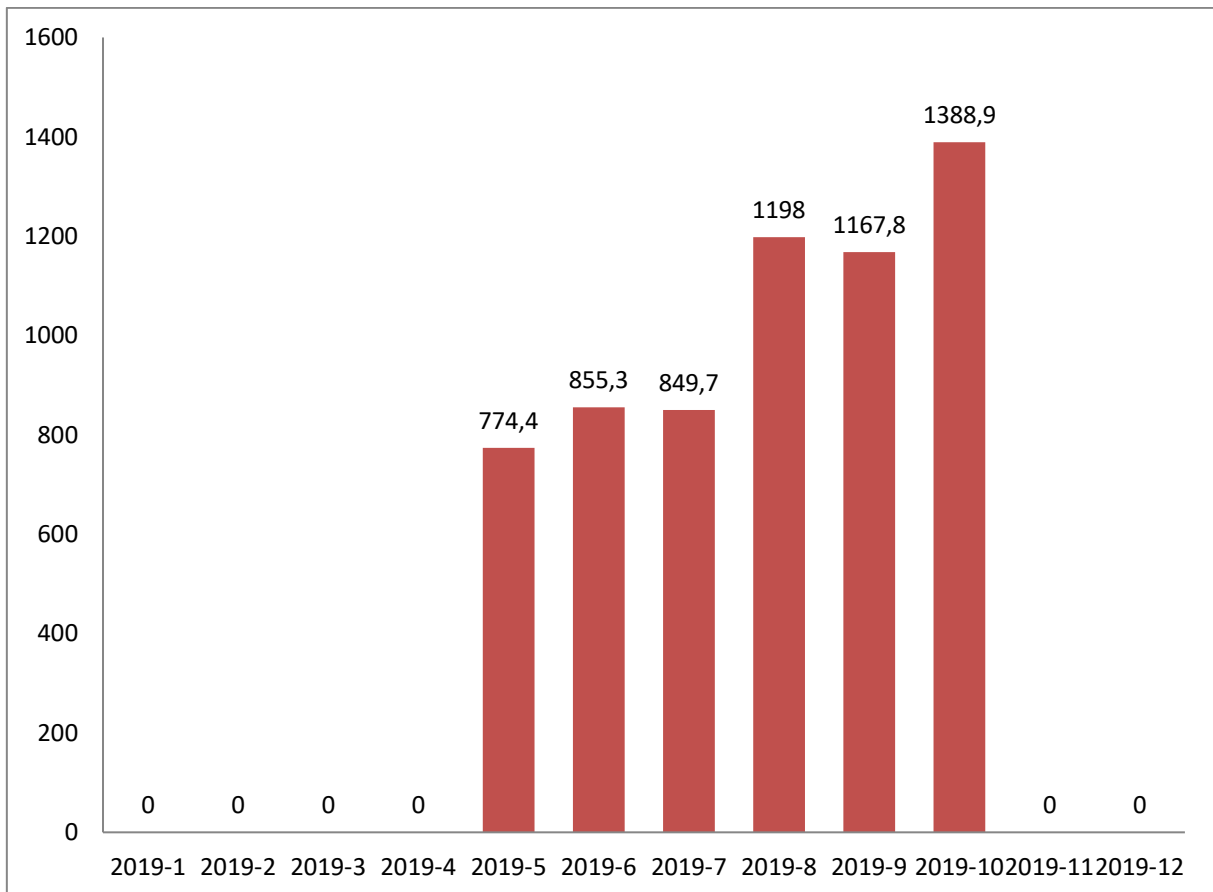
#### 7.4.GERAÇÃO DA PLANTA FOTOVOLTAICA PROPOSTA

O sistema fotovoltaico tem como sua fonte de energia a luz do sol e, devido à movimentação da terra em sua órbita solar, o tempo de exposição solar e a intensidade de radiação variam ao longo do ano, com as diferentes estações. Essa variação de intensidade e de tempo de exposição solar faz com o sistema fotovoltaico tenha um desempenho variável ao longo do ano.

Para cálculo da energia fotovoltaica gerada deve-se considerar a área efetiva ocupada pelos módulos (em m<sup>2</sup>), a eficiência do módulo da tecnologia escolhida, a média do total diário de irradiação solar incidente no plano do painel (GPOA dado em kWh/m<sup>2</sup>/dia) e a eficiência do sistema inversor, perdas na transformação de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) mais perdas nos cabos de energia.

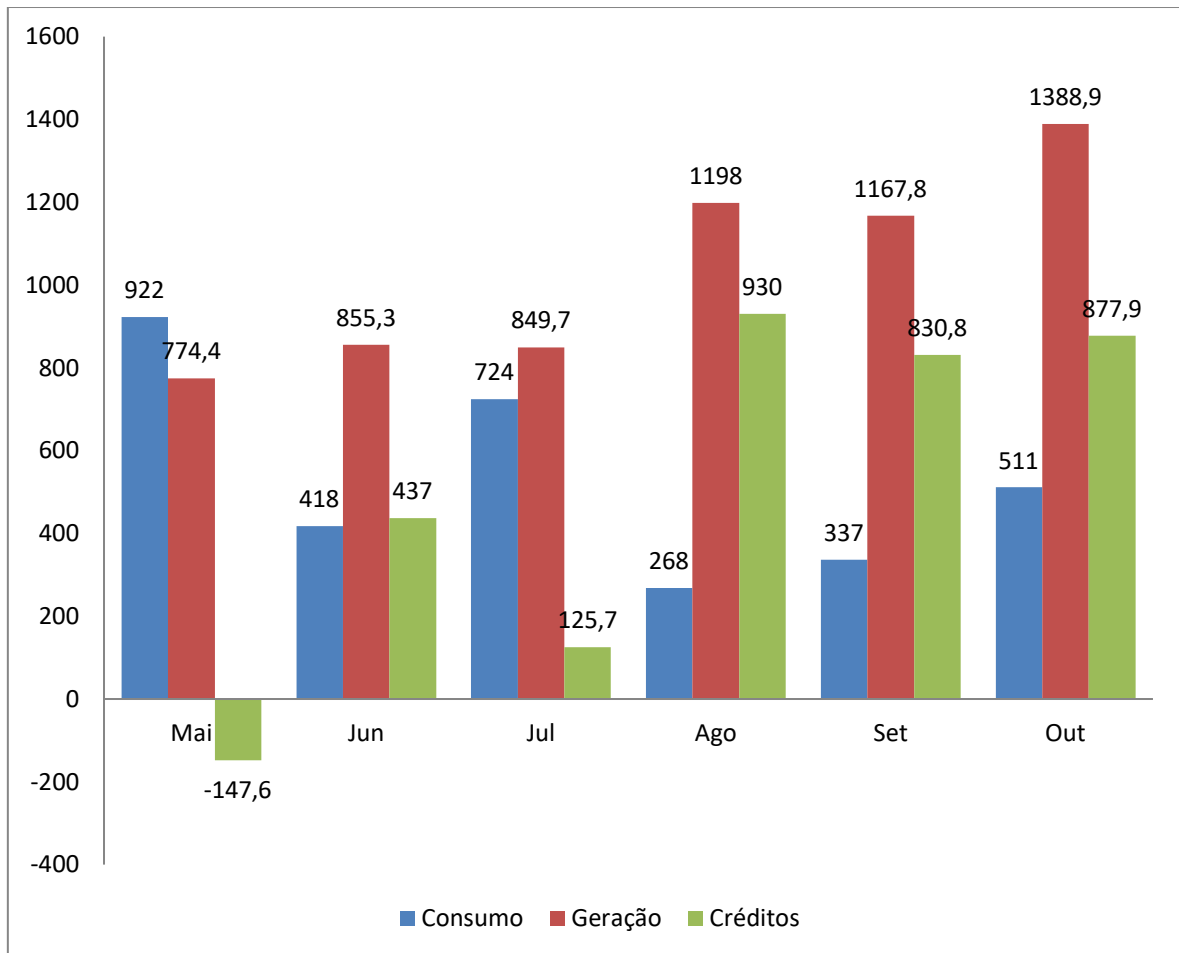
Considerando um valor mensal de geração fotovoltaica expressada no gráfico 2.

**Gráfico 2** - Geração mensal a ser analisada da planta



Fonte: retirado do sistema de monitoramento dos inversores.

**Gráfico 3** – Comparação entre consumo, geração e créditos de 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 7.5. ANÁLISE DE CUSTO E DE TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Uma etapa de grande relevância e necessária para a tomada de decisão de um investimento em energia fotovoltaica é a análise técnico-econômica do projeto. A partir dos custos do projeto, operação e manutenção do sistema, pode-se avaliar o tempo de retorno do investimento, uma vez que implantado o sistema, ele gera uma economia mensal para a granja.

Para a análise dos custos do projeto e ter acesso aos custos reais de mercado, esse trabalho contou com a colaboração da empresa BioSolaris – Segurança Ambiental e Energias Renováveis. Essa empresa, localizada na cidade de São Miguel do Iguazu - PR tem como foco a atuação na área de energia renováveis: biomassa e fotovoltaica, e também presta consultorias na área ambiental e segurança do trabalho. Dentro da área de energia fotovoltaica, a BioSolaris – Segurança Ambiental e Energias Renováveis faz o projeto, a

execução e o fornecimento de materiais tanto para sistemas conectados à rede como para sistemas isolados.

O custo do investimento é estimado em R\$ 47.000,00. Esse custo envolve todas as etapas da implantação do sistema, desde o projeto, aquisição de materiais, instalação e ligação do sistema a rede da concessionária de energia elétrica.

No cálculo de tempo de retorno do investimento, foi calculado o valor presente líquido (VPL), que é uma função utilizada na análise da viabilidade de um projeto de investimento. Esse valor é definido como sendo o somatório dos valores presentes dos fluxos estimados da aplicação, calculados a partir de uma taxa dada e de seu período de duração. Essa taxa no caso é a taxa de custo do capital, que para este caso foi usado o valor da inflação (FREIRE, 2009).

A Taxa Interna de Retorno (TIR), e é uma fórmula da matemática-financeira utilizada para calcular a taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar a zero seu Valor Presente Líquido, ou seja, ela seria a taxa de retorno do investimento em questão (PUCCINI, 2007).

Para o cálculo do tempo de retorno do investimento, foram consideradas as seguintes variáveis: perda de rendimento linear de 20% ao longo de 25 anos.

O tempo de retorno do investimento ficou em 75,7 meses (6,3 anos), esse cálculo foi bastante conservador, visto que não se considerou a aplicação financeira das economias acumuladas. Ainda na visão conservadora o investimento se mostra viável, uma vez que seu tempo de vida útil é de 25 anos, ou seja, 300 meses. Isso significa que uma vez o investimento pagando-se em 6,3 anos, o proprietário da granja ainda passaria a lucrar nos demais anos.

## 8. CONCLUSÕES

O Brasil possui uma das energias elétricas mais caras do mundo, o que faz com que a indústria nacional perca competitividade. Além disso, sua matriz energética é pouco diversificada, fazendo com que mudanças climáticas gerem crises energéticas. Aliado a isso, existe uma tendência mundial para a sustentabilidade dos recursos e o uso de energia elétrica de fontes renováveis.

O presente trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade legal, técnica e econômica da instalação de geração de energia fotovoltaica em uma granja de suínos em uma propriedade rural, situada na Vila Ipiranga, distrito de São Miguel do Iguaçu – Paraná.

Do ponto de vista legal, o sistema supriu todo o consumo de energia elétrica e ainda sobra para compartilhar um consumo remoto para a casa do proprietário na cidade. A viabilidade técnica também foi comprovada, é possível executar o projeto com equipamentos e mão-de-obra disponíveis no mercado brasileiro.

A análise econômica também provou que o projeto é viável e tem um tempo de retorno de investimento de 75,7 meses.

Portanto, conclui-se que o sistema fotovoltaico projetado além de ser viável, beneficia o sistema elétrico como um todo. Tanto no benefício econômico para o proprietário, como no benefício para a concessionária de energia elétrica que postergar investimentos em distribuição de energia e melhorar a qualidade da energia elétrica entregue a seus consumidores.

Pode-se concluir também que se esse sistema é viável mesmo estando localizado em uma região de media radiação solar do Brasil, então esse tipo de geração fotovoltaica pode ser ainda mais vantajoso em outras regiões do país, fazendo com que o retorno do investimento seja em tempo ainda menor.

## 9. REFERÊNCIAS

- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de informações da geração.** Brasília, DF. 2016. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 17 abr. 2019.
- ALVES, Dennys Lopes. **Geração solar fotovoltaica: Conceitos básicos.** Rio Grande do Norte, 2016. 88 p. Disponível em:  
<[https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila\\_geracao\\_solar\\_fv\\_0.9.1](https://docente.ifrn.edu.br/dennysalves/disciplinas/energia-solar-fv/apostila_geracao_solar_fv_0.9.1)>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- ALVES, Guilherme Henrique. **Projeto e análise da viabilidade econômica da instalação de painéis fotovoltaicos no setor industrial.** 2016. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em:  
<<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-13012017-100902/?&lang=br>>. Acesso em: 06 mar. 2019.
- BLUESOL. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica:** Livro digital de introdução aos sistemas solares. Ribeirão Preto: Bluesol Educacional, 2016. 114 p. Disponível em:  
<<http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2019.
- BRASIL SOLAR. **Eficiência Energética com Energia Solar.** 2016. Disponível em:  
<<http://www.portalenergiasolar.com.br/energia-solar/resultadonoticias.asp?id=840>>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- CALDAS, Thiago da Paz; SANTOS, Alex Álisson Bandeira. **Modelo de simulação e análise de implementação de sistemas fotovoltaicos nas instalações de um centro de pesquisa.** 13º Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica, Portugal: Cibem, 2017, 11 p. Disponível em:  
<[https://www.researchgate.net/publication/321624657\\_Modelo\\_de\\_simulacao\\_e\\_analise\\_de\\_implantacao\\_de\\_sistemas\\_fotovoltaicos\\_nas\\_instalacoes\\_de\\_um\\_centro\\_de\\_pesquisa](https://www.researchgate.net/publication/321624657_Modelo_de_simulacao_e_analise_de_implantacao_de_sistemas_fotovoltaicos_nas_instalacoes_de_um_centro_de_pesquisa)>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- COMERC. **Energia solar no Brasil e no mundo.** Disponível em:  
<<http://www.panoramacomerc.com.br/?p=2517>> Acesso em: 27. abr. 2019.
- COGEN – CONSULTORIA EM GESTÃO DE NEGÓCIO. **Inserção da Energia Solar no Brasil.** São Paulo, 2012. 77 p. Disponível em:  
<[http://www.cogen.com.br/Solar/Biblioteca\\_Virtual/Relatorio\\_Final\\_GT\\_COGEN\\_SOLAR.pdf](http://www.cogen.com.br/Solar/Biblioteca_Virtual/Relatorio_Final_GT_COGEN_SOLAR.pdf)>. Acesso em 17 abr. 2019.
- CRESPI, Mariane Hartmann. **Análise energética e de custo do potencial fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica do complexo aeroportuário de Joinville.** 2015. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina - Ufsc, Joinville - Sc, 2015.
- DAVID, Thamyres Machado; SABBADINI, Francisco Santos. **Políticas e eficiência energética em energia solar: uma análise comparativa entre Brasil e Alemanha.** São Paulo: Ética e Gestão, 2016. 16 p. Disponível em:  
<<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos17/15125141.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- DUTRA, Ricardo Marques. **Energia.** Rio de Janeiro: Eletrobrás Cepel, 2017. 81 slides, color. Disponível em:  
<[http://www.cresesb.cepel.br/apresentacoes/20100705\\_Tecnologia\\_Solar\\_Fotovoltaica\\_\(2010\\_updates\).pdf](http://www.cresesb.cepel.br/apresentacoes/20100705_Tecnologia_Solar_Fotovoltaica_(2010_updates).pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2019.

- ELETRÔNICA PT. **Painel Solar Fotovoltaico:** Fabricação e Composição. Disponível em: <<https://www.electronica-pt.com/painel-solar-fotovoltaico>>. Acesso em: 25 abr. 2019.
- EPE - EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. **Balanco Energético Brasileiro 2016. Brasília, 2016.** Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2016.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf)>. Acesso em: 17 abr. 2019.
- FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia solar fotovoltaica:** Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômico. São Paulo: Gepea, 2011. 71 p. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod\\_resource/content/2/Apostila\\_solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf)>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS. **World Record Solar Cell with 44.7% Efficiency. Freiburg, 2013.** Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2013/world-record-solar-cellwith-44-7-efficiency.html>>. Acesso em: 17 abr. 2019.
- FREIRE, W. P.; **Matemática Financeira.** UFJF Rio de Janeiro, 2009.
- GOETZE, Felipe. **Projeto de microgeração fotovoltaica residencial:** Estudo de caos. 2017. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/169263>>. Acesso em: 06 mar. 2019.
- IBICT – INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÕES EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Energia Heliotérmica.** [Http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/inicio](http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/inicio). Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/inicio>>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Vantagens da Fusão.** 2007. São José dos Campos, 2007. Disponível em: <[http://www.plasma.inpe.br/LAP\\_Portal/LAP\\_Site/Text/Advantages\\_of\\_Fusion.htm](http://www.plasma.inpe.br/LAP_Portal/LAP_Site/Text/Advantages_of_Fusion.htm)> Acesso em: 17 de abr. 2019.
- LEITÃO, Rafael Japiassú. **Análise energética comparativa entre sistemas de condicionamento de ar com utilização de energia solar:** Estudo de caso para o edifício do bloco G do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009776.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2019.
- LEVEK, Marcelo Zagonel. **Climátis, ar condicionado, refrigeração e energia solar:** TAG ARCHIVES: ENERGIA SOLAR TÉRMICA. 2018. Disponível em: <<https://www.climatis.com.br/Blog/tag/energia-solar-termica/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2012.** Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/see/galerias/arquivos/Publicacoes/Boletim\\_mensalDMSE/Boletim\\_d\\_e\\_Monitoramento\\_do\\_Sistema\\_Elxtrico\\_-\\_Dezembro2\\_-2012.pdf](http://www.mme.gov.br/see/galerias/arquivos/Publicacoes/Boletim_mensalDMSE/Boletim_d_e_Monitoramento_do_Sistema_Elxtrico_-_Dezembro2_-2012.pdf)>. Acesso em: 09 mar. 2019.
- NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no Brasil:** Situação e perspectivas. São Paulo: Câmara dos Deputados, 2017. 46 p. Disponível em: <[bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia\\_solar\\_limp.pdf?](bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia_solar_limp.pdf?)>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- NEO SOLAR. **Energia solar fotovoltaica:** Guia prático. 2016. Disponível em: <[https://www.neosolar.com.br/media/guia/Guia\\_Pratico\\_NEOSOLAR\\_Mai\\_2016.pdf](https://www.neosolar.com.br/media/guia/Guia_Pratico_NEOSOLAR_Mai_2016.pdf)>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- OLIVEIRA, Roniere H. de. **Energia Solar e Potencial da Região Sul.** Região Sul: Eletrobras Eletrosul, 2017. 109 slides, color. Disponível em:



<<https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Curso-Dia0510-2.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

OLIVEIRA, Wemerson David; GONDIM, Gustavo Vieira; MIRANDA, Anizio de Assis Rodrigues. **A eficiência energética do sistema solar fotovoltaico: instalação de um painel solar em uma residência.** 2015. Disponível em:

<<http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/A%20EFICIENCIA%20ENERGETICA%20DO%20SISTEMA%20SOLAR%20FOTOVOLTAICO%20INSTALACAO%20DE%20UM%20PAINEL%20SOLAR%20EM%20RESIDENCIA.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

PDE – PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2021. **EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2021>>. Acesso em 25 mar. 2019.

PEREIRA, Alex Garbin. **Análise de viabilidade para implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em clientes com tarifação A.** 2016. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016. Disponível em:

<<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/2166/TCC%20Alex%20Garbin%20Pereira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

PEREIRA, Bruno Eustáquio Lima. **Análise de viabilidade econômica de implementação de um sistema de geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos em sítio aeroportuário.** 2017. 67 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Eficiência Energética Aplicada Aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Novo Hamburgo, 2017. Disponível em:

<[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12568/TCCE\\_EEAPP\\_EaD\\_2017\\_PEREIRA\\_BRUNO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12568/TCCE_EEAPP_EaD_2017_PEREIRA_BRUNO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 13 mar. 2019.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014. 530 p. Disponível em:

<[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf?fclid=IwAR2UHbiQex8dpteYRxX4jfkf7fsgJWZ1wlhXmUMKNxaIjS9GploGPcXViPzM](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf?fclid=IwAR2UHbiQex8dpteYRxX4jfkf7fsgJWZ1wlhXmUMKNxaIjS9GploGPcXViPzM)>. Acesso em: 18 abr. 2019.

PORTAL ENERGIA. **Energia Fotovoltaica:** manual sobre tecnologias, projecto e instalação. União Européia: Greenpro, 2004. 368 p. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

PORTAL SOLAR. **O que é energia solar?** Disponível em:

<<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar-.html>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

SANTOS, Filipe Fernandes dos. **Utilização de energia fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia.** 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011. Disponível em:

<<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59232/1/000146246.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

PUCCINI, E. C.; **Matemática Financeira.** Sistema Universidade Aberta do Brasil. Rio de Janeiro, 2007.

SILVESTRI, Alessandro Frederico; TAKASAKI, Vinícius Garcia. **Estudo de viabilidade para implantação de geração fotovoltaica em Shopping Centers na região de Curitiba.** 2014. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica Ênfase Eletrotécnica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em:

<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009776.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2019.

SMR, Jose Ramon. **Da areis ao silício**. Disponível em:

<<https://sites.google.com/site/smrjoseramon/de-a-arena-al-silicio>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

SOLAR BRASIL. **Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos**. Disponível em:

<<http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/77-energia-solar-fotovoltaica-conceitos>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

SOLAR VOLT. **Energia solar: afinal, a eficiência da geração importa?** Disponível em:

<<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/energia-solar-afinal-a-eficiencia-da-geracao-importa/>>. Acesso em: 19 mar. 2019.

SOLIENS. **Soliens Academy**. 2016. Disponível em: <<https://www.soliens.com.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

APÊNDICE A – Lista de materiais para o projeto fotovoltaico

Quantidade	Item	Modelo
32	Módulo Fotovoltaico	JKM330PP-72 330 Watt
2	Inversor	PHB5000-NS - Wi-fi
80	Cabo de Energia CC	Cabo Solar Dupla isolação – 1KV - #6mm <sup>2</sup> - Vermelho
80	Cabo de Energia CC	Cabo Solar Dupla isolação – 1KV - #6mm <sup>2</sup> - Preto
80	Cabo de Energia CC	Cabo Solar Dupla isolação – 1KV - #6mm <sup>2</sup> - Verde/Amarelo
2	Quadro Disjuntor CC	STB02-600V/08, STRING BOX CC (2STRING/ 2SAÍDAS/ 1.CH.SEC. 600V
2	Quadro Disjuntor CA	QDCA/85, CJ. QUADRO DE PROT. CA – SOALR (32A DJ. AC)
25	Cabo de Energia CA	Cabo flexível 750V - #6mm <sup>2</sup> - vermelho
25	Cabo de Energia CA	Cabo flexível 750V - #6mm <sup>2</sup> - preto
8	Conector	MC4 Positivo
8	Conector	MC4 Negativo
16	Estrutura Metálica	Perfil de Alumínio Anodizado 4,2 metros
56	Estrutura Metálica	Inter Clamp kit 40 mm (Grampo Intermediário)
16	Estrutura Metálica	End Clamp kit 40 mm (Grampo Terminador)
8	Estrutura Metálica	Emenda perfil de alumínio
48	Estrutura Metálica	Kit HOOK de aço
8	Aterramento	Grampo de aterramento
8	Aterramento	Jumper de aterramento
56	Aterramento	Clip de aterramento
32	Estrutura	Abraçadeira de cabos

# ANEXOS







