



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**PEDRO LEOPOLDO MARTINS MENDES**

**ANÁLISE FINANCEIRA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO DE IRRIGAÇÃO PARA CULTURAS DE MELÃO E MELANCIA  
LOCALIZADAS EM UPANEMA – RN.**

**FORTALEZA**

**2019**

**PEDRO LEOPOLDO MARTINS MENDES**

ANÁLISE FINANCEIRA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO  
DE IRRIGAÇÃO PARA CULTURAS DE MELÃO E MELANCIA LOCALIZADAS EM  
UPANEMA – RN.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do título de Engenheiro de  
Energias Renováveis  
Orientador: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite  
Almeida.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M492a Mendes, Pedro Leopoldo Martins.

Análise financeira da implementação de um sistema fotovoltaico de irrigação para culturas de melão e melancia localizadas em Upanema –RN / Pedro Leopoldo Martins Mendes. – 2019.  
66 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida.

1. Solar energy. 2. Photovoltaic system. 3. Water pumping. 4. Irrigation. I. Título.

CDD 621.042

---

PEDRO LEOPOLDO MARTINS MENDES

ANÁLISE FINANCEIRA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO DE  
IRRIGAÇÃO PARA CULTURAS DE MELÃO E MELANCIA LOCALIZADAS EM  
UPANEMA – RN.

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Engenheiro de Energias Renováveis.  
Orientador: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite  
Almeida.

Aprovada em: 27 / 06 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.ª Dra Ana Fabíola Leite Almeida(Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Paulo Alexandre Costa Barros  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Me. Fernando Wesley Silva de Oliveira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

**AGRADECIMENTOS**

À minha família, em especial meus pais e irmãos, que sempre me deram o suporte necessário para fazer com que minha formação fosse a prioridade em minha vida. E também aos meus avós e tios, que sempre me ajudaram no que precisei nesse tempo distante de casa.

Aos meus amigos mais próximos da Renováveis, especialmente Ana Luisa Berni, Cássio Xavier, Fernanda Rocha e Malenna Cavalcante, e ao quinto participante Carlos Henrique, que sempre estiveram comigo nos melhores e piores momentos, e viveram toda a Graduação comigo, sem vocês teria sido muito mais difícil, Valeu galera.

Aos meus demais amigos da faculdade, do grupo Rapaduras, Lara Lira, Emanuel Mota, Bárbara Gomes, Iago Moreira, Natália Maria, deixaram o ambiente da universidade, o qual muitas vezes é estressante e pesado, mais leve e divertido.

Ao Choices, Daniele Lucas, Jackson Bruno, Jéssica Martins, Michel D'Alencar, Rauí Dantas e Rebeca Holanda, que estão comigo em todos os momentos e fizeram desses últimos cinco anos os mais especiais da minha vida, eu não consigo nem imaginar como teria sido sem vocês.

Aos demais amigos que conheci na Universidade, impossível de citar todos, saibam que cada um foi um acréscimo muito positivo em minha vida acadêmica e pessoa.

Um agradecimento mais do que especial ao meu amigo Geovane Santos, meu primeiro e melhor amigo de Fortaleza. Foi a primeira pessoa a me acolher de verdade e me ajudou (e ajuda até hoje) no que mais preciso em todos os aspectos da vida. Ele não sabe o quanto sou grato, o suficiente para dedicar um parágrafo só para ele.

Aos amigos que conheci graças ao Programa de Apoio ao Intercambista, Alejandro Rubio Rey, Cecilia Gijon, Joana Miguel, Julia Poessinger, Núria Condé, Maelle, Maxime Taupiac, Mike Hyland, um programa essencial para minha formação pessoal e sei que posso contar com vocês em qualquer lugar do mundo.

Ao meu amigo conterrâneo André Vinicius, que conheci quase no final da graduação, mas foi de fundamental importância nesses últimos anos, por tudo que passamos juntos, me fazendo companhia e alegrando minhas noites e finais de semanas solitários no Benfica.

Aos meus amigos brasileiros que também conheci devido ao Programa de Apoio ao Intercambista que estão comigo até hoje Italo Cavalcante, Breno Botelho e Sabrina Gomes. Em especial ao Italo, que me deu todo suporte e acolhida nesses últimos meses, se tornou um grande amigo, obrigado por tudo.

Aos meus amigos da minha cidade natal, Caio Vinicius, Mateus Lima, Mariana Cunha, Romana Alves, Marcio Junior e à todo o grupo GDP e Biri. Sempre me acolheram quando retornava à Mossoró e são todos muito especiais.

À equipe do Selaqua, que mesmo sendo uma passagem rápida e inesperada, foi de grande importância na minha vida acadêmica. Em especial à Samylla Oliveira, uma mulher incrível e uma das pessoas mais profissionais e incríveis que já conheci, um exemplo a ser seguido.

Ao PIBIC, ao CNPQ e PRAE pelas bolsas de iniciação científica e acadêmica que ajudaram no meu sustento em Fortaleza.

À minha professora orientadora Dra Ana Fabíola Leite Almeida, pela confiança e atenção.

Aos membros da Banca Examinadora, pela disponibilidade e atenção

*“Não importa, Tente outra vez. Fracasse outra vez. Fracasse melhor.”* (Samuel Beckett)

## RESUMO

Uma preocupação do mundo atual é a necessidade de se obter energia de forma limpa e renovável. Os sistemas fotovoltaicos surgem como alternativa para esse problema. Além da questão energética, a utilização de água em zonas rurais tanto para abastecimento quanto para irrigação também é uma questão importante e necessária para garantir a qualidade de vida para a população das Zonas Rurais. Projetos de sistemas fotovoltaicos de irrigação já foram implementados ao redor do mundo para avaliar a confiabilidade e a viabilidade desta aplicação frente a outras opções de bombeamento. Este presente trabalho busca explicar como funciona um sistema fotovoltaico de irrigação, e todas as suas particularidades diante das situações apresentadas e de acordo com os objetivos desejados. Além disso, verificar a viabilidade técnica e financeira para utilização de um sistema fotovoltaico de irrigação localizado na cidade Upanema no Rio Grande do Norte, para um agricultor os quais suas principais culturas são melão e melancia. Depois de dimensionado o sistema, foram realizadas uma análise financeira para estimar um valor final para o projeto, contando com compra de material, frete, serviço, lucro da empresa, para, em seguida, escolher a melhor forma de financiamento de acordo com a situação final apresentada com os cálculos anteriores. A utilização de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento apresenta melhoras significativas na qualidade de vida de populações residente em áreas rurais, possibilitando um cenário de desenvolvimento econômico e social.

**Palavras-chave:** Energia Solar; Sistema fotovoltaico; Bombeamento de água; Irrigação;



## **ABSTRACT**

A concern of the present world is the need to obtain energy through clean and renewable form. Photovoltaic systems arise as an alternative to this problem. In addition to the energy issue, the use of water in rural areas for both supply and irrigation is also an important and necessary issue to guarantee the quality of life for the rural population. Projects of photovoltaic irrigation systems have already been implemented around the world to evaluate the reliability and viability of this application over other pumping options. The present study aims to explain how a photovoltaic irrigation system works, and all its particularities in the presented situations and according to the desired objectives. In addition, verify the technical and financial feasibility for using a photovoltaic irrigation system located in the city of Upanema in Rio Grande do Norte, for a farmer whose main crops are melon and watermelon. After choosing all the materials needed and their quantities, a financial analysis was performed to estimate an end value for the project, counting on purchase of material, freight, service, profit of the company, to then choose the best form of financing according to the final situation presented with the previous calculations. The use of Photovoltaic Pumping Systems presents significant improvements in the quality of life of populations resident in rural areas, allowing a scenario of economic and social development.

**Key words:** Solar energy; Photovoltaic system; Water pumping; Irrigation;

## .LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Radiação Solar Global Horizontal Média Anual .....	19
Figura 2 - Radiação Solar no plano inclinado média anual .....	20
Figura 3 - Participação de cada Fonte energética na geração distribuída em 2017 .....	22
Figura 4 - Número de micro e minigeradores até 23/05/2017 .....	23
Figura 5 - Número de micro e minigeradores até 23/05/2017 .....	24
Figura 6 - Esquema de um sistema de bombeamento fotovoltaico com diversas aplicações ..	28
Figura 7 - Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.....	29
Figura 8 - Estrutura de um Painel Fotovoltaico.....	32
Figura 9 - Tipos de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento.....	33
Figura 10 - Configuração de reservatórios segundo tipo de elevação: A. Elevado com uma estrutura; B. Elevado no nível do Terreno; C. No nível do terreno. ....	36
Figura 11 - Fatores de perda do estudo feito em 2001 .....	37
Figura 12 - Fatores de perda do estudo realizado em 2013 .....	37
Figura 13 - Anomalias da curva I-V de um painel fotovoltaico .....	38
Figura 14 - Curva I-V de módulos a diferentes temperaturas e irradiância constante de 1000W/m <sup>2</sup> . ....	40
Figura 15 - Aumento da Temperatura x Redução do yield, de acordo com a instalação.....	41
Figura 16 - Fatores de Correção dos Painéis .....	52
Figura 17 - Características do Painél utilizado .....	54
Figura 18 - Consumo das residências .....	56
Figura 19 - Consumo das bombas .....	56
Figura 20 - Preço do Kit para 96 Módulos e inversor 25000 Watts .....	58
Figura 21 - Características dos Módulos. ....	61
Figura 22 - Datasheet dos Módulos .....	61
Figura 23 - Características do Inversor.....	62

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Geração, consumo e diferença entre os dois.....	63
Gráfico 2 – Produção de energia mensal.....	63
Gráfico 3 – Produção de energia com as perdas conforme os anos.....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Perguntas e respostas utilizadas no Software Decision Tree Tool.....	51
Tabela 2- Média de irradiação solar mensal para cidade de Upanema - RN.....	52
Tabela 3 - Radiação solar HSP .....	53
Tabela 4 - Média mensal das temperaturas (INMET) e L <sup>o</sup> CPmáx .....	54
Tabela 5 - Fator de perda do sistema .....	55
Tabela 6 - Consumo Mensal Total .....	57
Tabela 7 - Potência Real em kW de cada mês .....	57
Tabela 8 - Diferença entre consumo e geração de cada mês .....	57
Tabela 9 - Visão geral do Investimento e Retorno em 25 anos .....	59

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
<b>1.1 Justificativa</b> .....	15
<b>1.2 Objetivos</b> .....	15
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	15
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	17
<b>2.1 A Energia Solar</b> .....	17
<b>2.1.1 Potencial da Energia Solar no Brasil</b> .....	18
<b>2.1.2 Potencial da Energia Solar no Rio Grande do Norte</b> .....	20
<b>2.2 Geração distribuída</b> .....	21
<b>2.2.1 Geração distribuída no Brasil</b> .....	22
<b>2.3 Irrigação</b> .....	24
<b>2.3.1 Tipos de Irrigação</b> .....	25
<b>2.3.1.1 Irrigação Superficial</b> .....	25
<b>2.3.1.2 Irrigação por Aspersão</b> .....	26
<b>2.3.1.3 Irrigação Localizada</b> .....	26
<b>2.4 Tipos de irrigação localizada</b> .....	27
<b>2.4.1 Microaspersão</b> .....	27
<b>2.4.2 Microaspersão por gotejamento</b> .....	27
<b>2.4.3 Sistema Xique – Xique</b> .....	27
<b>2.5 Sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação</b> .....	28
<b>2.5.3 Células Fotovoltaicas</b> .....	28
<b>2.5.3.1 Células de Silício Monocristalino</b> .....	30
<b>2.5.3.2 Células de Silício Policristalino</b> .....	30
<b>2.5.3.3 Filmes Finos</b> .....	30
<b>2.5.4 Módulo Fotovoltaico</b> .....	31
<b>2.5.5 Conjunto Motobomba</b> .....	32
<b>2.5.6 Inversores</b> .....	33
<b>2.5.7 Estruturas de Suporte</b> .....	34
<b>2.5.8 Sistemas de Armazenamento</b> .....	34
<b>2.5.8.1 Sistema de Armazenamento com Baterias</b> .....	34
<b>2.5.8.2 Sistema de Armazenamento com Reservatórios</b> .....	35
<b>2.6 Fatores de Perda</b> .....	36
<b>2.6.1 Perdas por acúmulos de sujeira ou sombreamento parcial</b> .....	39

2.6.2	Perdas por aumento de temperatura .....	39
2.7	Abastecimento de água .....	41
2.8	Benefícios com a utilização de Sistemas Fotovoltaicos para Irrigação .....	42
2.9	Potencialidades para implementação de Sistemas Fotovoltaicos de Irrigação no Brasil .....	43
2.9.1	Recurso solar e Confiabilidade de dados .....	43
2.9.2	Existência de lugares sem acesso à rede elétrica e/ou com problemas de manutenção das bombas diesel e de fornecimento de combustíveis para sua operação.....	43
2.9.3	Uso de fontes subterrâneas .....	44
2.9.4	Aumento do uso de técnicas de irrigação localizada .....	44
2.9.5	Potencialidade de desenvolvimento da produção agrícola familiar .....	45
2.10	Normas e Regulamentações da Geração Distribuída.....	45
2.11	Ferramenta computacional árvore de decisão ( <i>Decision Tree Tool</i> ).....	47
2.12	Modelagem computacional consultiva do sistema ( <i>System Advisor Model-SAM</i> ) do NREL .....	48
2.13	Financiamento .....	49
3.	METODOLOGIA .....	50
3.1	Investimento .....	57
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	60
5.	CONCLUSÃO.....	65
6.	REFERÊNCIAS .....	66

## 1. INTRODUÇÃO

Devido a sua ampla aplicação, que vai desde fornecimento de energias a áreas remotas até sistemas que garantem a continuação do serviço em áreas urbanas, o aproveitamento de energia solar vem sendo uma das principais alternativas energéticas para o desenvolvimento do mundo atual.

Visto pelo lado do desenvolvimento social, a energia solar fotovoltaica desempenha um papel importante em áreas isoladas ao redor do mundo. A geração de energia elétrica a partir da conversão direta da luz em eletricidade garante o suprimento de luz para regiões que não têm acesso à rede de distribuição. Por outro lado, um sistema solar fotovoltaico pode ser usado de forma complementar para garantir o suprimento de energia elétrica nas regiões urbanas caso ocorra uma interrupção no fornecimento ou então como ferramenta para se economizar com a conta de luz.

Muitos moradores de comunidades rurais não contam com serviços básicos essenciais ao ser humano moderno, como energia elétrica, água potável e esgotamento sanitário. Diante desse cenário e sem perspectiva de melhora, motivam os moradores de zonas rurais a buscarem melhores condições de vida nos centros urbanos, assim acarretando em alguns problemas sociais.

A agricultura é uma fonte de sobrevivência e sustento para aproximadamente 86% dos habitantes de zona rural do mundo (BANCO MUNDIAL 2007). Logo, é necessário reconhecer que problemas podem ser resolvidos com a adequada utilização da energia elétrica. Um cenário que exemplifica isso, um problema comum em comunidades rurais de regiões áridas e semiáridas, é a falta de acesso a quantidades suficientes de água para abastecimento de culturas agrícolas, assim sendo, a água é o principal fator limitante para a produção agrícola.

Nesse contexto, o uso de energia fotovoltaica em bombeamento de água para abastecimento e irrigação é uma aplicação muito eficiente de energia, e pode ter mais de uma utilidade como, por exemplo, reduzir a limitante hídrica que se encontram em localidades onde outras fontes de energia não são amplamente disponíveis ou o fornecimento é limitado ou insuficientemente confiável.

Um fator de importante destaque é complementaridade que tem o uso da energia fotovoltaica com a irrigação, pois a época com maior demanda de água é coincidente com a época de maior quantidade de irradiação solar e, somado a isso, as regiões áridas e semi-

áridas que apresentam maiores necessidades de água também são as que possuem maior quantidade de radiação solar disponível.

Sistemas fotovoltaicos podem ser usados para irrigação de culturas, levando a uma série de benefícios socioeconômicos para famílias produtoras residentes em áreas rurais. O que difere os sistemas fotovoltaicos de bombeamento dos outros sistemas de bombeamento elétrico, do ponto de vista técnico, o principal diferencial é o sol como fonte de energia.

Sistemas fotovoltaicos de bombeamento não são dependentes de fontes combustíveis, e apresentam reduzido impacto ambiental durante a operação, facilidade de instalação e pouca necessidade de manutenção do sistema. Em contrapartida, sistemas fotovoltaicos de bombeamento possuem custos iniciais acima da média em comparação a outros sistemas e sua produção é totalmente dependente de um fator meteorológico, além disso, em certos lugares é difícil adquirir peças adequadas de reposição ou não ter mão de obra qualificada para realizar o trabalho.

## **1.1 Justificativa**

A tecnologia de sistemas de bombeamento fotovoltaico já é comprovadamente viável em lugares isolados e de difícil acesso à energia elétrica. No semiárido brasileiro por exemplo, muitas comunidades rurais tem seu acesso à água dificultado pela falta do emprego de tecnologia adequada, como sistemas de bombeamento fotovoltaico(SBF).

A agricultura familiar, hoje, é responsável por 75% dos alimentos que vai para mesa do brasileiro (EMBRAPA, 2014), portanto é necessário o contínuo fornecimento de energia elétrica para os sistemas de irrigação dessas unidades agrícolas.

Assim, a partir do contexto apresentado, a principal motivação para a escolha do presente tema é colaborar na diversificação da matriz energética, em locais, em especial no Nordeste brasileiro devido à singularidade do seu clima, que exerçam a agricultura familiar como fonte de renda e subsistência.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho teve como objetivo geral a análise da implementação, com seus custos e financiamentos de um sistema fotovoltaico para bombeamento de água para irrigação e abastecimento de uma produtor rural localizado na cidade de Upanema, interior do Rio



Grande do Norte.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos:

- (a) Analisar e revisão das experiências realizadas no Brasil;
- (b) Dimensionar o um Sistema Fotovoltaico de Bombeamento de Água;
- (c) Simular o custo final do projeto;
- (d) Analisar as condições necessárias para viabilizar financeiramente os projetos de bombeamento fotovoltaico;

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A Energia Solar

Energia solar é o termo referente à energia que provém da luz e do calor do Sol. A Terra, em seu movimento de translação, recebe a irradiação solar de forma bastante constante. A intensidade dessa irradiação no nível da atmosfera é de  $1.367 \text{ W/m}^2$ , valor também conhecido como “constante solar” (DUFFIE; BECKMAN, 2013).

Essa energia irradiada pelo sol percorre três caminhos diferentes, uma parte é refletida pela atmosfera, outra absorvida pela mesma em forma de calor e uma última consegue atingir a superfície terrestre, sendo parte absorvida e parte refletida novamente para a atmosfera. A divisão entre reflexão, absorção e transmissão depende do estado da atmosfera: umidade do ar, nebulosidade e a distância que os raios solares percorrem atravessando a atmosfera.

O Brasil possui grande potencial para uma utilização abrangente da energia solar. A irradiação solar global média incidente sobre um território de  $8.514.876,599 \text{ km}^2$  varia entre  $4,25 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$  a  $6,5 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ , entre as diferentes regiões do país e grande parte do território nacional apresenta valores maiores que muitos países europeus, onde a utilização da energia solar já é bastante difundida (MARTINS et al., 2007).

Existem algumas formas de utilização da energia solar. Uma das maneiras mais tradicionais, como fonte de energia térmica, é quando a radiação solar incide diretamente para aquecimento de fluidos. Quando a incidência solar se dá sobre alguns tipos de materiais compostos de elementos químicos semicondutores, ela pode ser convertida diretamente em energia elétrica.

Na primeira forma de utilização citada são utilizados coletores solares para realizar o aproveitamento térmico para aquecimento de fluídos, utilizados em atividades residenciais e comerciais. Para a secagem de grãos, produção de vapor, aquecimento industrial, ou seja, aplicações em larga escala e que necessitam de temperaturas maiores utilizam-se os concentradores solares.

A conversão da energia solar em energia elétrica de forma direta ocorre pelos efeitos da radiação eletromagnética sobre determinados materiais. O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material, geralmente semicondutor, quando exposto à radiação eletromagnética como a luz solar.

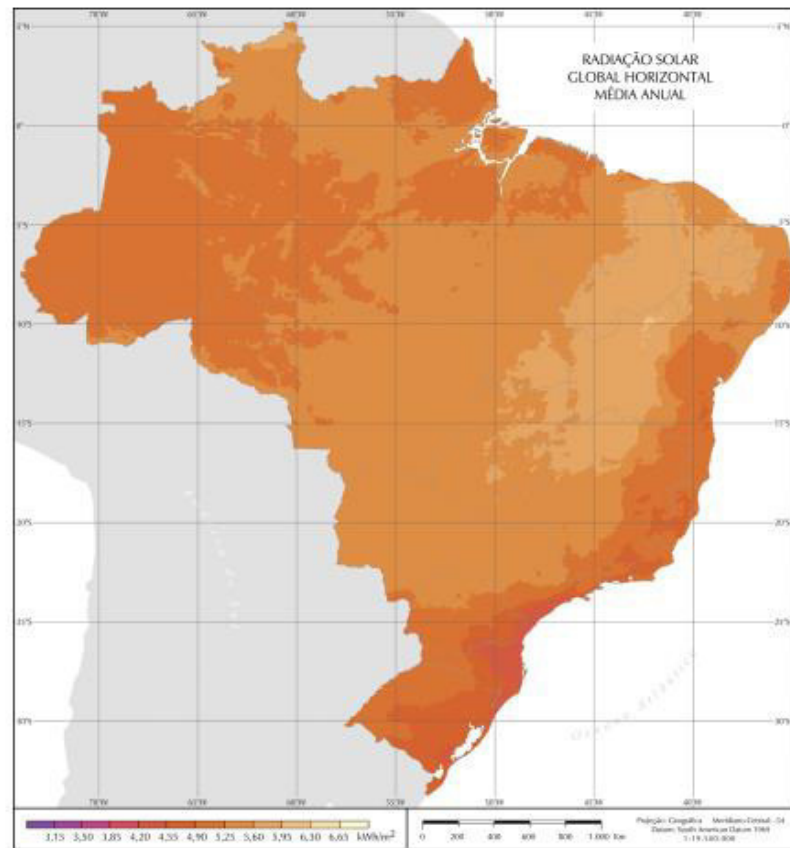
### **2.1.1 Potencial da Energia Solar no Brasil**

Grande parte do território Brasileiro se encontra localizada próxima a Linha do Equador, devido a essa localização geográfica não é observada grandes variações na duração solar do dia. Entretanto, a maioria da população brasileira e, conseqüentemente a maioria das atividades comerciais e industriais se concentram em regiões distantes do Equador. Desse modo, é necessário ajustar o posicionamento do painel ou coletor solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia, para maximizar sua eficiência. No Hemisfério Sul, por exemplo, um sistema de captação solar fixo deve ser orientado para o Norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude local.

O mapa da Figura 1 mostra a média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro. O valor máximo de irradiação global –  $6,5\text{kWh/m}^2$  - ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí.

Essa área apresenta um clima semiárido com baixa precipitação ao longo do ano (aproximadamente  $300\text{mm/ano}$ ) e a média anual de cobertura de nuvens mais baixa do Brasil. A menor irradiação solar global –  $4,25\text{kWh/m}^2$  – ocorre no litoral norte de Santa Catarina, caracterizado pela ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ano. (PEREIRA et al, 2017).

Figura 1- Radiação Solar Global Horizontal Média Anual

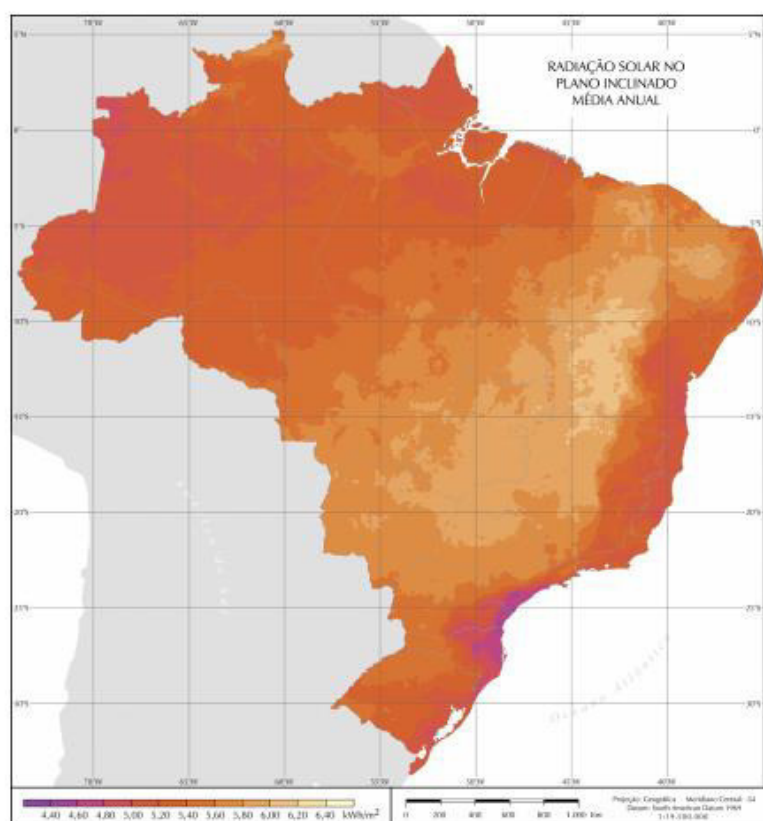


Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar

Devido à influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as condições climáticas e regionais, a Região Norte recebe menor incidência de radiação solar durante o verão do que a Região Sul, apesar da aproximação com a Linha do Equador, e durante o inverno, ocorre o inverso.

Os ventos Alísios provenientes do Oceano Atlântico possuem grande influência sobre a irradiação solar brasileira. Eles são responsáveis pelas altas taxas de precipitação no Noroeste da Região Amazônica. Eles também influenciam na menor irradiação solar no litoral e região costeira do Nordeste Brasileiro, em contraste com os altos valores de irradiação solar são observados a oeste da região Nordestina, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Radiação Solar no plano inclinado média anual



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar

Se a topografia local for desconsiderada, essa configuração é a que torna possível a máxima captação da energia solar incidente. Os maiores níveis de irradiação no plano inclinado ocorrem na faixa que vai do Nordeste ao Sudeste durante a Primavera e os menores valores em todas as regiões do Brasil ocorrem durante os meses de Inverno. (PEREIRA et al, 2017).

### 2.1.2 Potencial da Energia Solar no Rio Grande do Norte

O RN, pelas suas condições naturais, consolida a energia solar como fonte confiável, inesgotável e gratuita. Serras Centrais, Caicó e Alto Apodi são as regiões mais promissoras. É um dos estados mais atrativos para novos projetos do setor, corroborando que a energia solar é a que mais cresce, chegando a 30,89%, enquanto a segunda colocada, a Energia Eólica, cresce a 25,75%, Segundo a Solargis.

Em quatro anos, o Rio Grande do Norte ampliou em mais de 4000% sua capacidade

instalada de geração em energia solar fotovoltaica distribuída – aquela que é feita em sistemas instalados, em casas, prédios públicos, comércios e indústrias. Passou de 56 kilowatts em 2013 para 2.219 kw neste primeiro semestre de 2017. As quatro unidades consumidoras instaladas naquele ano transformaram-se em atuais 168 – a grande maioria na zona urbana, Segundo dados do Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia.

Porém, de acordo com a Absolar – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica – o crescimento segue a tendência nacional. Nos últimos levantamentos, as taxas de avanço superam os 300% anuais. E ainda tem muito espaço para crescer, já que a fonte representa menos de 1% da matriz energética brasileira. O estado sequer figura entre os principais geradores no país, sendo eles, Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro.

## **2.2 Geração distribuída**

Geração distribuída é caracterizada pela produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras, que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica e conectadas à rede de distribuição (ANEEL, 2016).

O conjunto atual de tecnologias de energia distribuída inclui motores alternativos movidos a gás natural e a diesel, turbinas a gás, células de combustível, painéis solares e turbinas eólicas. Eles são altamente flexíveis e adequados em diversas aplicações, incluindo energia elétrica, energia mecânica e propulsão. Essas tecnologias são configuradas e personalizadas para atender as necessidades específicas do cliente , incluindo o fornecimento de eletricidade, calor, vapor, propulsão ou potência mecânica (GE, 2014).

Atualmente existe uma grande ascensão na utilização de tecnologias de geração distribuída, pois elas se encontram amplamente mais disponíveis, mais manuseáveis, mais eficientes e mais baratas. Porém, essa crescente utilização não significa o fim das grandes centrais de energia, logo que o aumento da urbanização e das economias emergentes faz requerer o uso dessas grandes centrais elétricas. Assim, a ascensão da energia distribuída está ocorrendo no contexto de uma continuação do desenvolvimento de produção de energia centralizada, como propósito de abranger mais setores energéticos.

Segundo Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, sendo os principais sendo postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada;

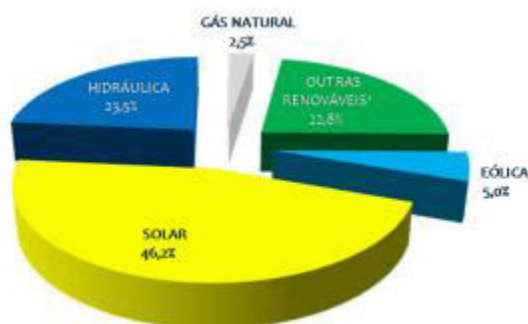
o baixo impacto ambiental e a diversificação da matriz energética

### 2.2.1 Geração distribuída no Brasil

A matriz energética nacional é composta em sua maioria por energia de fonte hidrelétrica, no entanto, o percentual de outras fontes renováveis vem seguindo uma tendência de crescimento no Brasil e no mundo.

No Brasil, a Micro e Mini Geração Distribuída foi regulamentada pela resolução 482 da ANEEL, em 2012, e, em seguida, atualizada pela resolução 687, de 2015 que viabilizou compensação da energia excedente produzida por sistemas de menor porte. Atingiu 359,1 GWh com uma potência instalada de 246,1 MW (EPE, 2018). A Figura 3 evidencia a importância da fonte solar fotovoltaica, representando 46,2% de participação na geração distribuída em 2017.

Figura 3 - Participação de cada Fonte energética na geração distribuída em 2017



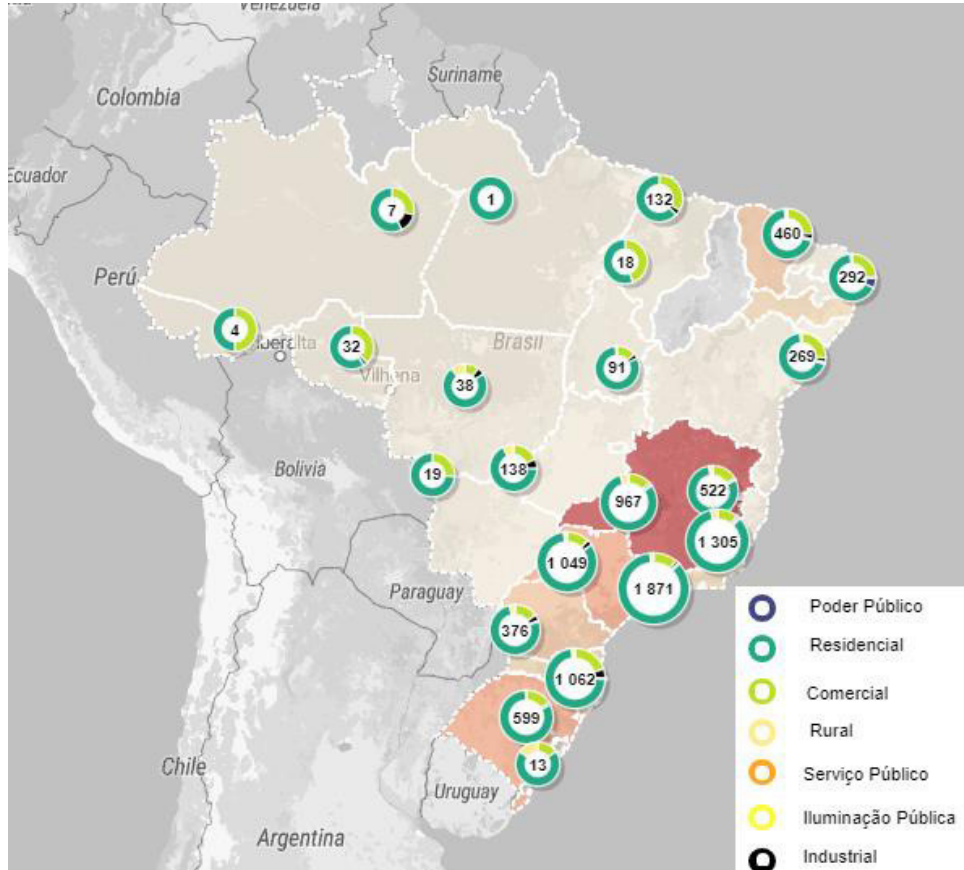
Fonte: EPE

Atualmente, a política adotada no Brasil é a de compensação de energia, permitindo a utilização de fontes renováveis de energia, com ênfase para a energia solar fotovoltaica. A energia gerada pode ser abatida da conta de luz das distribuidoras, isto quer dizer, o Cliente (produtor/consumidor) pagará a diferença entre o que gerou e consumiu. Caso a geração seja maior do que o consumo, serão gerados créditos energéticos, com validade de 60 meses, que poderão ser utilizados em períodos futuros com maior consumo. Tais créditos podem ainda ser aproveitados em outras unidades consumidoras, desde que localizadas dentro da área de concessão da mesma distribuidora.

Segundo o Sistema de Registro de Geração Distribuída, a atual distribuidora com o maior número de clientes (mini e micro geradores) é a CEMIG, de Minas Gerais. Minas também é o estado com maior número de instalações, seguido de perto por São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, como aponta na Figura 4 o mapa da Quantidade de

Usinas de Geração Distribuída no Brasil segundo o banco de dados:

Figura 4 - Número de micro e minigeradores até 23/05/2017

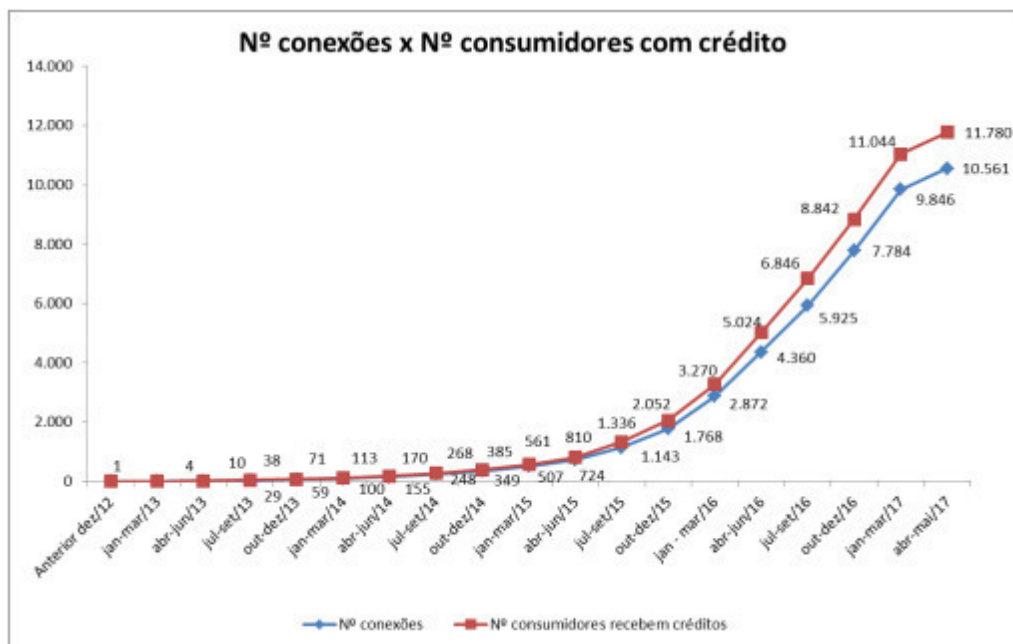


Fonte: ABGD - Sistema de Registro de Geração Distribuída.

A ANEEL lançou em 2017 a Norma Técnica n. 0056/2017 para atualizar as estimativas de micro e minigeração distribuída para os anos de 2017 a 2024, na Norma foi considerada a eletricidade proveniente da produção de energia oriunda de fontes renováveis, e os novos dados atualizam o último levantamento realizado pela agência em 2015. O levantamento constatou o aumento no número de consumidores com mini ou microgeração distribuída em 4,4 vezes entre os anos 2015 e 2016, um aumento de 407% da potência instalada, como é mostrado na Figura 5.



Figura 5 - Número de micro e minigeradores até 23/05/2017



Fonte: ANEEL

A Nota Técnica da Aneel prevê que o número de consumidores residenciais que recebem os créditos de micro e minigeração distribuída saltaria dos atuais 23.794 para 808.357 até 2024, um aumento de quase 34 vezes. Já os consumidores comerciais devem aumentar de 3.040 para 78.343 até 2024. Em relação à potência instalada residencial, o aumento seria de 71 MW para 2425 MW, enquanto o comercial aumentaria de 30 MW para 783 MW. Isso quer dizer que, ao todo, 886,7 mil unidades consumidoras devem receber esses créditos, somando 3,2 GW (ANEEL, 2017).

### 2.3 Irrigação

A irrigação é o fornecimento de água ao solo, quando o fornecimento por água pluviais ou subterrâneas não é suficiente, na quantidade e no momento oportuno, visando proporcionar umidade adequada ao desenvolvimento dos cultivos. A irrigação pode ser total, quando fornece a quantidade de água para o ciclo completo de desenvolvimento da cultura, ou parcial, quando fornece água somente para um período do ciclo, sendo o restante provido pelas chuvas locais.

O fornecimento de água às plantas traz vários benefícios: (HANSEN; ISRAELSEN;

SRINGHAM, 1979 apud ASAWA, 2006)

- a) Fornece umidade ao solo, o que é importante para a germinação de sementes e para os processos químicos e bacteriológicos que acontecem durante o crescimento da planta;
- b) Refresca o solo e seus arredores, o que torna o ambiente mais favorável para o crescimento da planta;
- c) Dilui minerais no solo;
- d) Suaviza o solo e ajuda nas operações de lavra;
- e) Permite a aplicação de fertilizantes;
- f) Reduz os efeitos daninhos das geadas nas culturas;
- g) Garante o sucesso da cultura contra secas de curta duração;
- h) Permite o cultivo e/ou colheita duas ou mais vezes ao ano (milho, feijão, batata, frutas, etc.) em determinadas regiões;
- i) Supre em quantidades essenciais e em épocas oportunas as reais necessidades hídricas das plantas cultivadas podendo aumentar consideravelmente o rendimento das colheitas;

### **2.3.1 Tipos de Irrigação**

#### **2.3.1.1 Irrigação Superficial**

A irrigação superficial, ou por inundação, é a técnica de aplicação da água diretamente na superfície do solo em altas doses. Usa a energia hidráulica propiciada pelo desnível do terreno, da altura do reservatório ou pressão forçada para distribuir a água sobre o solo. A inundação pode ocorrer na modalidade de sulcos e, ainda, de forma contínua ou intermitente. Apesar de não precisar de altas pressões para a distribuição da água, este método utiliza grandes quantidades de água e, conseqüentemente, muita energia para sua realização.

As principais vantagens desse tipo de irrigação são: Baixo custo de implantação, energia e manutenção; Favorecimento o aumento da fotossíntese nas folhas mais baixas, devido ao reflexo da luz na água; O vento não limita a irrigação; Promove a fixação do nitrogênio atmosférico, em decorrência ao favorecimento do crescimento de algas verde-azuis. As desvantagens são: Água parada pode prejudicar as plantas, principalmente pela diminuição da respiração das raízes; Bastante dependente da declividade do solo; Erosões frequentes nos sulcos; Ocorrem perdas de água por percolação

### **2.3.1.2 Irrigação por Aspersão.**

Esse tipo simula uma chuva artificial onde um aspersor expelle água para o ar, que por resistência aerodinâmica se transformam em pequenas gotículas de água que caem sobre o solo e plantas.

As vantagens desse sistema são: Baixo custo de mão-de-obra; Elevada eficiência de aplicação; Facilidade e eficiência na aplicação de fertilizantes, com a fertirrigação; Melhor controle da lâmina de irrigação. As Desvantagens são: Aumenta o desenvolvimento de doenças, devido às folhagens úmidas; Elevados custos iniciais, de energia e de manutenção; Limitada pelo vento e pela declividade do terreno; Pode causar danos ao solo, devido ao escoamento de água nas proximidades.

### **2.3.1.3 Irrigação Localizada**

Na irrigação localizada a aplicação da água ocorre sobre o solo na zona radicular das plantas, em alta frequência e baixa intensidade, para manter uma umidade elevada na região do sistema radicular (OLIVEIRA et al., 2007). Este sistema funciona bem melhor com culturas que necessitam ser espaçadas consideravelmente e/ou em lugares onde a água é escassa ou tem um custo elevado (SANTOS et al., 1997).

As vantagens desse sistema são: Baixo custo de mão-de-obra e de energia; Elevada eficiência de aplicação, como a água é aplicada diretamente na raiz, ocorrem poucas perdas por evaporação; Facilidade e eficiência na aplicação de fertilizantes, com a fertirrigação; Grande adaptação aos diferentes tipos de solo; Mantém o solo uniformemente úmido e com oxigênio. O vento e a declividade do terreno não limitam a irrigação. As desvantagens são: Alto custo inicial, devido à grande quantidade de tubulações; Bastante sensível ao entupimento dos orifícios de saída de água; Diminuição da profundidade das raízes, devido à constante disponibilidade de água, isso pode diminuir a estabilidade da planta.

Como a irrigação localizada otimiza o uso da água e opera com baixas pressões, com descargas entre 1 a 10 L/h e pressão de 5 a 25 m (LOSADA-VILLASANTE, 1992), a demanda total de energia deste sistema é menor em relação as outras apresentadas e é esta característica que a torna mais compatível com os Sistemas Fotovoltaicos de Irrigação (SFVI), os quais custos de geração costumam ser elevados.

A irrigação localizada é o método de irrigação em que a água só é aplicada a uma fração do sistema radicular das plantas com o emprego de emissores pontuais (gotejadores),

lineares (tubo porosos) ou superficiais (microaspersores) (ANDRADE, 2001). A máxima área sombreada pela planta molhada deve ser 20% nas regiões úmidas e 33% nas regiões semiáridas. Uma área molhada maior que 55% da área sombreada pela planta deixa de ser parte deste tipo de irrigação (SANTOS, 1997). A aplicação da água na microirrigação precisa de uma rede hidráulica principal e outra secundária, de ramais porta-emissores e dispositivos de aplicação de água (emissores). Os emissores são colocados a uma distância da planta dependendo do tipo da cultura e idade dela. Os sistemas de irrigação localizada funcionam normalmente com sistemas automatizados, reduzindo o custo de mão de obra para seu funcionamento, porém necessita de uma manutenção periódica.

## **2.4 Tipos de irrigação localizada**

### **2.4.1 Microaspersão**

Nesse sistema a água é aplicada na superfície do solo em forma de uma pequena chuva, esguicho ou borrifo, e o meio de distribuição da água e o ar. As taxas de vazão são inferiores a 175 L/h (LAMM et al., 2007). Esse tipo de sistema é utilizado para irrigação de árvores ou plantas distantes, mas tem como principal problema a não constância dos ventos e altas perdas evaporativas.

### **2.4.2 Microaspersão por gotejamento**

Nesse sistema a água é liberada pontualmente na forma de pequenas gotas na superfície com baixa vazão (geralmente menor que 12 L/h) (LAMM et al., 2007). Mesmo sendo fácil de instalar e limpar esse sistema precisa de um bom sistema de filtragem, para não ocorrer entupimentos.

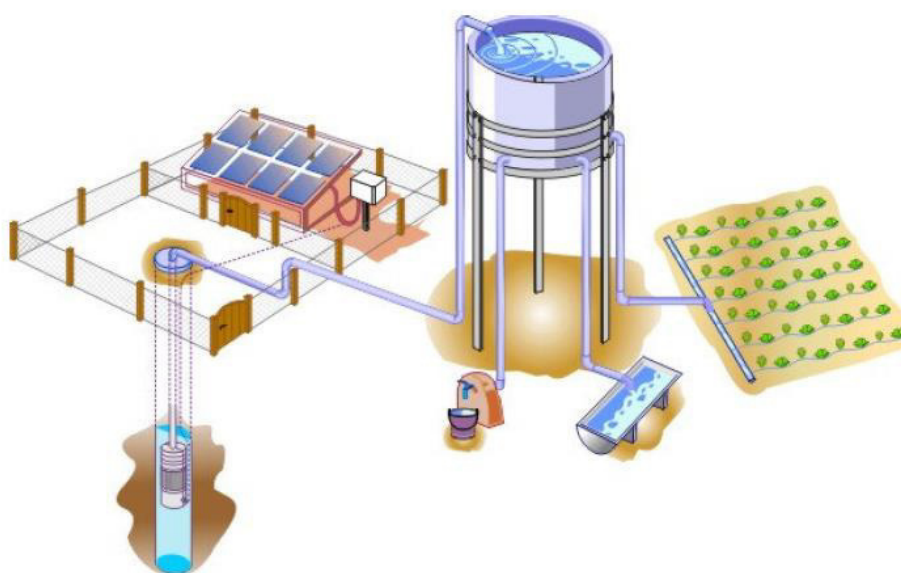
### **2.4.3 Sistema Xique – Xique**

O sistema xique-xique é um sistema de irrigação de tipo artesanal introduzido no Brasil como parte do Projeto “Tecnologias apropriadas à pequena irrigação” no marco da Cooperação técnica Franco-brasileira (COSTA et al., 2006). O agricultor perfura uma tubulação com orifícios de 1 a 2 mm. A eficiência da distribuição de água neste sistema está em torno de 67% (SANTOS et al., 1997).

## 2.5 Sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação

A configuração mais comum de um sistema de bombeamento fotovoltaico tradicional é composta pelos módulos fotovoltaicos, inversor, grupo motobomba, sistema de armazenamento (opcional) e sistema de distribuição, como mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Esquema de um sistema de bombeamento fotovoltaico com diversas aplicações



Fonte: LSF-IEE

No cenário de bombeamento de água com geração fotovoltaica, alguns tipos de bomba podem ser utilizados. Essas bombas são classificadas, de acordo com a tecnologia apresentada, em centrífugas ou deslocamento positivo e também podem ser classificadas segundo sua localização em relação a fonte, em submersíveis, superficiais ou flutuantes.

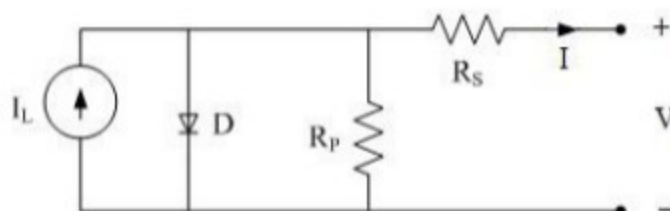
### 2.5.3 Células Fotovoltaicas

A célula fotovoltaica é o menor dispositivo fotovoltaico existente. Uma célula fotovoltaica produz pouca eletricidade, então são necessárias várias células ligadas em série sobre uma estrutura rígida para produzir painéis ou módulos fotovoltaicos com tensões de saída maiores. (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Célula fotovoltaica converte a luz solar em eletricidade, conhecido como efeito fotovoltaico. A Figura 7 apresenta um circuito equivalente de uma célula fotovoltaica, onde o diodo representa a junção  $pn$  e as resistências  $R_s$  e  $R_p$  as resistências em série e paralelo,

respectivamente. A resistência em série é devido a junção metal-semicondutor, malhas metálicas, regiões dopadas, etc. Enquanto que a resistência em paralelo é devido a pontos de curto-circuito na junção *pn*.

Figura 7 - Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica



Fonte: Pinho e Galdino, 2014

Alguns dos fatores que contribuem para o silício ser o material mais tradicional é que este, além de não ser tóxico, é o segundo elemento mais abundante da Terra com mais de 28% da massa da crosta terrestre (STEPHEN D. BUTZ, 2002).

Os materiais semicondutores mais utilizados para fabricação dessas células, em ordem decrescente de utilização, são: silício (Si) cristalino (c-Si), multicristalino (m-Si), amorfo (a-Si) e microcristalino ( $\mu$ -Si); telúrio (Te); cádmio (Cd); cobre (Cu); índio (I); gálio (Ga); selênio (Se), entre outros (RÜTHER, 2004).

As principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos podem ser classificadas em três gerações. A primeira delas divide-se em duas cadeias produtivas: a de silício monocristalino (m-Si) e a de silício policristalino (p-Si), que representam mais de 85% do mercado. Isso se deve por ser considerada uma tecnologia consolidada e confiável, além de possuir a melhor eficiência comercialmente disponível (PINHO; GALDINO, 2014).

A segunda geração, denominada como tecnologia de filmes finos, são uma tecnologia mais recente, que surgiu após as tecnologias cristalinas já estarem bem desenvolvidas, é dividida em três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), dissel e o de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Esta geração apresenta eficiência menor que a primeira geração e apresenta modesta participação no mercado (PINHO; GALDINO, 2014).

### **2.5.3.1 Células de Silício Monocristalino**

Uma das formas de se obter o cristal único de silício, é através do método Czochralski. Durante esse processo, uma semente de cristal de silício é inserida numa caldeira com silício policristalino e, enquanto o conjunto gira lentamente, essa semente é erguida. A semente de silício orienta os átomos do mosto que se cristaliza em uma única formação cristalina, por isso o nome: monocristal.

Após o corte do cristal em pastilhas, é depositado o fósforo, através de difusão de vapor a temperaturas entre 800-1200°C, e criada à rede de contatos frontais e traseiras que recolherão os elétrons liberados pelo efeito fotovoltaico. Também é feito um tratamento antirreflexo na parte posterior.

As células de silício monocristalino são as mais eficientes produzidas em larga escala e disponíveis comercialmente, alcançando eficiências de 15 a 18%, mas apresentam custo de produção mais elevado que outros tipos de células. Já as células de silício policristalino têm eficiências comerciais de 13 a 15%; porém, seu custo de fabricação é menor do que o das células monocristalinas, o que compensa essa redução de eficiência (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

### **2.5.3.2 Células de Silício Policristalino**

Um dos processos de criação de silício policristalino mais utilizado é o de fundição de lingotes, onde o silício em estado bruto é aquecido no vácuo até uma temperatura de 1.500°C e depois resfriado até uma temperatura de 800°C. Pode-se aproveitar o processo de purificação do silício, e já adicionar o Boro. Nesse processo é utilizada menos energia. São criados blocos de silício de 40x40 cm<sup>2</sup> com altura de 30 cm. O processo segue como o do silício monocristalino, com o corte, tratamento antirreflexo e criação dos contatos frontais.

### **2.5.3.3 Filmes Finos**

Os dispositivos de filmes finos são produzidos em qualquer dimensão, sendo que a única restrição consiste da área da base para fabricação do módulo. Por essa razão a distinção entre célula e módulo não existe no caso da tecnologia de filmes finos, eles podem ser fabricados na dimensão do módulo.

A baixa eficiência acaba fazendo com que necessitem de maior área de módulos para produzir a mesma energia que produzem as tecnologias cristalinas. Uma vantagem

frequentemente apontada é seu melhor aproveitamento da luz solar para baixos níveis de radiação e para radiações do tipo difusas.

Outro fator é seu coeficiente de temperatura mais favorável, ou seja, a diminuição da produção de energia com o aumento da temperatura é menor que em outras tecnologias; assim, os módulos de filmes finos são mais adequados para locais com altas temperaturas (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O desenvolvimento das células fotovoltaicas de película fina vem desde a década de 90. O material semicondutor é aplicado em um substrato, geralmente vidro, através de deposição por vaporização, deposição catódica ou banho eletrolítico. Os semicondutores mais utilizados são o silício amorfo (a-Si), o disseleneto de cobre e índio (gálio) (CIS-CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe).

Devido à alta absorção luminosa, camadas de menor espessura (0,001 mm) são, em teoria, suficientes para converter a luz solar em eletricidade. Além disso, esses materiais são mais facilmente dopados e requerem menores temperaturas (entre 200°C e 500°C) para sua fabricação, o que, combinado com a capacidade de automação para produção em larga escala, pode baratear o preço final dos módulos.

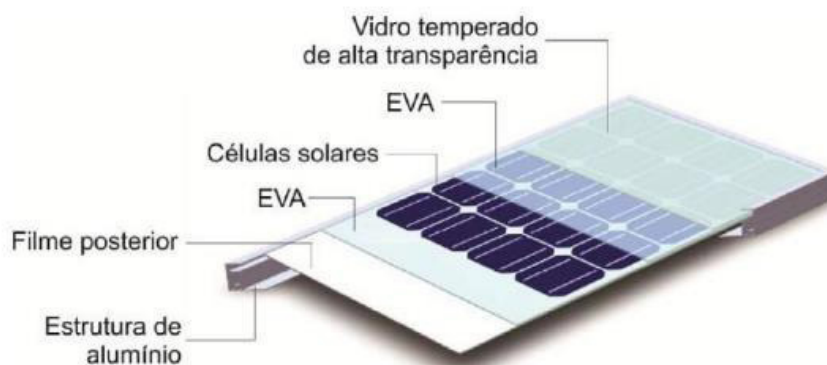
#### **2.5.4 Módulo Fotovoltaico**

Um conjunto de células fotovoltaicas, devidamente conectadas eletricamente e acondicionadas para resistir à exposição ao ar livre e intempérie, é denominado módulo fotovoltaico e a principal especificação de um módulo é a potência nominal, que é a potência de saída sob as condições-padrão de referência para ensaio (VIANA, 2010).

Um módulo pode conter de 36 a 216 células FV, estas células são soldadas em tiras e encapsuladas para proteção contra as intempéries e para resistência mecânica do módulo. Esse encapsulamento é dado com um sanduíche de vidro temperado de alta resistência, as células, EVA estabilizado, e um filme isolante. Terminado esse processo, coloca-se uma moldura de alumínio anodizado e a caixa de conexões elétricas, como mostra a Figura 8 (PINHO e GALDINO, 2014).



Figura 8 - Estrutura de um Painel Fotovoltaico



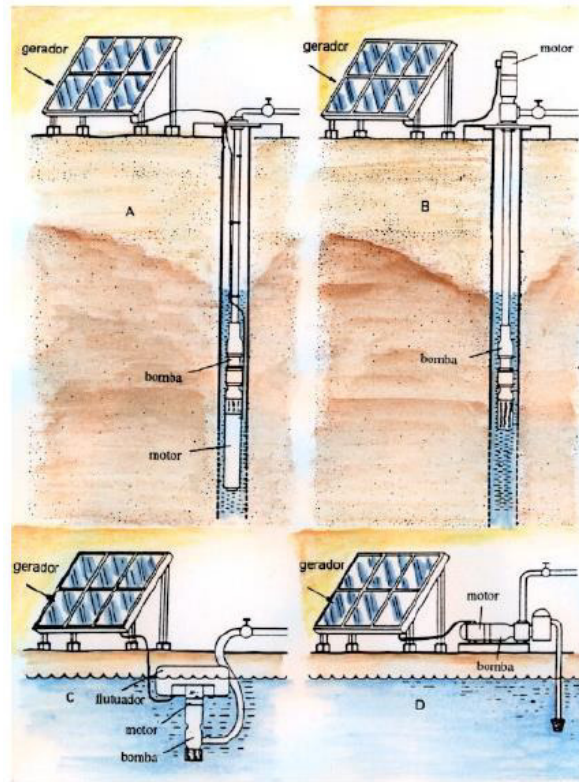
Fonte: Pinho e Galdino, 2014

### 2.5.5 Conjunto Motobomba

A motobomba é a parte do sistema que transforma a energia elétrica em energia mecânica e como seu nome aponta é composta pela união de um motor e uma bomba. Existe o termo motobomba integrada, que é dado em casos os quais os dois componentes são conectados e fabricados dentro do mesmo bloco. Devido a essa configuração, o sistema se torna mais simplificado e fornece eficiências maiores quando operadas na proximidade do seu ponto de seu ponto de desempenho.

Fedrizzi (1997) fala que existem quatro configurações básicas de posicionamento do grupo motobomba no sistema, como demonstrado na Figura 9. O esquema A, caracterizado por poço tubular com conjunto motobomba submerso, é bastante utilizado em poços profundos com bombas centrífugas multiestágios ou de deslocamento positivo do tipo helicoidal. O esquema B utiliza equipamento do tipo injetor com motor na superfície juntamente com a bomba na posição submersa, porém possuem pouca eficiência do sistema. Com relação ao esquema C, conhecido como sistema flutuante, a motobomba se localiza submersa posicionada em um flutuador. No esquema D, o conjunto motobomba encontra-se na superfície próximo do nível da água, pois funciona como um mecanismo de sucção.

Figura 9 - Tipos de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento



Fonte: FEDRIZZI, 1997

### 2.5.6 Inversores

Os módulos fotovoltaicos geram energia em corrente contínua CC, portanto é necessário um equipamento eletrônico que converta a energia em corrente contínua CC para corrente alternada CA, este equipamento é chamado de inversor.

Os inversores mais utilizados de acordo com Rüther (2004) podem ser de dois tipos: Comutados pela própria rede elétrica, onde o sinal da rede é utilizado para sincronizar o inversor com a rede, ou auto-comutados, onde um circuito eletrônico no inversor controla e sincroniza o sinal do inversor ao sinal da rede.

Os inversores modernos utilizam chaves eletrônicas de estado sólido e o seu desenvolvimento está diretamente ligado à evolução da eletrônica de potência, tanto em termos de componentes (especialmente semicondutores) quanto das topologias de seus circuitos de potência e controle (PINHO; GALDINO, 2014).

### **2.5.7 Estruturas de Suporte**

Os módulos fotovoltaicos devem ser montados sobre uma geometria adequada para que haja uma orientação e um ângulo de inclinação (fixo ou variável) necessários, com o intuito de assegurar a máxima captação da luz solar durante o período de interesse e também evitar danos ao conjunto durante intempéries. Além disso, a estrutura de suporte deve ser eletricamente aterrada e ser fabricada com materiais menos mais resistentes a corrosão, especialmente em locais com condições ambientais rigorosas.

Para instalações realizadas no solo, deve ser realizado o projeto e escolhido o tipo de fundação mais adequado. Certos fatores devem ser levados em consideração ao se escolher o tipo de fundação, como o acesso ao local, condições climáticas extremas, topografia, propriedades do solo, o código de obras local, disponibilidade de mão de obra, dentre outros (PINHO; GALDINO, 2014).

### **2.5.8 Sistemas de Armazenamento**

O recurso solar é um recurso limitado por só estar disponível durante um número determinado de horas por dia. Devido a isso, é possível utilizar mecanismos que permitam armazenar a energia gerada, para ser usada posteriormente. Existem duas opções para esse objetivo final: armazenar essa energia em acumuladores eletroquímicos de energia (baterias) ou armazenar a água bombeada em reservatórios.

#### **2.5.8.1 Sistema de Armazenamento com Baterias**

Nos sistemas fotovoltaicos de bombeamento, o uso de baterias permite a utilização do sistema fora do horário de radiação solar ou em instantes que ela não é suficiente para o bombeamento.

Mesmo que a característica de independência com relação à disponibilidade do sol seja favorável para programação da irrigação, o aumento dos custos totais com esta modalidade a torna inviável economicamente (SCHMIDT et. al 2000). Além disso, significa uma dificuldade a mais quando instaladas em localidades remotas, porque precisam ser substituídas com frequência, podendo ocasionar problemas logísticos econômicos.

### 2.5.8.2 Sistema de Armazenamento com Reservatórios

A utilização de reservatórios de água permite a utilização do sistema de irrigação fora do horário de funcionamento da bomba. As características do reservatório dependem do seu tipo de aplicação e da disponibilidade no mercado onde se encontra o sistema. Eles podem ser de diversos materiais dentre eles, polietileno, PVC, fibra de vidro, concreto, metal e até mesmo escavações impermeabilizadas com material sintético ou argila compactada no terreno.

O uso de um reservatório elevado se configura o método mais comum para sistema de irrigação, principalmente devido a sua simplicidade de operação. A altura da água do reservatório determina a pressão de trabalho do sistema, logo, é possível trabalhar com sistemas de irrigação de baixa pressão se o objetivo é minimizar as perdas hidráulicas do tanque até o sistema de irrigação. Pode ser utilizada uma estrutura para se chegar a este resultado ou aproveitar o próprio relevo local para a elevação do tanque (Figura 10 A e 10 B). Porém, algumas vezes se torna muito dispendioso elevar um reservatório, se optando por coloca-lo ao nível do solo (Figura 10 C).

O volume de água armazenado dependerá de vários parâmetros, dentre eles, condições climáticas locais, demanda hidráulica, tipo de solo e disponibilidade financeira. Além disso, o volume de água armazenado também dependerá da quantidade de água armazenada para irrigar determinado número de dias sem que o bombeamento esteja funcionando, ou seja, o tempo de autonomia desejado. Logo, quanto maior o tempo de autonomia, mais caro será o projeto.

Figura 10 - Configuração de reservatórios segundo tipo de elevação: A. Elevado com uma estrutura; B. Elevado no nível do Terreno; C. No nível do terreno.



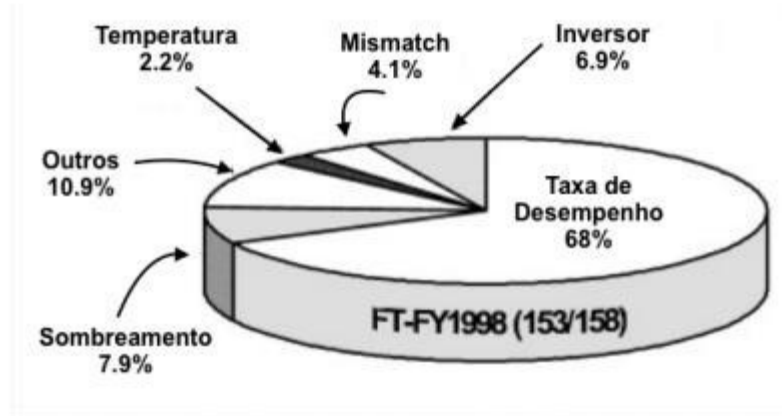
Fonte: Prefeitura de Aracruz; Prefeitura de Jacareí; Energy

## 2.6 Fatores de Perda

Para que se tenha um melhor desempenho na geração de energia de um painel fotovoltaico, é importante que alguns fatores sejam analisados na hora do projeto, como escolha de componentes, modo e local de instalação. É importante que aconteçam inspeções periódicas para observar se o painel fotovoltaico está operando devidamente. Recomenda-se que o painel seja instalado em local com boa incidência de radiação solar, sem a presença de sombreamento.

Um estudo feito no Japão em 2001 quantificou os principais fatores de perdas das instalações observadas, como mostrado na Figura 11. Entre eles: Perdas na conversão de energia; Sombreamento parcial; Perdas nos inversores; *Mismatch* (descasamento de módulos); Aumento da temperatura do painel fotovoltaico e outros.

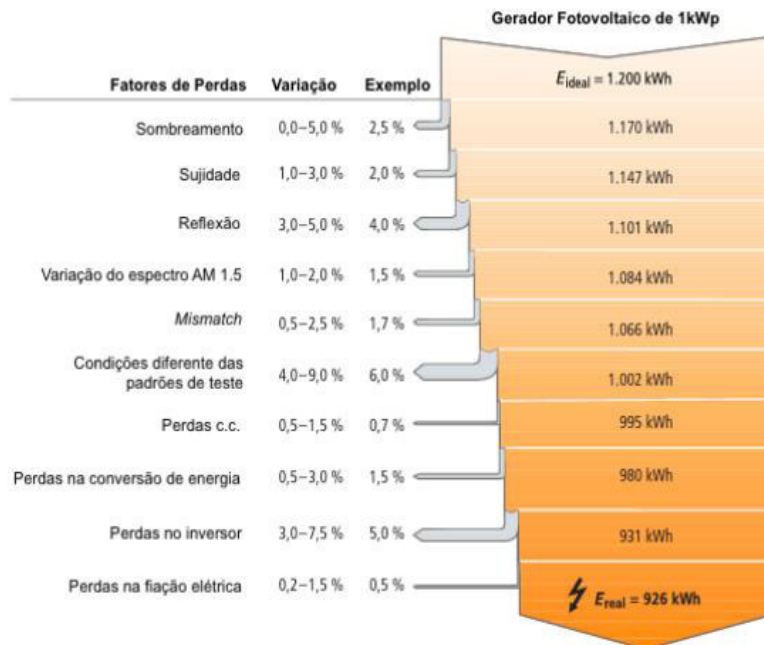
Figura 11 - Fatores de perda do estudo feito em 2001



Fonte: Ikki, Kurowaka 2001

Em um estudo mais recente, a Sociedade Alemã de Energia Solar (DGS, 2014) quantificou os fatores de perdas como representado na Figura 12.

Figura 12 - Fatores de perda do estudo realizado em 2013



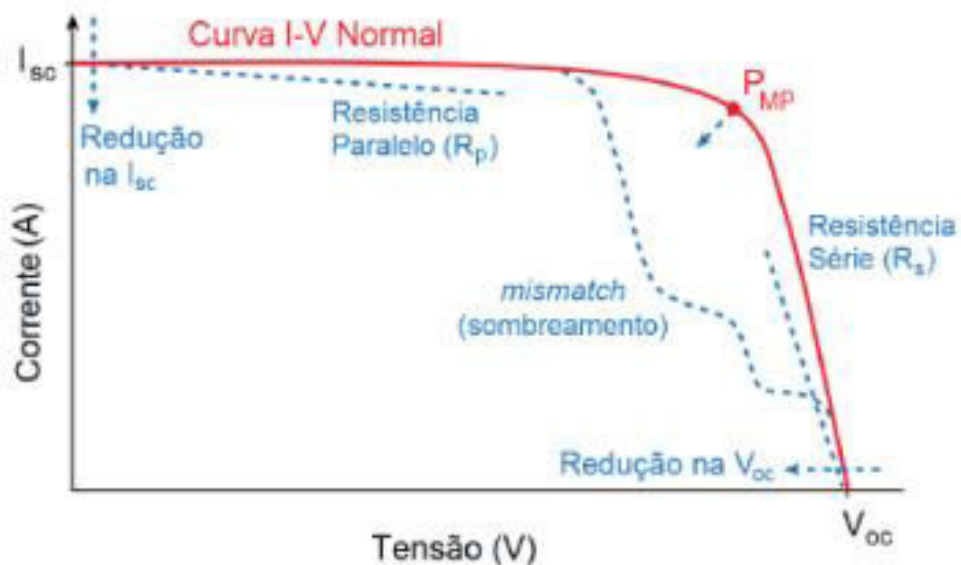
Fonte: Adaptado de DGS, 2013.

Pode-se observar que alguns fatores de perdas foram acrescentados, como por exemplo: perdas na fiação elétrica, sujidade e variações das condições padrões de teste, o que

no outro estudo poderia estar sendo referida como “outros”. As perdas por mismatch (descasamento) diminuíram, pois agora os fabricantes dos módulos colocam a potência mínima do painel no manual, não mais um valor médio.

A Figura 13 mostra uma curva característica I-V, através dessa curva é possível analisar alguns fatores de perda, pois ela mostra os valores da corrente de saída de um conversor fotovoltaico, em função da sua tensão de saída, em condições preestabelecidas de temperatura e irradiância total. O Ponto de Potência Máxima ( $P_{MP}$ ), ou também denominado como MPP (Maximum Power Point) é o ponto da curva na qual o produto da corrente pela tensão é máximo (URBANETZ, 2014).

Figura 13 - Anomalias da curva I-V de um painel fotovoltaico



Fonte: Pinho e Galdino, 2014

A alteração da curva I-V pela resistência série ( $R_s$ ) pode ser resultado de problemas nas interconexões elétricas de um módulo da fileira, ou problemas externos na fiação e conexões entre fileiras.

A resistência em paralelo ( $R_p$ ) é resultante de defeitos internos em células. Sombreamento parcial ou acúmulo de sujeira (de modo não homogêneo) também podem causar este mesmo efeito na curva.

Redução na corrente de saída ( $I_{sc}$ ) é causada por degradação dos painéis ou acúmulo de sujeira. Redução na tensão de saída ( $V_{sc}$ ) é causada pelo aumento de temperatura nos módulos, podendo ser causada pelo modo de instalação (com pouca ventilação embaixo do

painel).

Degradações dos módulos ou curtos em diodos de desvio *by-pass* também causam este efeito. As perdas por *mismatch* (descasamento) causam o aparecimento de “degraus” na curva, como no caso de sombreamento parcial (PINHO e GALDINO, 2014).

### **2.6.1 Perdas por acúmulos de sujeira ou sombreamento parcial**

O efeito do acúmulo de sujeira é menor quando o módulo é limpo com a água da chuva. Uma angulação de pelo menos 10° é normalmente suficiente para que isto ocorra. Quanto maior a inclinação do módulo, mais fácil para que esta autolimpeza aconteça. Além disso, o design do painel pode ajudar a promover um maior acúmulo de sujeira, quando este contém bordas elevadas. Se o sistema estiver localizado em áreas com muito acúmulo de poeira, uma limpeza regular vai aumentar significativamente o desempenho do sistema (DGS 2013).

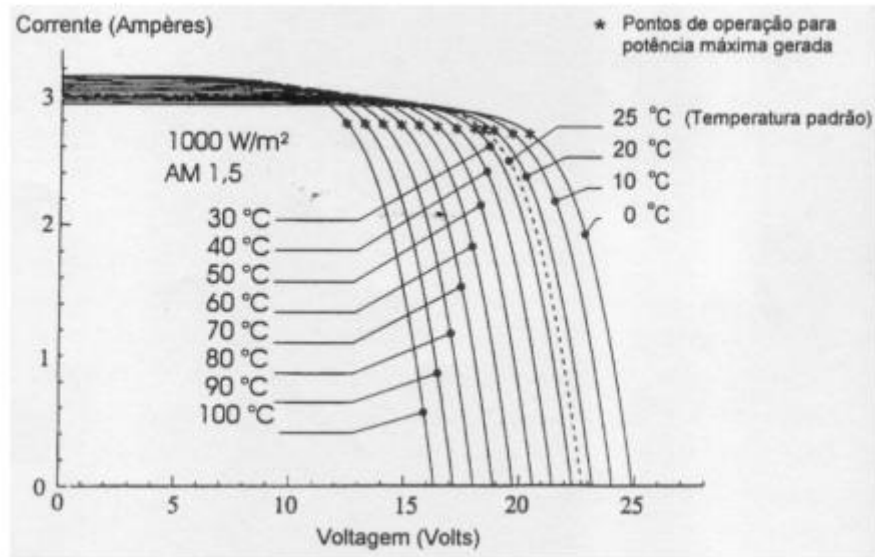
Sombreamento parcial é um fator de perda muito significativo num sistema fotovoltaico. O sombreamento pode ser previsível, causado por árvores, postes e construções no entorno, causada pela própria arquitetura do sistema, ou até mesmo um módulo fazendo sombra no módulo adjacente. O sombreamento pode também ser imprevisível, como por exemplo, quando algo cai em cima do módulo.

### **2.6.2 Perdas por aumento de temperatura**

Sistemas fotovoltaicos excepcionalmente operam em condições nominais. A temperatura de operação das células fotovoltaicas depende da variação da irradiância solar e da temperatura as quais incidem nelas. A corrente produzida nas células fotovoltaicas é diretamente proporcional à irradiância solar e pouco sofre alteração devido a temperatura da célula. Porém, com o aumento da temperatura, a tensão e, conseqüentemente, a potência gerada diminuem de modo significativo, como mostrado na figura 14.



Figura 14 - Curva I-V de módulos a diferentes temperaturas e irradiância constante de  $1000\text{W/m}^2$ .



Fonte: GEPEA

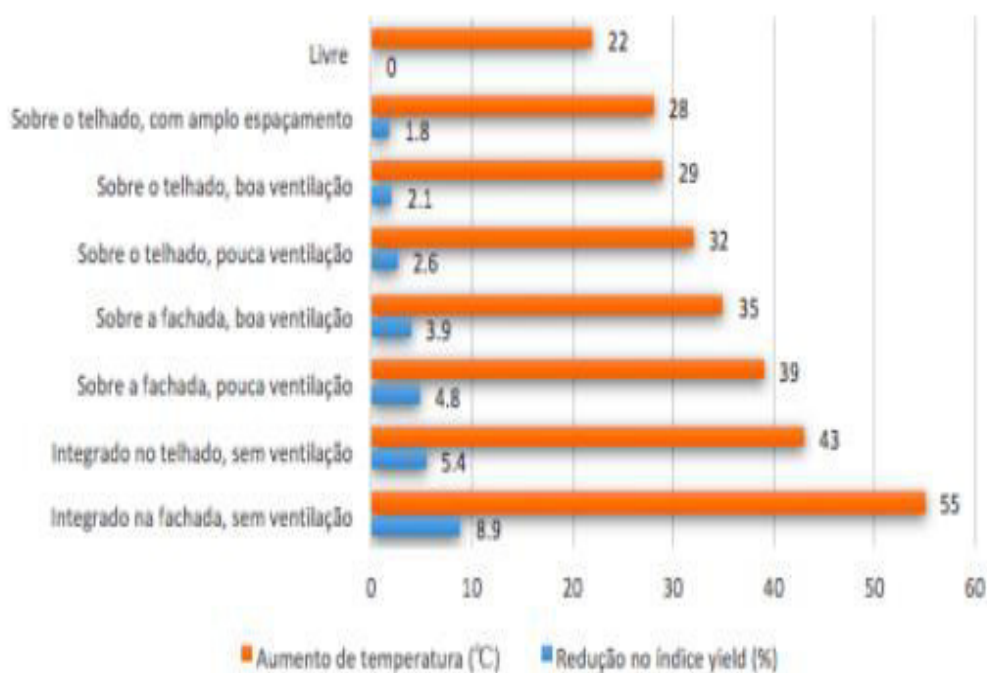
Para minimizar a perda de potência devido ao aumento da temperatura, os módulos fotovoltaicos devem ser montados de forma a dissipar calor facilmente, de preferência com boa ventilação. Coeficientes de temperatura para variação na tensão de corrente são normalmente especificadas no datasheet do módulo fotovoltaico em porcentagem, mV ou mA por °C.

A temperatura de operação do sistema fotovoltaico é diretamente influenciada pelo modo de instalação do mesmo. Em um sistema instalado em um telhado, observa-se uma maior temperatura no módulo fotovoltaico do que num sistema instalado com uma boa ventilação.

Na Figura 15 pode-se observar o aumento da temperatura do sistema fotovoltaico (na barra vermelha) em relação a temperatura ambiente, em diferentes modos de instalação, quando se tem uma irradiância de  $1000\text{W/m}^2$  sobre o painel.

A temperatura também afeta a produtividade do módulo fotovoltaico. A redução no índice *yield* (produtividade) devido ao aquecimento do módulo é mostrada nas barras azuis. Os valores mostrados na figura 27 podem variar em  $\pm 10\%$  com relação a temperatura e em  $\pm 30\%$  com relação a produtividade (DGS, 2013).

Figura 15 - Aumento da Temperatura x Redução do *yield*, de acordo com a instalação.



Fonte: DGS, 2013

## 2.7 Abastecimento de água

Sabe-se que tanto a escassez quanto a má qualidade da água podem causar graves problemas sanitários, nutricionais e econômicos às populações afetadas. Assim como o acesso à água é de fundamental importância para a sobrevivência do ser humano, seu bom uso o é em igual medida.

A Organização Mundial da Saúde afirma que as enfermidades de origem parasitária, bacteriana e viral relacionadas ao uso da água estão grandemente expandidas no planeta. Essas parasitoses de veiculação hídrica dominam amplamente as patologias dos habitantes pobres dos países em desenvolvimento.

Os indicadores de mortalidade infantil de uma nação figuram como um dos principais instrumentos para analisar o seu desenvolvimento. Não por acaso, as crianças são as mais afetadas pelas condições socioeconômicas e de infraestrutura de um país. Um relatório recente da Organização Mundial da Saúde (OMS) reforça que o saneamento básico deve ser uma das principais preocupações governamentais para os cuidados com a infância. O estudo revela,

por exemplo, um número maior de mortes de crianças brasileiras, com idade menor de cinco anos, que moram em áreas insalubres, em comparação com nossos vizinhos argentinos e chilenos.

A falta de água e esgotamento sanitário afeta diretamente a saúde da população infantil. As doenças como diarreia, malária e pneumonia estão entre as causas mais comuns de mortes de crianças entre um mês de idade e cinco anos, segundo a OMS. Essa tragédia que assola a população mais pobre do país poderia ser evitada com acesso, por exemplo, à água tratada e saneamento básico, entre outros fatores. O estudo aponta que essa difícil situação não é exclusividade nacional. No mundo, a OMS aponta que problemas causados pela poluição do ar, tabagismo passivo, água suja, falta de sanitários e higiene inadequada provocam a morte de 1,7 milhão de crianças todos os anos.

A inversão dessa realidade só será possível com investimentos maciços em saneamento básico e abastecimento de água, garantindo a universalização desses serviços para a população brasileira. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) 2015, mostra que o índice médio de tratamento de esgoto no país chega a apenas 42,7% das moradias da região urbana atendidas pela pesquisa. Esses indicadores já foram bem piores e graças aos investimentos em saneamento básico até agora realizados, aumentando o número de domicílios com atendimento de esgoto, água potável e coleta de lixo, que o país conseguiu reduzir a mortalidade infantil, segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Além da qualidade do recurso hídrico, populações que se encontram longe dos grandes centros dedicam significativa parte de seu tempo ao transporte de água para consumo e uso doméstico. Por se tratar de regiões remotas em que a energia elétrica convencional tem baixa penetração e reduzida probabilidade de chegar, e onde os combustíveis fósseis são caros e de difícil acesso, alternativas tecnológicas como a opção solar fotovoltaica começam a se tornar uma realidade viável.

## **2.8 Benefícios com a utilização de Sistemas Fotovoltaicos para Irrigação**

Os sistemas fotovoltaicos substituem os sistemas de geração a diesel, os quais possuem grande impacto nos custos de produção agrícola, representando alta parcela do gasto total dos produtores. Podem mitigar os riscos de perda de safra, pois determinadas culturas como as árvores frutíferas, por exemplo, possuem tempo de crescimento de um à vários anos, e com o sistema de bombeamento fotovoltaico, um regime de estiagem não afetará a colheita,

e podendo incrementar a produção

Além disso, o acesso à água de maneira constante permite que os agricultores cultivem novas culturas e aumentando a renda familiar e a criação de empregos diretos e indiretos.

A substituição de motores de combustão interna por SFVI evita a emissão de gases de poluição e geradores do efeito estufa. Mas a redução de impactos ambientais não só é encontrada na atmosfera, a utilização desses sistemas também evita a poluição de poços e solos por vazamento de combustíveis. A segurança alimentar dos beneficiários pode ser alcançada com o aumento da produção e da variedade de alimentos e o incremento da renda com o objetivo de diversificar a cesta básica familiar e a capacidade com comprar produtos que não são possíveis de serem cultivados no local.

Um problema social evitado com a implementação de SFVI e conseqüente valorização do Meio Rural, é a diminuição no Êxodo Rural. Muitas pessoas acabam abandonando o campo em busca de melhores condições de vida, mas acaba ocasionando maiores problemas sociais como o desemprego e aumento da violência urbana.

## **2.9 Potencialidades para implementação de Sistemas Fotovoltaicos de Irrigação no Brasil**

### **2.9.1 Recurso solar e Confiabilidade de dados**

A existência de dados confiáveis e disponíveis sobre recursos renováveis permite estimar com maior precisão a produção elétrica dos sistemas fotovoltaicos. No Brasil a principal fonte é o Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006) e a CRESESB

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al, 2006) os valores de irradiação global diária média anual são : Norte: 5,5 kWh/m<sup>2</sup>, Nordeste: 5,9 kWh/m<sup>2</sup>, Centro Oeste: 5,7 kWh/m<sup>2</sup>, Sudeste: 5,6 kWh/m<sup>2</sup> e Sul 5,2 kWh/m<sup>2</sup>. Dos dados apresentados, pode-se ver que a região Nordeste, na qual está maior parte do “polígono das secas” apresenta valores de irradiação médias muito favoráveis para a utilização dos SFVI.

### **2.9.2 Existência de lugares sem acesso à rede elétrica e/ou com problemas de manutenção das bombas diesel e de fornecimento de combustíveis para sua operação.**

Em razão da variedade geográfica do Brasil, existem muitos lugares ainda sem acesso à rede elétrica ou com problemas de fornecimento de combustíveis. O baixo investimento inicial e de operação, assim como de uma maior variedade de motobombas e materiais de

reposição, é muito mais vantajoso o uso de rede elétrica quando existente. Mas em algumas regiões rurais brasileiras, a extensão da rede elétrica pode ser inviável, em razão das restrições técnicas, econômicas ou ambientais, essas condições tornam a geração local com sistemas de combustão interna ou fotovoltaicos como as únicas soluções possíveis.

### **2.9.3 Uso de fontes subterrâneas**

O Nordeste Brasileiro está sujeito a grandes períodos de estiagem, ocasionando indisponibilidade ou esgotamento das fontes superficiais de água. Diante desse cenário, fontes d'água subterrâneas são uma possível alternativa por serem menos vulneráveis a mudanças sazonais e à evaporação. Essas fontes estão distribuídas em regiões extensas do território brasileiro.

A presença de rochas sedimentares no Nordeste brasileiro permite a acumulação de água da chuva, a qual apresenta uma boa qualidade para uso na agricultura. Também existe potencial de uso de bacias com rochas cristalinas, porém seu uso é limitado em virtude do alto conteúdo de sais.

No Nordeste brasileiro, pelo menos 19,5 bilhões de metros cúbicos da água poderiam ser extraídos por ano de fontes subterrâneas sem risco de esgotamento dos mananciais, segundo dados da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) (Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 1995).

### **2.9.4 Aumento do uso de técnicas de irrigação localizada**

Como apresentado anteriormente existem três tipos básicos de irrigação: superficial, aspersão e localizada. Segundo Andrade (2001), a eficiência de irrigação com os métodos de irrigação superficiais está dentro da faixa dos 30 a 80%, com os métodos de aspersão entre os 75 a 90%, e com os métodos de irrigação localizada entre os 80 a 95%. Como a quantidade de água bombeada influencia diretamente no custo do sistema, a competitividade dos SFVI cai quanto maior for a quantidade da água necessária, pois ele se tornará muito mais dispendioso. Nessas condições é preferível usar algum método de irrigação localizada com os sistemas fotovoltaicos.

O aumento da irrigação localizada favorece o crescimento do mercado, garantindo uma maior variabilidade de produtos com preços mais acessíveis, além de aumentar a confiança do produtor ao usar uma técnica de irrigação diferente da já utilizada. Este fato propicia as condições de contorno que favorecem a introdução dos sistemas fotovoltaicos de

irrigação.

### **2.9.5 Potencialidade de desenvolvimento da produção agrícola familiar**

O clima do semiárido é propício para a produção de vários tipos de culturas. Quando o agricultor paga pelo o SFVI, ele precisará que o investimento inicial tenha o menor tempo de retorno possível. Isso apenas é possível se o produto tiver um alto valor agregado e um mercado garantido que compre a produção completa a um bom preço e garanta lucro ao produtor. Produtos como os orgânicos têm uma demanda crescente e um bom valor no mercado, embora, em razão dos quesitos de produção próprios de este tipo de alimentos, eles sejam produzidos em menores quantidades.

O tamanho da área de cultivo da chamada “agricultura familiar” é compatível com alguns parâmetros que tornam viável o investimento em SFVI (área de cultivo pequena, utilização constante do terreno e moderado consumo de água).

### **2.10 Normas e Regulamentações da Geração Distribuída**

A resolução 482/2012 da ANEEL foi o marco regulatório que permitiu aos consumidores realizar a troca da energia gerada com a da rede elétrica, estabelecendo as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

A resolução Normativa 687/2015 da ANEEL, com o intuito de aprimorar o que foi estabelecido na resolução 482 de 2012, tornando possível ao consumidor instalar pequenas usinas geradoras, como as microturbinas eólicas, geradores de biomassa e de energia solar fotovoltaica (ANEEL, 2015).

A nova resolução trouxe consideráveis melhorias, sobretudo para o desenvolvimento da geração de energia solar no Brasil. De acordo com as novas regras, é considerada como microgeração a instalação de geradores com potência de até 75kW. Acima dessa potência, com valor de até 5MW, já é possível considerar como minigeração (MINAS ENERGIA, 2016).

Se a quantidade de energia gerada for superior à quantidade de energia consumida, serão gerados créditos que poderão ser compensados pelo prazo de até 60 meses. Caso o consumidor possua uma outra instalação em seu CPF, ele poderá utilizar os créditos excedentes para compensar nessa outra unidade consumidora. Essa modalidade de

compensação é denominada “autoconsumo remoto” (MINAS ENERGIA, 2016).

Algumas resoluções e normas da ANEEL e da cosern são importantes para um maior conhecimento sobre a situação legal da geração distribuída no país. A partir de 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a REN 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, as quais vêm de recursos naturais e são rapidamente e naturalmente reabastecidas, como sol, vento, etc ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

Nesse sentido a cogeração é o processo de geração simultânea de dois ou mais tipos de energia a partir da mesma fonte energética.

Outra resolução importante, foi a REN 687/2015, uma atualização da REN 482/2012, que classifica a geração distribuída em Microgeração (até 75 kW) e Minigeração (acima de 75kW até 5MW). De acordo com essa REN, a possibilidade de injetar potência na rede elétrica é pelo sistema de compensação de energia, onde apura-se a energia gerada e consumida. Depois dessa apuração, geram-se créditos para o excedente: Quando a energia gerada em determinado mês for superior a energia consumida naquele período, a unidade consumidora fica com créditos para diminuir a fatura dos meses seguintes.

O prazo de validade dos créditos é de sessenta meses. Os créditos podem ser utilizados para abater o consumo de outra unidade consumidor da mesma classe e titularidade em outro local, desde que na mesma concessão da concessionária de energia, isso é denominado Autoconsumo Remoto.

Além disso, a REN 687/2015 permite a geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras.). Nesta modalidade a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores.

Denominada Geração Compartilhada, possibilita que diversos interessados se unam em um consórcio ou cooperativa, instalem um sistema de geração distribuída e utilizem os créditos de energia para redução das faturas dos consorciados ou cooperados. Para esta modalidade será necessário realizar contrato em cartório de consórcio ou cooperativa.

A partir da REN 687/2015 foi autorizada a instalação de geração distribuída em terrenos onde não possui construção (não consumo de energia elétrica), e compensar essa energia em outra unidade consumidora. Esse sistema beneficia quem não possui área disponível para instalação no local de consumo.

Algumas normas da ABNT são importantes no setor da geração distribuída, entre elas, têm-se:

- ABNT NBR 16149: Esta norma estabelece as recomendações específicas e requisitos mínimos para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica.
- ABNT NBR 16150: Esta norma especifica os procedimentos de ensaio para verificar se os equipamentos utilizados na interface de conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia e estão em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 16149
- ABNT NBR IEC 62116: O objetivo desta norma é fornecer um procedimento de ensaio para avaliar o desempenho das medidas de prevenção de ilhamento utilizada em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.
- ABNT NBR 16690: Estabelece os requisitos de projeto das instalações fotovoltaicas, incluindo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivo de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico.

## **2.11 Ferramenta computacional árvore de decisão (*Decision Tree Tool*)**

O programa *Decision Tree Tool*, desenvolvido pela iniciativa *RE-Powering America* da USEPA, guia através de um processo de identificação de locais adequados para possíveis instalações fotovoltaicas ou eólicas, com o objetivo de incentivar a energia renovável em terras já utilizadas ou degradadas, em vez de espaços verdes.

A ferramenta aborda os seguintes tipos de locais:

- Subutilizado (parcelas abandonadas, estacionamentos, zonas de amortecimento);
- Locais Potencialmente Contaminados (ex: Minas abandonadas);
- Aterros (Resíduos Sólidos Urbanos, construção e demolição ou unidade similar);
- Telhados (somente solar fotovoltaico; Telhados comerciais / industriais);

Com a utilização desse software é possível identificar se existem possíveis dificuldades ou barreiras a um futuro projeto solar ou eólico em um local de desejado, ou seja, é um software de decisão. Ele fornece:

- Um passo-a-passo através de todas as considerações fundamentais apresentadas para o desenvolvimento de energias renováveis no local;
- Recursos sugeridos para ajudar a responder perguntas de triagem para a avaliação do potencial do local;
- Relatórios com as possíveis respostas às perguntas dos questionamentos, descobertas iniciais sobre adequação e outros comentários gerais sobre a localidade;



O programa foi utilizado para avaliar a viabilidade técnica de uma instalação solar fotovoltaica através de uma série de perguntas, desenvolvidas por uma agência americana que estimula o desenvolvimento de energias renováveis.

Este software organiza as perguntas em:

- Características do local;
- Considerações sobre redesenvolvimento;
- Questões de contaminação e Aterro;
- Avaliação Financeira;

Por último, são apresentados o resumo e resultados.

## **2.12 Modelagem computacional consultiva do sistema (*System Advisor Model-SAM*) do NREL**

O *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) ou Laboratório Nacional de Energia Renovável é um laboratório localizado na cidade de Golden, Colorado, e que pertence ao Departamento de Energia dos Estados Unidos. Ele é o mais importante centro de pesquisa e desenvolvimento de energias renováveis e eficiência energética dos Estados Unidos (NREL, 2018).

O *System Advisor Model* (SAM) é um modelo financeiro e de desempenho projetado pela NREL para facilitar a tomada de decisões para as pessoas envolvidas no setor de energia renovável, como gerentes de projetos, engenheiros, analistas de políticas e desenvolvedores de tecnologia e pesquisadores (NREL, 2018).

O SAM faz previsões de desempenho e estimativas de custo de energia para projetos de energia conectados à rede com base nos custos de instalação e operação e nos parâmetros de projeto do sistema que são especificados como entradas para o modelo (NREL, 2018).

A primeira etapa na criação de um arquivo SAM é escolher uma opção de tecnologia para o projeto. O SAM preenche automaticamente as variáveis de entrada com um conjunto de valores padrão para o tipo de projeto. É responsabilidade de quem está fazendo o projeto revisar e modificar todos os dados de entrada conforme apropriado para cada objetivo. Em seguida, o usuário deve fornecer informações específicas sobre o projeto como, por exemplo, a localização do projeto, o tipo de equipamento no sistema.

Foi escolhido o modelo Fotovoltaico Detalhado para implementação deste estudo de caso. O modelo fotovoltaico detalhado calcula a potência elétrica de um sistema fotovoltaico conectado à rede usando modelos separados de módulo e inversor. Ele requer especificações

do módulo e do inversor, juntamente com informações sobre o número de módulos e inversores no sistema. O modelo também estima as perdas devido ao efeito da temperatura no desempenho do módulo e tem opções para calcular o sombreamento e outras perdas no sistema, além de incluir um assistente de dimensionamento do sistema para ajudá-lo a determinar o número de módulos e inversores no sistema (NREL, 2018b).

### **2.13 Financiamento**

Como citado anteriormente, por ainda possuir um custo final caro, é necessário achar formas de financiamento adequadas que atendam as necessidades dos produtores rurais. Nesta seção são apresentados dois tipos de financiamento existentes, o FNE Sol do Banco do Nordeste e o Pronaf do BNDES.

O FNE Sol tem como público-alvo todos os portes de empresas industriais, agroindustriais, comerciais e de prestação de serviços, produtores rurais e empresas rurais, cooperativas e associações legalmente constituídas e sua fonte de recursos é Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE). Os itens financiáveis são Todos os componentes dos sistemas de micro e minigeração de energia elétrica fotovoltaica, eólica, de biomassa ou pequenas centrais hidroelétricas (PCH), bem como sua instalação. Com prazos de até 12 anos, com carência de até 06 meses e limite de financiamento de até 100% do valor do investimento, a depender do porte e localização do cliente.

Os Juros e bônus de adimplência para o setor rural seguem conforme Resoluções do Conselho Monetário Nacional (CMN) nº 4.673 e nº 4.674, ambas de 26/06/2018 e dos demais setores, Conforme Resolução do Conselho Monetário Nacional (CMN) nº 4.672, de 26/06/2018 e conforme Lei Federal nº 13.682, de 19/06/2018. As garantias serão cumulativa ou alternativamente: Hipoteca; Alienação fiduciária; Fiança ou aval.

Agricultores e produtores rurais familiares, pessoas físicas, que apresentem Declaração de Aptidão ao PRONAF (DAP) válida, que cumpram os requisitos para enquadramento e que apresentem proposta ou projeto implantar, utilizar e/ou recuperar:

- Pequenos aproveitamentos hidroenergéticos;
- Tecnologias de energia renovável, como o uso da energia solar, da biomassa, eólica, miniusinas de biocombustíveis e a substituição de tecnologia de combustível fóssil por renovável nos equipamentos e máquinas agrícolas;
- Tecnologias ambientais, como estação de tratamentos de água, de dejetos e efluentes, compostagem e reciclagem;

- Projetos de adequação ambiental como implantação, conservação e expansão de sistemas de tratamento de efluentes, compostagem, desde que definida no projeto técnico a viabilidade econômica das atividades desenvolvidas na propriedade para pagamento do crédito;
- Adequação ou regularização das unidades familiares de produção à legislação ambiental, inclusive recuperação da reserva legal, áreas de preservação permanente, recuperação de áreas degradadas e implantação e melhoramento de planos de manejo florestal sustentável, desde que definida no projeto técnico a viabilidade econômica das atividades desenvolvidas na propriedade para pagamento do crédito;
- Implantação de viveiros de mudas de essências florestais e frutíferas fiscalizadas ou certificadas;
- Silvicultura, entendendo-se por silvicultura o ato de implantar ou manter povoamentos florestais geradores de diferentes produtos, madeireiros e não madeireiros

### **3. METEDOLOGIA**

Para um projeto de irrigação fotovoltaica foi utilizado uma propriedade rural do Zona Rural da cidade de Upanema no interior de Rio Grande Norte, esse produtor tem culturas de melão e melancia distribuídas em uma área total de 13 hectares e são utilizadas duas bombas de 15 cv cada para a irrigação dessas culturas. Além disso, também é feito um acréscimo de energia do sistema, visando atender não só o sistema de irrigação, mas também as duas residências do agricultor.

Primeiramente, foi utilizado o software Decision Tree Tool, para indicar uma viabilidade inicial do projeto, com algumas perguntas sendo respondidas sobre vários aspectos a serem considerados, as principais perguntas feitas pelo software são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- Perguntas e respostas utilizadas no Software *Decision Tree Tool*

Questão	Resposta do Usuário	Entrada de Valor	Comentários do usuário
<b>Características gerais do site</b>			
O local canto noroeste do estado de Washington ou no Alasca?	Não		O local está no Nordeste do Brasil
A distância até a transmissão e / ou linhas de distribuição é inferior a 1 milha?	Sim		
A distância para a estrada classificada é inferior a 1 milha?	Sim		
<b>Considerações sobre redesenvolvimento</b>			
O (s) proprietário (s) do local está interessado (a) em investir e / ou vender ou alugar o site para permitir o desenvolvimento de energia solar fotovoltaica?	Não		
Existe um plano de redesenvolvimento existente para o local ou está sendo desenvolvido?	Sim		
O local está isento de exclusões ou restrições de uso da terra que impediriam o uso de energia solar fotovoltaica na área útil ou no telhado?	Não		
O prédio no local permanecerá (não será demolido)?	Sim		
O prédio é menor ou igual a 3 andares de altura?	Sim		
O telhado existente permanecerá (não precisará ser substituído) nos próximos 25 anos?	Sim		
O telhado existente pode suportar o peso adicional do equipamento Solar PV (3-6 ft-lbs / sq. Ft.)?	Sim		
<b>Avaliação de carga e financeiro</b>			
A instalação com carga de energia no local estará operacional por pelo menos 20 anos?	Sim		
A medição de rede é permitida pela concessionária local?	Sim		
O preço de varejo da eletricidade para operações no local é maior que 32 centavos/ kWh?	Sim		

Fonte: *Decision Tree Tool*, 2019

Em seguida, foi utilizada uma planilha com dados técnicos para decidir os melhores parâmetros utilizados no projeto da geradora fotovoltaica e se obteve resultados como o número de placas, o número e tipo de inversores, custo médio da implantação.

É necessário consultar os dados da CRESESB para consultar os dados de irradiação

solar da região. A região mais próxima da propriedade rural é para um ponto na cidade Upanema-RN e foram obtidos os seguintes dados de irradiação para cada mês, mostradas na Tabela 2.

Média de irradiação solar mensal para cidade de Upanema - RN

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
5,98	5,99	6,03	5,78	5,38	5,05	5,29	5,98	6,38	6,57	6,53	6,04	5,92	1,52

Fonte: CRESESB 2019

Esses números de irradiação são para uma eficiência de 100% caso os painéis fossem instalados com uma angulação de 0° e uma orientação correta, mas geralmente os painéis são instalados com uma inclinação de aproximadamente 15 graus e orientação de 20 graus. Então se torna necessário fazer uma correção de desses valores para inclinação dos painéis e sua orientação virada pro Norte Geográfico.

De acordo com a Figura 16, por Upanema se encontrar numa latitude 5, os fatores de correção para cada mês estão indicados:

Figura 16 - Fatores de Correção dos Painéis

Latitude 5	INC.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
5 0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5 5	5	0,97	0,99	1	1,02	1,03	1,03	1,02	1,02	1	0,99	0,97	0,97
5 10	10	0,94	0,97	1	1,03	1,05	1,05	1,04	1,02	1	0,97	0,94	0,93
5 15	15	0,9	0,94	0,99	1,04	1,07	1,07	1,06	1,03	0,99	0,94	0,9	0,89
5 20	20	0,85	0,9	0,97	1,03	1,07	1,08	1,06	1,02	0,97	0,91	0,86	0,84
5 25	25	0,8	0,86	0,95	1,02	1,08	1,08	1,08	1,01	0,95	0,87	0,81	0,78
5 30	30	0,74	0,82	0,91	1,01	1,07	1,08	1,05	1	0,92	0,83	0,75	0,72
5 35	35	0,68	0,77	0,88	0,98	1,06	1,07	1,04	0,97	0,88	0,78	0,69	0,65
5 40	40	0,61	0,71	0,83	0,96	1,04	1,05	1,02	0,94	0,84	0,72	0,62	0,58
5 45	45	0,54	0,65	0,78	0,92	1,01	1,03	0,99	0,91	0,79	0,66	0,55	0,51
5 50	50	0,47	0,58	0,73	0,88	0,98	1	0,96	0,87	0,74	0,6	0,48	0,43
5 55	55	0,39	0,51	0,67	0,83	0,94	0,96	0,92	0,82	0,68	0,53	0,4	0,35
5 60	60	0,31	0,44	0,61	0,78	0,89	0,92	0,87	0,77	0,62	0,46	0,33	0,27
5 65	65	0,23	0,36	0,54	0,72	0,84	0,87	0,82	0,72	0,56	0,39	0,25	0,18
5 70	70	0,15	0,28	0,47	0,66	0,79	0,82	0,77	0,66	0,49	0,31	0,16	0,12
5 75	75	0,1	0,21	0,4	0,59	0,72	0,76	0,71	0,59	0,42	0,23	0,12	0,11
5 80	80	0,1	0,13	0,32	0,52	0,66	0,7	0,65	0,53	0,35	0,16	0,11	0,1
5 85	85	0,09	0,09	0,24	0,44	0,59	0,63	0,58	0,46	0,28	0,12	0,1	0,09
5 90	90	0,08	0,08	0,16	0,37	0,52	0,56	0,51	0,39	0,2	0,11	0,1	0,09

Fonte: NREL

O cálculo de Horas de Sol Pico (HSP) corrigido será dado pela equação:

$$HSP' = HSP \times K \times K_0 \quad (1)$$

A Tabela 3 mostra os resultados de Horas de Sol Pico para todos os meses do ano

Tabela 2 - Radiação solar HSP

Meses	Jan	Fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	Dez
HSP – Plano Horizontal CRESESB	5,98	5,99	6,03	5,78	5,38	5,05	5,29	5,98	6,38	6,57	6,53	6,04
Correção por inclinação (15°) (K)	0,9	0,94	0,99	1,04	1,07	1,07	1,06	1,03	0,99	0,94	0,9	0,89
Correção por orientação (20°) (K <sub>0</sub> )	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
HSP' Corrigido	<b>5,22</b>	<b>5,46</b>	<b>5,79</b>	<b>5,83</b>	<b>5,58</b>	<b>5,24</b>	<b>5,44</b>	<b>5,97</b>	<b>6,13</b>	<b>5,99</b>	<b>5,70</b>	<b>5,21</b>

Fonte: Autor

Com relação as perdas por temperatura, que são as mais significativas, principalmente em regiões muito quentes e secas como a nossa, os seguintes cálculos são feitos, onde primeiramente se calcula a temperatura ambiente somando a temperatura de instalação com a temperatura máxima e subtraindo da temperatura de teste. As temperaturas de instalação foram retiradas do site do INMET para a cidade de Upanema.

$$T_{amb} = (T_{inst} + T_{max}) - T_{stc} \quad (2)$$

Em seguida, através da temperatura ambiente dos painéis obtida, calcula-se o L<sup>o</sup>CP máximo, considerando a coeficiente de perda por temperatura informado pelo *datasheet* do painel fotovoltaico utilizado, como mostrado na Figura 17:

Figura 17 - Características do Painél utilizado

Temperatura de Operação(°C)	-40°C~+85°C
Tensão Máxima do Sistema	1000VDC (IEC)
Máxima Amperagem do Fusível	15A
Tolerância de potência	0~+3%
Coeficientes de temperatura de Pmax	-0.40%/°C

Fonte: Jinko Solar

$$L^{\circ}CP_{max} = T_{amb} \times \text{Coeficiente de temperatura} \quad (3)$$

Tabela 3 - Média mensal das temperaturas (INMET) e L<sup>°</sup>CPmáx

Meses	jan	Fev	mar	Abr	mai	Jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temperatura	29	30	30	29	27	27	27	29	29	29	29	29
Instalação em telhado com boa ventilação	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
$T_{amb} = (T_{inst} + T_{max}) - T_{stc}$	33	34	34	33	31	31	31	33	33	33	33	33
Coef Temp PV	-0,40%	-0,40%	-0,40%	-0,40%	-0,40%	-0,40%	-0,40%	-0,40%	-0,40%	-0,40%	-0,40%	-0,40%
L <sup>°</sup> CPmax	-13,20%	-13,60%	-13,60%	-13,20%	-12,40%	-12,40%	-12,40%	-13,20%	-13,20%	-13,20%	-13,20%	-13,20%

Fonte: Autor

A Tabela 4 mostra os fatores de perdas por temperatura de todos os meses. Após calcular o fator de perda pela temperatura, calcula-se a diferença do fator de perda total, subtraindo esse valor, temos na Tabela 5, mostra o rendimento de cada mês de acordo com as perdas por temperatura.

Tabela 4 - Fator de perda do sistema

Meses	Perda Total	$C_{total} - L^{\circ}CP_{m\acute{a}x}$
Janeiro	-13,20%	86,80%
Fevereiro	-13,60%	86,40%
Março	-13,60%	86,40%
Abril	-13,20%	86,80%
Maio	-12,40%	87,60%
Junho	-12,40%	87,60%
Julho	-12,40%	87,60%
Agosto	-13,20%	86,80%
Setembro	-13,20%	86,80%
Outubro	-13,20%	86,80%
Novembro	-13,20%	86,80%
Dezembro	-13,20%	86,80%

Fonte: Autor

Em seguida, se entra com o consumo das contas de energia para cada mês, esse consumo é o consumo total das bombas usadas para irrigação e os consumos das residências.

É necessário verificar se a rede possui ligação monofásica ou trifásica, para determinar o número de painéis a serem instalados.

O transformador monofásico é alimentado apenas por uma única fase, isto é, só tem um fio na parte de cima. A energia é fornecida através de três fios: Neutro, fase A e fase B. A energia monofásica é distribuída através de tomadas de uso doméstico comuns, e é utilizada para a alimentação de equipamentos do cotidiano, como notebooks, iluminação e televisões.

O transformador trifásico é alimentado por três fases, isto é, tem três fios na parte de cima. O fornecimento é feito a quatro fios: Neutro, fase A, fase B e fase V, isto é, entra na indústria ou estabelecimento quatro fios.

Três contratos possuem conexão trifásica e um monofásico, o custo mínimo de disponibilidade mensal é de 100 kWh para o trifásico e para o monofásico é 30 kWh, ou seja, esse valor é o mínimo que será consumido. Então por ano, são 3960 kWh consumidos. Logo, é necessário escolher um número  $x$  de painéis de forma que a diferença do consumo e da energia gerada por eles seja menor que 3960 kWh anualmente, já que esse é o mínimo que tem que ser consumido, e essa energia residual de um mês, poderá ser usada pelos próximos



dois meses subsequentes.

São definidos 80 painéis, cada um com potência de 335 Watts, totalizando 26,8 kiloWatts e é utilizada a seguinte equação para obter a energia gerada mensalmente, para em seguida saber a diferença entre a geração e o consumo.

Para se calcular a energia consumida, foram utilizadas quatro contas contrato, duas de bombeamento para irrigação e duas de consumo residencial. Dentre esses quatro contratos, um é monofásico e os outros são trifásicos. Nas Contas Contrato das bombas, para o mês de Maio, onde o consumo está abaixo do padrão, foi escolhido um valor de consumo médio do mesmo contrato. As Figuras 18 e 19, mostram os consumos de cada conta contrato utilizada.

Figura 18 - Consumo das residências

HISTÓRICO DO CONSUMO			HISTÓRICO DO CONSUMO		
		kWh			kWh
MAR 19		253	MAR 19		253
FEV 19		207	FEV 19		207
JAN 19		206	JAN 19		206
DEZ 18		234	DEZ 18		234
NOV 18		246	NOV 18		246
OUT 18		310	OUT 18		310
SET 18		300	SET 18		300
AGO 18		303	AGO 18		303
JUL 18		273	JUL 18		273
JUN 18		281	JUN 18		281
MAI 18		257	MAI 18		257
ABR 18		230	ABR 18		230
MAR 18		249	MAR 18		249

Fonte: Cosern, 2019

Figura 19 - Consumo das bombas

HISTÓRICO DO CONSUMO			HISTÓRICO DO CONSUMO		
		kWh			kWh
MAR 19		100	ABR 19		929
FEV 19		980	MAR 19		647
JAN 19		987	FEV 19		744
DEZ 18		1603	JAN 19		848
NOV 18		2057	DEZ 18		1645
OUT 18		1546	NOV 18		1813
SET 18		1704	OUT 18		2073
AGO 18		5822	SET 18		2157
JUL 18		2553	AGO 18		2361
JUN 18		1435	JUL 18		2360
MAI 18		159	JUN 18		741
ABR 18		328	MAI 18		104
MAR 18		1520	ABR 18		469

Fonte: Cosern, 2019

Assim, o consumo total de cada mês é mostrado na Tabela 6

Tabela 5 - Consumo Mensal Total

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Consumo mensal(kWh)</b>	2174	2079	2567	3665	3706	2588	5314	8624	4322	4066	4257	3625	46987

Fonte: Autor

Em seguida, é necessário calcular a potência gerada em cada mês, o cálculo é feito da seguinte maneira:

$$\text{Potência real em kW} = Wp \times \text{número de painéis} \times C_{total} \times HSP' \times \text{dia por mês} \quad (4)$$

Tabela 6 - Potência Real em kW de cada mês

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Potência Real(kW)	3764,7	3541,1	4156,6	4069,2	4063,9	3691,5	3958,5	4308,5	4275,7	4320,0	3978,4	3760,2
Dias por mês	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

Fonte: Autor

Tabela 7 - Diferença entre consumo e geração de cada mês

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma
Consumo	2174	2079	4379	2739	2780	2588	5314	8624	4322	4066	4257	3625	46947
Geração	3764,7	3541,1	4156,6	4069,2	4063,9	3691,5	3958,5	4308,5	4275,7	4320,0	3978,4	3760,2	47888,2
Diferença	-1590,7	-1462,1	222,4	-1330,2	-1283,9	-1103,5	1355,5	4315,5	46,3	-254,0	278,6	-135,2	-941,2

Fonte: Autor

As Tabelas 7 e 8 apresentam, respectivamente, as potência real em Kw de cada mês gerados pelos painéis fotovoltaicos e a diferença entre consumo e geração de cada mês.

### 3.1 Investimento

Calculando um investimento médio que precisará ser feito para compra e instalação dos módulos, inversor e equipamentos elétricos e estruturais, juntamente com o preço do frete, custo da instalação e o lucro que a empresa precisará ter. De acordo com os dados dessa empresa que fornece os materiais elétricos necessários, esse é o valor do kit para 96 módulos e um inversor de 25000 Watts, o preço total do kit é mostrado na Figura 20.

Logo é necessário fazer uma regra de três simples para o caso estudado, que são de 80 módulos, já que o inversor usado é o mesmo, o preço total ficará de 63.706,6 reais.

$$\frac{96}{80} = \frac{76.447,92}{x} \rightarrow x = 63.706,60 \quad (5)$$

Figura 20 - Preço do Kit para 96 Módulos e inversor 25000 Watts

<b>Opções de Parcelamento no Cartão</b>		
Parcelas	TOTAL	Vir. Parcela
3x sem juros	R\$ 76.447,92	R\$ 25.482,64
<b>Financiamento Santander</b>		
4x parcelas	R\$ 76.024,40	R\$ 19.006,10
6x parcelas	R\$ 77.437,69	R\$ 12.906,28
9x parcelas	R\$ 79.618,63	R\$ 8.846,51
12x parcelas	R\$ 81.878,01	R\$ 6.823,17
18x parcelas	R\$ 86.619,01	R\$ 4.812,17
24x parcelas	R\$ 91.682,46	R\$ 3.820,10
30x parcelas	R\$ 97.085,80	R\$ 3.236,19
36x parcelas	R\$ 102.750,59	R\$ 2.854,18
<b>Outras condições solicitar o simulador Santander</b>		
<b>* Sujeito a aprovação de crédito</b>		
<b>Pagamento à Vista</b>		
Depósito Antecipado	R\$ 72.625,52	

Fonte: PHB

Para se calcular o investimento total, é necessário fazer o seguinte cálculo, que geralmente é feito por empresas do setor de energia solar fotovoltaica de mini e microgeração distribuída:

$$\text{Preço Total} = \text{Material} + 0,5 \times \text{Material} + 0,048 \times \text{Material} \quad (6)$$

A segunda parcela da equação é equivalente à instalação do material, custo do serviço e lucro da empresa e última parte da equação equivale ao preço do frete.

$$\text{Preço total} = 63.706,6 + (0,5 \times 63.706,6) + (0,048 \times 63.706,6) = 98.617,82 \text{ R\$}$$

Em seguida é calculado o valor recuperado em reais no primeiro ano de utilização, multiplicando o preço do kWh pela quantidade de energia gerada durante o primeiro ano, ano o qual tenderá a gerar mais energia, pois os módulos ainda não sofreram efeitos significativos de perda.

$$\text{kWh/ano Recuperado} = \text{Custo do kWh} \times \text{kWh ano} \quad (7)$$

É possível obter o valor do kWh/ano Recuperado no período de 25 anos, que é o tempo médio de vida útil de uma célula fotovoltaica, basta multiplicar a quantidade do kWh/ano recuperado do ano anterior pelo novo rendimento dos módulos de acordo com as perdas, que são de 0,5% por não de funcionamento.

Para estimar o valor do kWh acumulado durante os primeiros vinte e cinco anos de funcionamento, é necessário estimar uma inflamação média, que no caso utilizado foi de 12,14% que é uma média da inflação entre os anos de 2005 e 2017, para então calcular o valor de kWh, multiplica o valor do kWh do ano anterior pelo valor da inflação.

Sabendo os valores do kWh durante os vinte e cinco anos, calcula-se o valor total acumulado para, em seguida, calcular o valor da energia a ser paga dividindo o valor total do investimento pelo retorno financeiro acumulado nos vinte e cinco anos.

Ainda é possível calcular a taxa de retorno do investimento, dividindo o valor do kWh/ano recuperado do ano em questão pelo valor total do investimento.

Tabela 8 - Visão geral do Investimento e Retorno em 25 anos

ANO	KWh/ano RECUPERADO	PERDA POR ENVELHECIMENTO	Valor do KWh	VALOR DO KWh/ano RECUPERADO	MÉDIA INFLAÇÃO	ACUMULADO	TAXA DE RETORNO
1	30.508,96	0,50%	0,63709	19.436,88	12,14%		19,71%
2	30.356,42	0,50%	0,714430012	21.687,54	12,14%	19.436,88	21,99%
3	30.204,64	0,50%	0,801161816	24.198,80	12,14%	41.124,42	24,54%
4	30.053,61	0,50%	0,89842286	27.000,85	12,14%	65.323,22	27,38%
5	29.903,34	0,50%	1,007491395	30.127,36	12,14%	92.324,07	30,55%
6	29.753,83	0,50%	1,129800851	33.615,90	12,14%	122.451,43	34,09%
7	29.605,06	0,50%	1,266958674	37.508,39	12,14%	156.067,33	38,03%
8	29.457,03	0,50%	1,420767457	41.851,59	12,14%	193.575,71	42,44%
9	29.309,75	0,50%	1,593248626	46.697,72	12,14%	235.427,31	47,35%
10	29.163,20	0,50%	1,78666901	52.104,98	12,14%	282.125,02	52,84%
11	29.017,38	0,50%	2,003570627	58.138,38	12,14%	334.230,01	58,95%
12	28.872,30	0,50%	2,246804101	64.870,39	12,14%	392.368,38	65,78%
13	28.727,93	0,50%	2,519566119	72.381,93	12,14%	457.238,78	73,40%
14	28.584,29	0,50%	2,825441446	80.763,25	12,14%	529.620,71	81,90%
15	28.441,37	0,50%	3,168450038	90.115,07	12,14%	610.383,96	91,38%
16	28.299,17	0,50%	3,553099872	100.549,76	12,14%	700.499,03	101,96%
17	28.157,67	0,50%	3,984446197	112.192,72	12,14%	801.048,79	113,77%
18	28.016,88	0,50%	4,468157965	125.183,86	12,14%	913.241,52	126,94%
19	27.876,80	0,50%	5,010592342	139.679,27	12,14%	1.038.425,37	141,64%
20	27.737,41	0,50%	5,618878253	155.853,15	12,14%	1.178.104,64	158,04%
21	27.598,73	0,50%	6,301010072	173.899,86	12,14%	1.333.957,79	176,34%
22	27.460,73	0,50%	7,065952695	194.036,24	12,14%	1.507.857,65	196,76%
23	27.323,43	0,50%	7,923759353	216.504,28	12,14%	1.701.893,89	219,54%
24	27.186,81	0,50%	8,885703738	241.573,96	12,14%	1.918.398,17	244,96%
25	27.050,88	0,50%	9,964428172	269.546,53	12,14%	2.159.972,13	273,32%

Fonte: Autor

Assim, o valor total acumulado é 2.429.518,67 reais, dividindo o valor total do investimento por total acumulado, sendo assim o novo valor do kWh seria de 0,04 centavos. Com uma taxa média de retorno de 101,83% ano a ano, excluindo os custos de manutenção

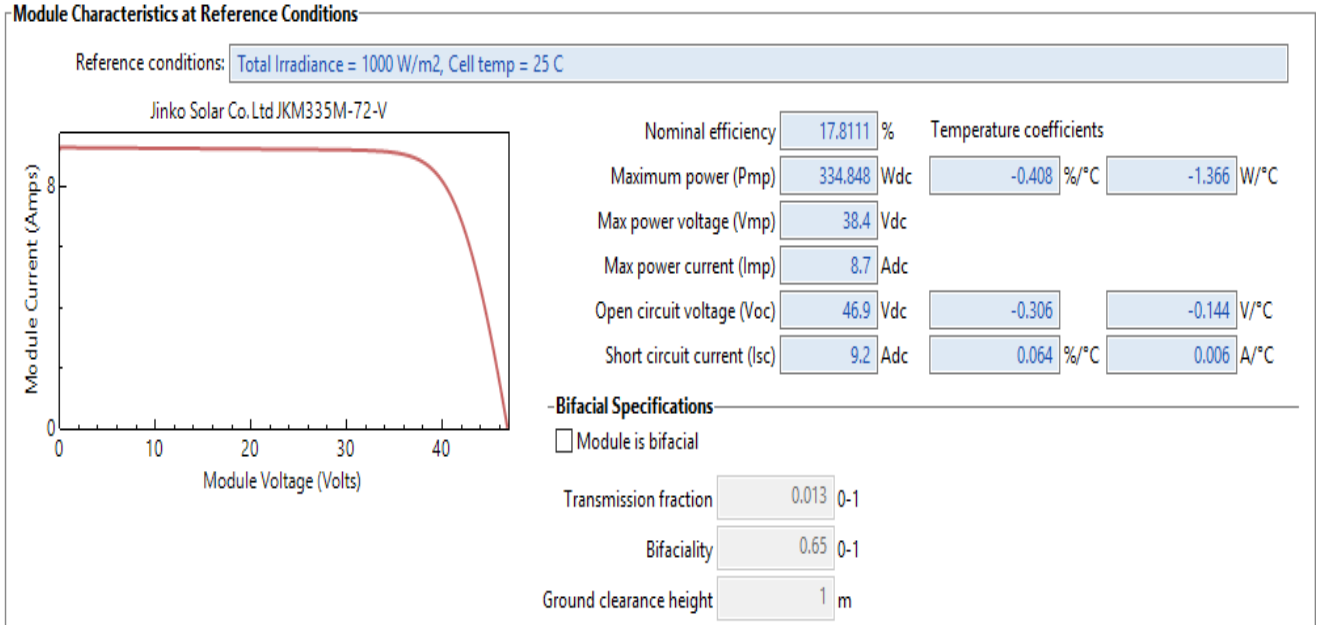
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As respostas de saída do *Decision Tree Tool* para a utilização do SFVI na propriedade foram positivas, mas bastante abrangentes e não conclusivas. O que o programa recomenda como próximos passos a serem tomados, são os seguintes:

- Procurar um desenvolvedor qualificado para buscar um estudo de viabilidade mais aprofundado;
- Iniciar/continuar os esforços de envolvimento da comunidade para confirmar que a energia renovável é preferida e compatível com a visão da comunidade e / ou plano de redensolvimento;
- Considerar quem vai comprar ou usar o poder do sistema de energia renovável e os mecanismos para tais acordos (por exemplo, um contrato de compra de energia);
- Buscar opções de financiamento e uma análise econômica mais detalhada do custo esperado, retorno financeiro e retorno projetado da nova instalação;
- Explore estratégias para aprimorar seu projeto que poderia incluir:
  - Oportunidades para aquisição colaborativa;
  - Oportunidades para também incluir outras tecnologias ambientais e de economia de energia , e o uso de remediação verde, eficiência energética, etc;

Utilizando o software *System Advisor Model* (SAM), é escolhido os mesmos modelos de módulos e inversor utilizados no projeto, ou, no caso do inversor, como o software não possui o inversor utilizado catalogado, pode-se escolher outro com as mesmas características utilizados no projeto. Foram escolhidos módulos com potência de 335 Wp e um inversor de 25000 W.

Figura 21 - Características dos Módulos.



Fonte: System Advisor Model

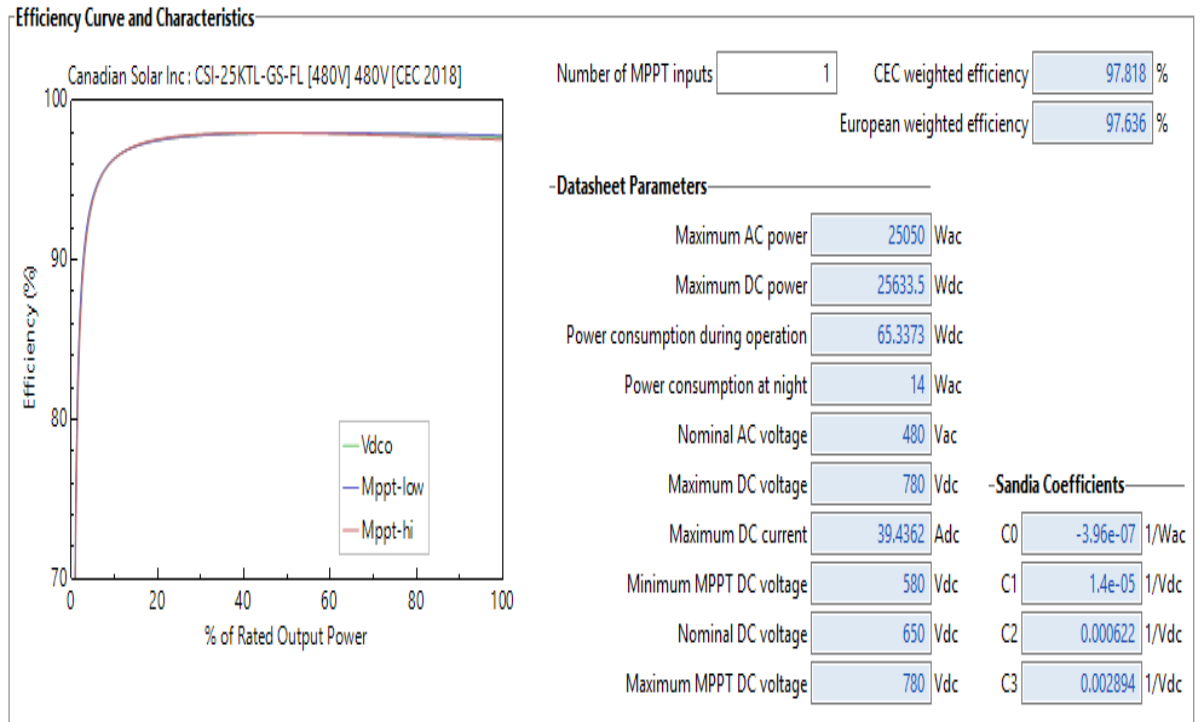
Figura 22 - Datasheet dos Módulos

SPECIFICATIONS										
Module Type	JKM330M-72-V		JKM335M-72-V		JKM340M-72-V		JKM345M-72-V		JKM350M-72-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	330Wp	246Wp	335Wp	250Wp	340Wp	254Wp	345Wp	258Wp	350Wp	262Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	38.2V	36.4V	38.4V	36.6V	38.7V	36.8V	38.9V	37.0V	39.1V	37.2V
Maximum Power Current (Imp)	8.64A	6.75A	8.72A	6.82A	8.79A	6.89A	8.87A	6.98A	8.94A	7.05A
Open-circuit Voltage (Voc)	46.7V	44.8V	46.9V	45.2V	47.1V	45.5V	47.3V	45.8V	47.5V	46.0V
Short-circuit Current (Isc)	9.11A	7.24A	9.18A	7.29A	9.24A	7.33A	9.31A	7.38A	9.38A	7.46A

Fonte: Jinko Solar

As especificações dos dados mostrados no *datasheet*, apresentados na Figura 22 são semelhantes com os dados utilizados pelo software, mostrado na Figura 21, o que induz a convergência dos resultados. Apenas o inversor utilizado na simulação não é o mesmo utilizado pelo SAM, apesar de ambos serem de 25000 Watts, isso induz um pouco a divergência de resultados. A figura 23 mostra as características do inversor apresentadas pelo SAM.

Figura 23 - Características do Inversor

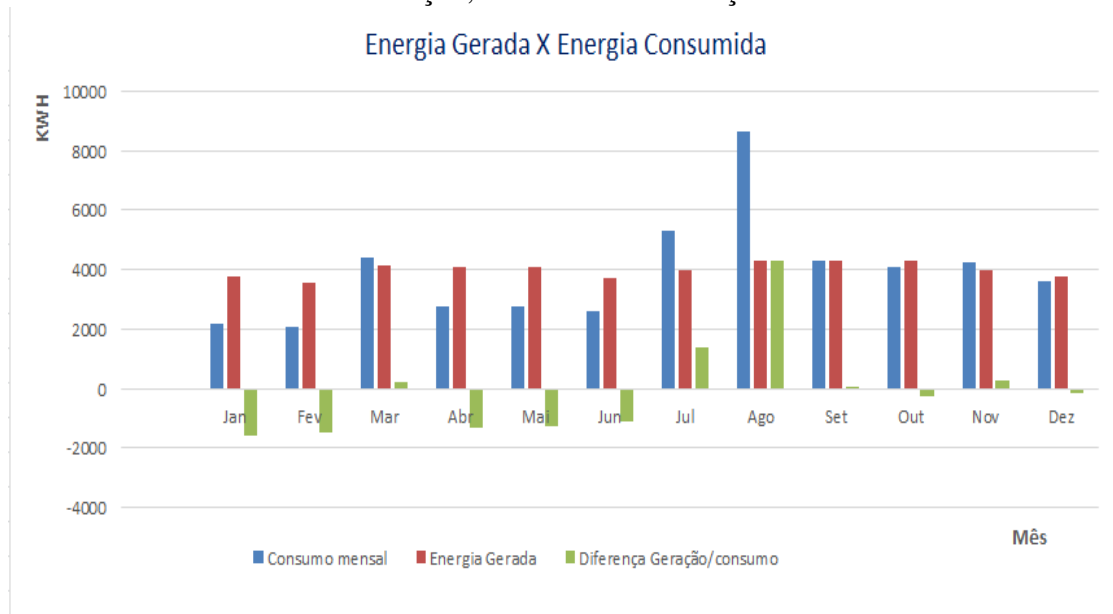


Fonte: *System Advisor Model*

Comparando os gráficos de geração obtidos em planilha e pelo *System Advisor Model*, utilizando os mesmos 80 módulos e o mesmo inversor nos dois programas, eles possuem as mesmas características de geração conforme o período, porém a energia gerada pelo sistema proposto pelo SAM, é menor que a apresentada pelo excel.

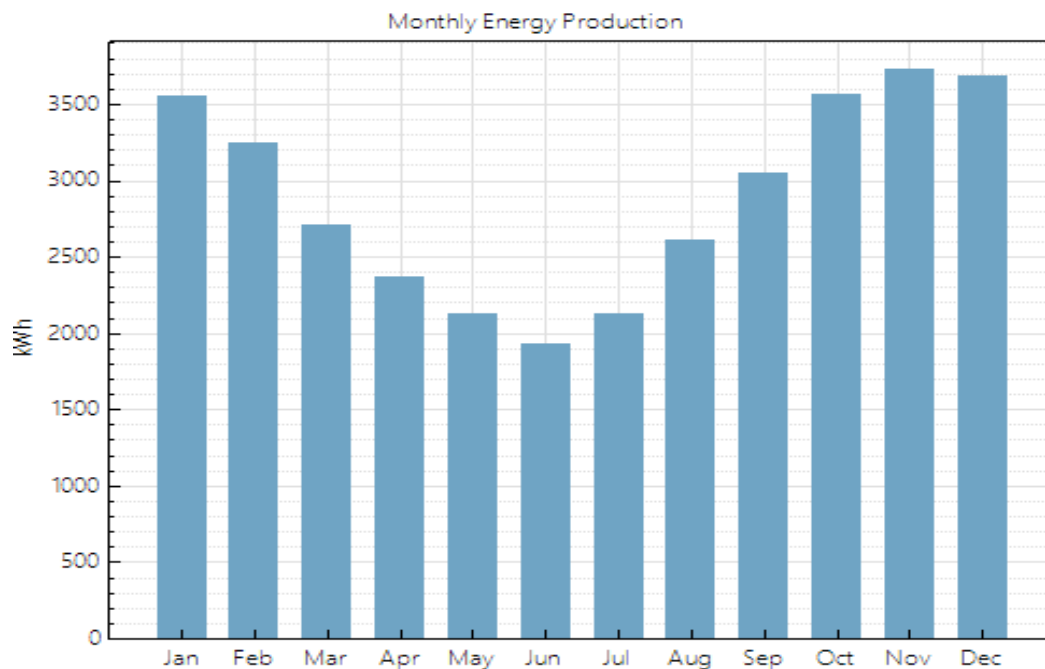
Uma possível explicação para esse fenômeno, é o fato do SAM ser um software desenvolvido nos Estados Unidos, e os dados de irradiação solar utilizados para nossa região ainda são bastante escassos.

Gráfico 1 – Geração, Consumo e diferença entre os dois



Fonte: Autor

Gráfico 2 - Produção de energia mensal

Fonte: *System Advisor Model*

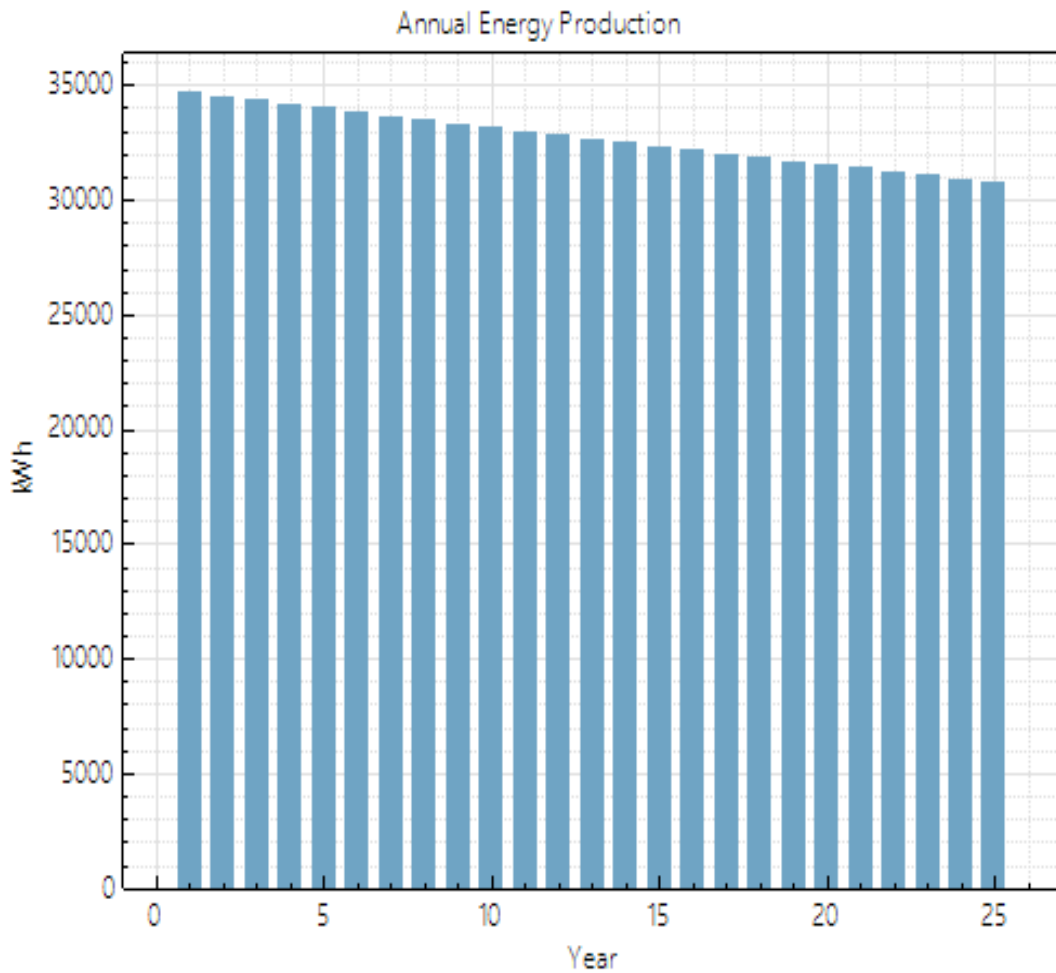
Ambos os Gráficos, 1 e 2, possuem a mesma tendência, com os meses de Junho e Julho, apresentando a baixa geração de energia, mas no SAM essa diferença é muito maior em comparação com os outros meses.



Com relação à geração, os resultados apresentados pelo SAM são todos menores que os apresentados em planilha, para todos os meses. O que mais se aproximam é o dos meses de Janeiro e os que mais se distanciam são os dos meses de Junho.

As perdas seguem um padrão semelhante para os dois sistemas, com perda de 0,5% anual durante os vinte e cinco anos de funcionamento, conforme o Gráfico 3 gerado pelo SAM.

Gráfico 3 – Produção de energia com as perdas conforme os anos



Fonte: *System Advisor Model*

## 5. CONCLUSÃO

O acesso à energia elétrica é um acelerador importante para o desenvolvimento humano, econômico e social. Nas regiões rurais, as formas de geração, transmissão e distribuição convencionais são muitas vezes inviáveis por razões econômicas, técnicas e ambientais. A falta de acesso a fontes modernas de energia desacelera o crescimento econômico das regiões rurais.

O uso de água na irrigação é de vital importância para o desenvolvimento das regiões rurais, pois a maioria depende da atividade agrícola. A escassez de água reduz a capacidade de produção dos campos agrícolas e uma possível diversificação de produção de culturas, o que traria desenvolvimento econômico.

As diferentes configurações dos sistemas fotovoltaicos de irrigação mostraram que a tecnologia apresenta bom desempenho, simplicidade de uso e compatibilidade com as técnicas agrícolas locais. Para que a utilização de um SFVI seja viável, é importante oferecer sistemas adequados à necessidade de cada produtor (potência, custo e compatibilidade com o tipo de produção).

Para todo esse cenário de desenvolvimento econômico e social acontecer devido a implementação de SFVI, garantir o aumento da renda dos produtores rurais. Como toda comunidade tem suas peculiaridades é complicado dizer um sistema de financiamento único. Mesmo assim, a venda do sistema em parcelas (com ou sem subsídios) parece ser a mais adequada em termos de sustentabilidade. Recomenda-se que o sistema de pagamento deve levar em conta a capacidade de pagamento do beneficiário para determinar o período de carência, a taxa de juros e a frequência de pagamento. É importante aplicar baixos juros, permitir reajustes nos pagamentos se o usuário tiver a capacidade de reduzir o período de pagamento e ampliar o sistema de crédito para que o usuário possa adquirir também matérias-primas e outros equipamentos necessários para a produção.

Finalmente, pode-se afirmar que a tecnologia dos SFVI apresenta uma enorme potencialidade de uso, mas é preciso cautela na forma como são planejados e conduzidos os projetos, tanto de forma técnica quanto financeira para que não haja prejuízo para os produtores rurais.

## 6. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída**. 2. ed. Brasília, 2016.

ANDRADE, C. L. T. **Seleção do sistema de irrigação**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG, p. 1-16. 2001

COSTA, H.; ARAUJO, K.; COSTA, G. N. “Água do sol” – uso da energia solar fotovoltaica na pequena irrigação de base familiar no semi-árido brasileiro. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente – AVERMA**, Argentina, v. 10, 2006

DGS - **German Solar Energy Society. Planning and Installing Photovoltaic Systems**. 2013.

DUFFIE, J.; BECKMAN, W.; **Solar Engineering of Thermal Processes**, Quarta Edição; John Wiley & Sons, Inc.; Madison, WI, 2013.

HANSEN, V. E.; ISRAELSEN, O. W.; SRINGHAM, G. E. **Irrigation Principles and Practices**. 4. ed. John Wiley & Sons, 1979.

LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. **Microirrigation for Crop Production: design, operation, and management**. 1. ed. Elsevier Science. 2007.

LOSADA-VILLASANTE, A. **Riegos – Fundamentos hidrológicos, métodos de aplicación**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos - Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 1992. ISBN 84.600-7900-7.

NATE BLAIR. **National Renewable Energy Laboratory**. Washington, 2018.

OLIVEIRA, R. **Irrigação em pequenas e medias propriedades**. 1. ed. Centro de Produções Técnicas. Viscoça. 2007.

PEREIRA, E. B; MARTINS, F.R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CRESESB. 2014

RANK, N. I; ARAÚJO, A. J. N; BUENO, T. B. A. **Análises dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados á rede elétrica em curitiba**. Curitiba. 2016

RÜTHER, R.. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. 1. ed. Florianópolis – SC: LABSOLAR/UFSC, 2004.

SANTOS, F. J. et al. **Irrigação localizada: microirrigação**. EMBRAPA-CNPAT/SEBRAE/CE. Fortaleza, CE, p. 48. 1997.

SCHMIDT, R. et al. **Desarrollo y experiencias de sistemas de bombeo fotovoltaico para aplicaciones de riego tecnificado en la agricultura**, Data indefinida.

VIANA, J. J. **Administração de materiais: um enfoque prático**. São Paulo: Atlas, 2010

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1ª ed. Editora Érica, São Paulo, 2012.