



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

MATHEUS DE SOUZA RIBEIRO



Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PROJETO E ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS ISOLADOS EM MÓDULOS FLORESTAIS



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2017

MATHEUS DE SOUZA RIBEIRO

PROJETO E ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS ISOLADOS EM MÓDULOS FLORESTAIS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande como  
parte dos requisitos necessários para a obtenção do  
grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de Energia e Fontes Renováveis

Orientador:

Professor Ubirajara Rocha Meira, M. Sc.

Campina Grande  
2017

MATHEUS DE SOUZA RIBEIRO

PROJETO E ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS  
FOTOVOLTAICOS ISOLADOS EM MÓDULOS FLORESTAIS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de Energia e Fontes Renováveis

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Ubirajara Rocha Meira, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a todos aqueles que buscam tornar o mundo um lugar melhor para se viver.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e pelo dom da perseverança, que me permitiu concluir este trabalho.

Agradeço também à minha mãe, Eva Maria, e meu pai, Francisco Solano, por ter se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por ter me alimentado com saúde, força e coragem, as quais que foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço também a toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Agradeço a Suzano Papel e Celulose SA e, em especial, por toda equipe florestal e de suprimentos que deram apoio para levantamento desse projeto.

Agradeço ao meu Orientador Ubirajara Meira por todo o apoio que foi dado e conselhos durante toda a graduação.

Agradeço aos meus professores do departamento de elétrica que me ajudaram a construir uma ótima base de conhecimento acadêmico que é de grande valia no mercado de trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Eu não tenho ídolos.  
Tenho admiração por  
trabalho, dedicação  
e competência. “*

Ayrton Senna.

## RESUMO

A recente diminuição dos custos para implementação de geração solar, o Brasil torna-se o país um dos locais mais atrativos para utilização da tecnologia fotovoltaica. No interior do estado do Maranhão tem-se a dificuldade para o acesso à rede elétrica básica em regiões rurais e com isso, a busca por formas alternativas de energia elétrica é imprescindível para a utilização de recursos mecânicos e elétricos nesses locais e, conseqüentemente, realização de atividades automatizadas e que buscam a melhoria e lucro contínuo. Os módulos florestais usados como base nesse trabalho são os módulos da Suzano Papel e Celulose SA que servem como apoio para colheita de Eucalipto nas fazendas no interior do Maranhão e do Pará. Os módulos florestais são considerados a parte primordial na colheita de Eucalipto que se trata da matéria-prima essencial para produção de celulose de uma das maiores empresas produtoras de papel e exportadora de celulose do Brasil, sendo base de apoio para toda equipe que realiza a corte, colheita e transporte do Eucalipto para Fábrica localizada na cidade de Imperatriz - MA. Situados em locais remotos onde não se tem acesso à rede elétrica, necessitam de energia elétrica para iluminação e utilização de equipamentos de apoio e com isso utiliza-se do recurso de geradores à diesel para geração de energia elétrica através de contratos terceirizados. Visando buscar o lucro tem-se a proposta de primarização do fornecimento de energia utilizando-se duas alternativas: geração solar ou a geração à diesel (já existente). Como forma de mensurar a viabilidade do projeto foi utilizado indicadores de viabilidade econômica muito difundidos no ramo empresarial como, por exemplo, Payback para indicar a viabilidade econômica do projeto de geração solar.

**Palavras-chave:** Geração Solar, Fotovoltaica, Áreas Remotas, Viabilidade Econômica, Payback.

## ABSTRACT

The recent decrease in costs for the implementation of solar generation, Brazil becomes the country one of the most attractive places to use photovoltaic technology. Within the state of Maranhão, there is the difficulty of access to the basic electricity grid in rural areas and with this, the search for alternative forms of electric energy is essential for the use of mechanical and electrical resources in these places and, consequently, of automated activities that seek improvement and continuous profit. The forest modules used as a basis for this work are the Suzano Pulp and Paper modules that serve as support for eucalyptus harvesting in farms in the interior of Maranhão and Pará. Forest modules are considered the primordial part of the Eucalyptus harvest in question of the essential raw material for the production of pulp from one of the largest pulp producers and exporters of pulp in Brazil. It is a support base for all the staff that performs the cutting, harvesting and transportation of Eucalyptus to the Factory located in the city of Imperatriz - MA. Located in remote places where there is no access to the electricity grid, they need electricity for lighting and use of support equipment and with this, the use of diesel generators is used to generate electricity through outsourced contracts. Aiming to obtain the profit has the proposal of primary energy supply using two alternatives: solar generation or diesel generation (already existing). As a way of measuring the feasibility of the project, economic viability indicators were used that were very widespread in the business sector, such as Payback

**Keywords:** Solar Generation, Photovoltaic, Remote Areas, Economic Feasibility, Payback.



# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa Solar Brasileiro.....	18
Figura 2 – Diagrama Sistema Solar FV <i>On-Grid</i> ( <i>Conectado</i> ) .....	20
Figura 3 – Diagrama Solar FV <i>Off-Grid</i> ( <i>Isolado</i> ) .....	20
Figura 4 – Configuração Pannel Fotovoltaico .....	21
Figura 5 – Estrutura Célula Fotovoltaica .....	22
Figura 6 – Circuito equivalente básico para uma célula fotovoltaica.....	24
Figura 7 – Potência elétrica em função da tensão elétrica de uma célula fotovoltaica de silício cristalino de 156 mm x 156 mm, sob condições-padrão de ensaio. ....	25
Figura 8 – Inversor Solar <i>Off-Grid</i> .....	26
Figura 9 – Descarga <i>versus</i> Vida Útil em Bateria Estacionária.....	27
Figura 10 – Bateria Estacionária Chumbo-Acido 220Ah .....	27
Figura 11 – Controlador de Carga MPPT .....	28
Figura 12 – Gerador à Diesel .....	29
Figura 13 – Módulo de Colheita .....	34
Figura 14 – Localização dos Módulos de Colheita.....	35
Figura 15 – Irradiação Solar no Plano Inclinado – Imperatriz - MA.....	37
Figura 16 – Fluxo de Desembolso Atual de Fornecimento de Energia Elétrica.....	41
Figura 17 – Fluxo de Desembolso para Geração Solar.....	41
Figura 18 – Fluxo de Desembolso para Grupo Gerador .....	42
Figura 19 – Payback Descontado de Projeto de Primarização para Geração à Diesel e Geração Solar.....	43
Figura 20 – Ambiente Climatizado com Indicadores .....	49
Figura 21 – Escritório Administrativo .....	49
Figura 22 – Refeitório com capacidade para 24 Pessoas.....	50
Figura 23 – Banheiro Social Masculino.....	50

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência dos tipos de materiais que constituem uma célula solar .....	23
Tabela 2 – Coordenadas Geográfica da Unidade Industrial Suzano Imperatriz .....	36
Tabela 3 – Irradiação Solar Diária (Média Mensal) (kWh/m <sup>2</sup> . dia).....	36
Tabela 4 – Levantamento de Consumo de Cargas.....	38
Tabela 5 – Orçamento dos Componentes de Geração Fotovoltaica Isolada.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CdS	Sufeto de Cádmió
CONFINS	Contribuição de Financiamento de Seguridade Social
CRESESB	Centro de Referência de Energia Solar e Éolica Sérgio de S. Brito
DOE	Department of Energy (Departamento de Energia dos EUA)
EUA	Estados Unidos da América
FDI	Fator de Dimensionamento de Inversores
FF	Fator de Forma
FV	Fotovoltaico
IEE	Instituto de Energia e Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MIGDI	Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia
MPPT	Maximum Power Point Tracking
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PIS	Programa de Integração Social
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica da ANEEL
RN	Resolução Normativa
SIGFI	Sistema Individualizado de Geração de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
VSI	Inversor de Tensão

# SUMÁRIO

Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vii
Abstract .....	viii
Lista de Ilustrações .....	ix
Lista de Tabelas .....	x
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xi
Sumário .....	xii
1 Introdução .....	14
1.1 Objetivo .....	15
1.2 Organização do Trabalho .....	16
2 Revisão Bibliográfica.....	17
2.1 Fonte de Energia: O sol .....	17
2.1.1 O cenário Solar Brasileiro.....	17
2.2 Tipos Construtivos de Sistemas Fotovoltaicos.....	19
2.2.1 Sistema Solar <i>On-Grid</i> .....	19
2.2.2 Sistema Solar <i>Off-Grid</i> .....	20
2.3 Componentes de um sistema fotovoltaico <i>off-grid</i> .....	21
2.3.1 Pannel Fotovoltaico .....	21
2.3.2 Inversor de Frequência.....	25
2.3.3 Banco de Baterias .....	26
2.3.4 Controlador de Carga.....	28
2.3.5 Gerador de Emergência.....	29
2.3.6 Dispositivo de Proteção .....	30
2.3.7 Aterramento .....	30
2.4 Normas Técnicas de Projeto.....	31
2.5 Indicadores para análise de viabilidade econômica.....	31
2.5.1 Fluxo de caixa .....	31
2.5.2 Valor presente líquido (VPL).....	32
2.5.3 <i>Payback</i> .....	32
3 Metodologia .....	33
4 Resultados .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Escopo Atual .....	34
4.2 Local de Instalação dos Painéis.....	35
4.3 Levantamento da Radiação Solar .....	36
4.4 Levantamento de Cargas .....	37
4.5 Dimensionamento e Orçamento de Componentes .....	39
4.6 Fluxo de Caixa dos Projetos.....	40
4.6.1 Contrato Atual.....	40

4.6.2	Painel Fotovoltaico Off-Grid .....	41
4.6.3	Gerador à Diesel .....	42
4.7	Payback Descontado .....	42
5	Conclusão .....	44
5.1	Sugestão para Trabalhos futuros .....	46
	Referências .....	47
	Anexo A – Estrutura dos Módulos Florestais .....	49

# 1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial possibilitou a automatização de processos e atividades que antes eram realizados pelo homem foram substituídas por máquinas a vapor e posteriormente por máquinas elétricas, atividades simples como apertar um parafuso até realizar cortes com precisão de 0,01 mm.

Módulos florestais tratam-se de base de colheita e de apoio utilizadas por empresas de grande porte para produção de madeira e outros insumos nas florestas, onde pode-se analisar desde dados de uma pequena muda até as propriedades do solo e do ar de determinada área em que se tem a plantação.

Os módulos florestais usados como base nesse trabalho são os módulos da Suzano Papel e Celulose SA que servem como apoio para colheita de Eucalipto nas fazendas no interior do Maranhão e do Pará.

Os módulos florestais são considerados a parte primordial na colheita de Eucalipto que se trata da matéria-prima essencial para produção de celulose de uma das maiores empresas produtoras de papel e exportadora de celulose do Brasil, sendo base de apoio para toda equipe que realiza a corte, colheita e transporte do Eucalipto para Fábrica localizada na cidade de Imperatriz - MA.

Situados em locais remotos onde não se tem acesso à rede elétrica os módulos utilizam necessitam de energia elétrica para iluminação e utilização de equipamentos de apoio e com isso utiliza-se do recurso de geradores à diesel para geração de energia elétrica. Empresas que possuem bases florestais possuem a preocupação de buscar uma imagem de que se trata de uma empresa que é parte da sociedade que também se preocupa com o meio ambiente e que, principalmente, não polui o meio na qual está inserida. Com isso, tornar os módulos florestais 100% sustentável é um objetivo que vai além apenas da busca de energia limpa, trata-se da imagem que a empresa busca mostrar para a sociedade.

No cenário brasileiro tem-se um grande incentivo para utilização de fontes alternativas de energia pelo fato de que se tem atualmente uma escassez de água em regiões no país e tais fenômenos afetam diretamente na matriz energética brasileira. Todavia, o Brasil e, especificamente, o nordeste brasileiro, possui um dos maiores

potenciais energéticos do mundo para utilização de energia solar (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2014).

Os custos com manutenção de gerador à diesel e o custo do diesel são bastantes elevados além de se tratar de uma forma de obtenção de energia que não-sustentável. Com a popularização das placas fotovoltaicas e o decaimento dos preços da mesma e dos equipamentos adjacentes um projeto e análise da viabilidade econômica da utilização da energia solar sustentável nos módulos de colheita trata-se de uma proposta que se trata viável do ponto de vista ambiental e econômico, já que utiliza de uma fonte de energia mais abundante e disponível no planeta - O SOL (ELETROBRAS, 2010).

## 1.1 OBJETIVO

A partir da situação na qual encontra-se a geração de energia elétrica nos módulos florestais, neste trabalho, tem-se como objetivo o desenvolvimento de um projeto de instalação de placas fotovoltaicas (sistema solar isolado) nos módulos de colheita e análise do seu custo-benefício. Para isso, será feito um estudo de caso utilizando-se uma indústria do ramo de papel e celulose, sendo que os levantamentos do custo total de implementação serão feitos através do projeto desenvolvido pelo aluno e o contato com empresas brasileiras fornecedoras de equipamentos para a geração. A empresa possui cerca de 5 módulos de colheita (sendo 4 utilizados e 1 de espera), trata-se de um projeto piloto que contempla apenas 1 (um) módulo e caso futura implantação seja satisfatória, pode-se utilizar abrangência para os outros módulos e até empresas do ramo que possuem módulos sendo utilizados em condições semelhantes (alta incidência solar e locais remotos onde não se tem acesso à rede elétrica).

Portanto, os principais objetivos do trabalho, são:

- Dimensionar um sistema fotovoltaico para atender a demanda de energia elétrica do módulo florestal sem a necessidade da utilização do gerador à diesel;
- Escopo de projeto elétrico para aprovação da diretoria da empresa;
- Levantamento e orçamento todos os componentes necessários para instalação de fabricantes homologados;
- Compreender em quais aspectos o projeto é viável economicamente e ambientalmente;

- Calcular variáveis econômicas para avaliação quantitativa da viabilidade do projeto: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e *Payback*.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Além da introdução (**Capítulo 1**) já apresentada, este trabalho possui cinco capítulos, organizados da seguinte forma:

- **Capítulo 2:** Contém a revisão bibliográfica na qual engloba todas as partes necessárias para elaboração de um projeto de uma planta de geração fotovoltaica e as principais ferramentas para análise de viabilidade econômica.
- **Capítulo 3:** Descreve a metodologia, ou seja, o problema proposto em relação à geração de energia elétrica de forma não-sustentável e como ele será abordado.
- **Capítulo 4:** Apresentação dos principais resultados do projeto e análise da viabilidade econômica do mesmo.
- **Capítulo 5:** Através dos resultados obtidos tem-se a conclusão do projeto e a prospecção de futuras ideias que possam ser utilizadas no ramo.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FONTE DE ENERGIA: O SOL

A principal fonte inesgotável de energia e a estrela central do sistema solar é o Sol. Trata-se da fonte de energia com maior capacidade de suprir a necessidade de energia elétrica que o mundo necessita atualmente. Sabendo que desenvolvimento tecnológico está diretamente ligado com a energia elétrica, o contínuo desenvolvimento tecnológico que se tem no mundo faz com a demanda energética mundial seja diretamente proporcional a esse desenvolvimento.

A vantagem de uma fonte inesgotável e intermitente é que pode-se aproveitar diretamente essa oferta solar para enfrentar os efeitos adversos causados pelas mudanças climáticas no planeta. A radiação solar que chega à terra pode ser dividida em duas componentes: radiação direta e radiação difusa.

A energia solar recebida pela Terra é cerca de 5 mil vezes maior do que o consumo mundial de eletricidade e energia térmica somados (ABBOTT, 2010) e em um ano é cerca de 35 vezes maior do que as reservas mundiais de petróleo, carvão, gás natural e urânio somadas (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2014)

A radiação direta é a parte da radiação solar que não sofre nenhum desvio pela atmosfera, vindo diretamente do sol. Ela pode ser concentrada com uma lupa e é devido a sua presença que existem sombras bem definidas em dias ensolarados. A radiação direta é a componente mais importante para a tecnologia heliotérmica.

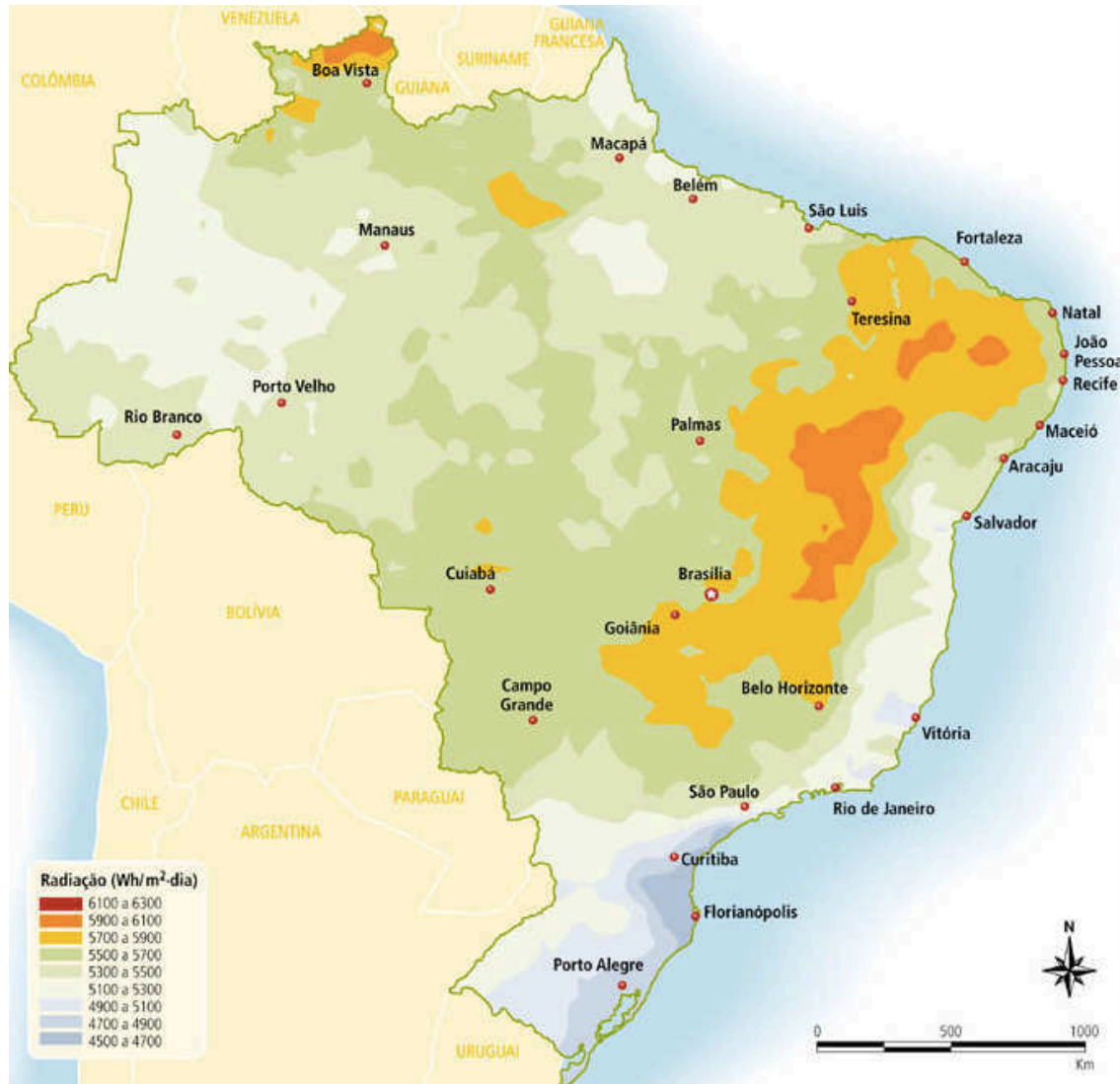
A radiação difusa, por sua vez, é aquela que alcança a superfície da Terra vindo de todas as direções, após ter sido dispersada pelas moléculas, partículas e nuvens presentes na atmosfera. A radiação difusa pode ser interpretada como a claridade do céu quando o sol está totalmente encoberto por nuvens e é aproveitada pela tecnologia fotovoltaica, que será o foco deste trabalho.

#### 2.1.1 O CENÁRIO SOLAR BRASILEIRO

O Brasil está localizado geograficamente na região onde se tem a maior incidência solar (próximo a Linha Equador e entre os Trópicos) o que resulta em uma das nações

que possui um dos mais altos índices de radiação solar do mundo, estimado em mais de 140.000 MW, segundo o Ministério de Minas e Energia.

Figura 1 – Mapa Solar Brasileiro



Fonte: INPE (2006)

Em comparação com radiação solar na região mais ensolarada da Alemanha, por exemplo, que é um dos líderes no uso da energia fotovoltaica (FV), é 40% menor do que na região menos ensolarada da Brasil. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, diariamente incide entre 4.500 Wh/m<sup>2</sup> a 6.300 Wh/m<sup>2</sup> no país, como pode ser visto na Figura 1. Apesar dessas condições favoráveis, o uso de energia solar para geração elétrica ainda é pouco considerado como uma opção para alimentar nossas indústrias, casas e edifícios. Como o país já possui uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo, a melhor integração da energia solar FV seria como fonte complementar, aproximando a

geração do consumo e reduzindo assim perdas com transmissão, sendo assim uma boa opção mais limpa e segura para levar eletricidade a comunidades isoladas e de difícil acesso.

A base de dados levantada é compatível com sistemas de informação geográfica (SIG) e, portanto, pode ser facilmente empregada em estudos de viabilidade econômica no desenvolvimento de projetos.

## 2.2 TIPOS CONSTRUTIVOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Existem duas formas construtivas ou configurações de se instalar sistemas fotovoltaicos para alimentar cargas: Sistema fotovoltaico conectado a rede de transmissão e ao SIN (*conectado*) e os sistemas isolados ou desconectados da rede (*isolado*). No presente trabalho, será detalhado o sistema desconectado isolado pelo fato de que se trata da configuração dos módulos florestais que se encontram em regiões remotas (dentro de fazendas florestais) e não se tem acesso a rede elétrica.

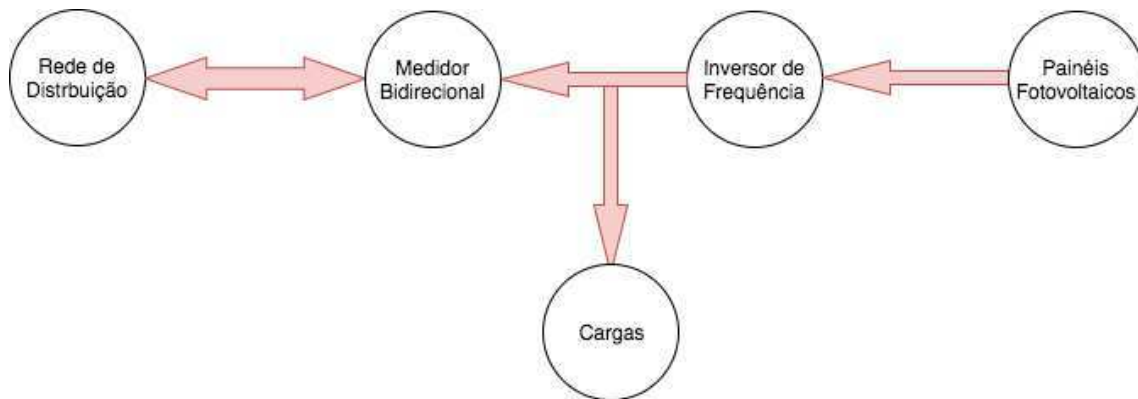
### 2.2.1 SISTEMA SOLAR *ON-GRID* (*CONECTADO*)

O sistema conectado à rede tem-se o mesmo modelo de um sistema convencional exceto pela mudança de um medidor unidirecional para um medidor bidirecional e a inserção dos painéis fotovoltaico. De acordo com a resolução normativa da ANEEL (482/2012) o usuário paga para concessionária apenas aquilo que consome da rede, caso a geração seja maior que o consumo, o mesmo recebe créditos. Nesse tipo de configuração a rede funciona como um banco de baterias pelo fato de que ela recebe todo excedente que é gerado pelos painéis FV.

Tem-se o digrama esquemático da Figura 2 e os componentes desse tipo de configuração são dados por:

- Painéis fotovoltaicos;
- Inversor de Frequência;
- Medidor Bidirecional;

Figura 2 – Diagrama Sistema Solar FV On-Grid (Conectado)

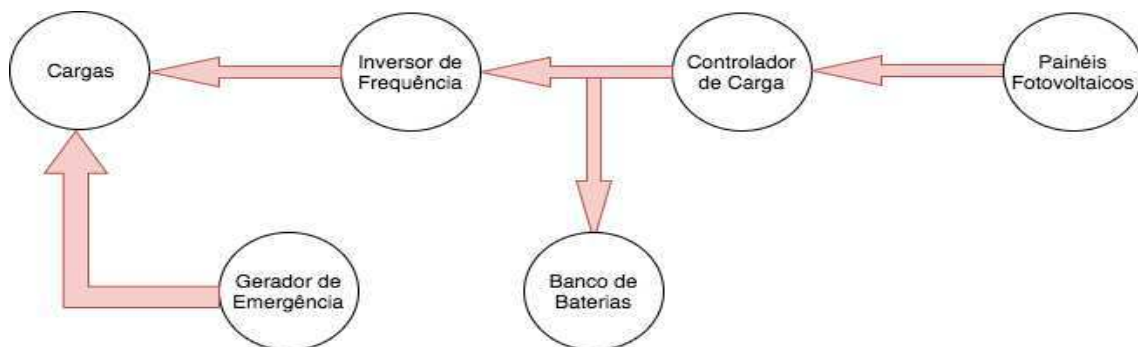


Fonte: O próprio autor

### 2.2.2 SISTEMA SOLAR OFF-GRID (ISOLADO)

O sistema desconectado da rede tem como objetivo funcionar de forma autônoma sem depender da rede com isso, tem-se na mudança de configuração à inserção das baterias e para dar maior confiabilidade ao sistema pode-se haver a inserção de gerador de emergência. Pelo fato de que caso haja algum problema com as placas, inversor ou baterias tem-se o gerador para evitar falta de energia para determinada região.

Figura 3 – Diagrama Solar FV Off-Grid (Isolado)



Fonte: O próprio autor

Tem-se o digrama esquemático da Figura 3 e os componentes desse tipo de configuração são dados por:

- Painéis fotovoltaicos;
- Inversor de Frequência;
- Banco de Baterias;
- Controlador de Carga;
- Gerador de Emergência;

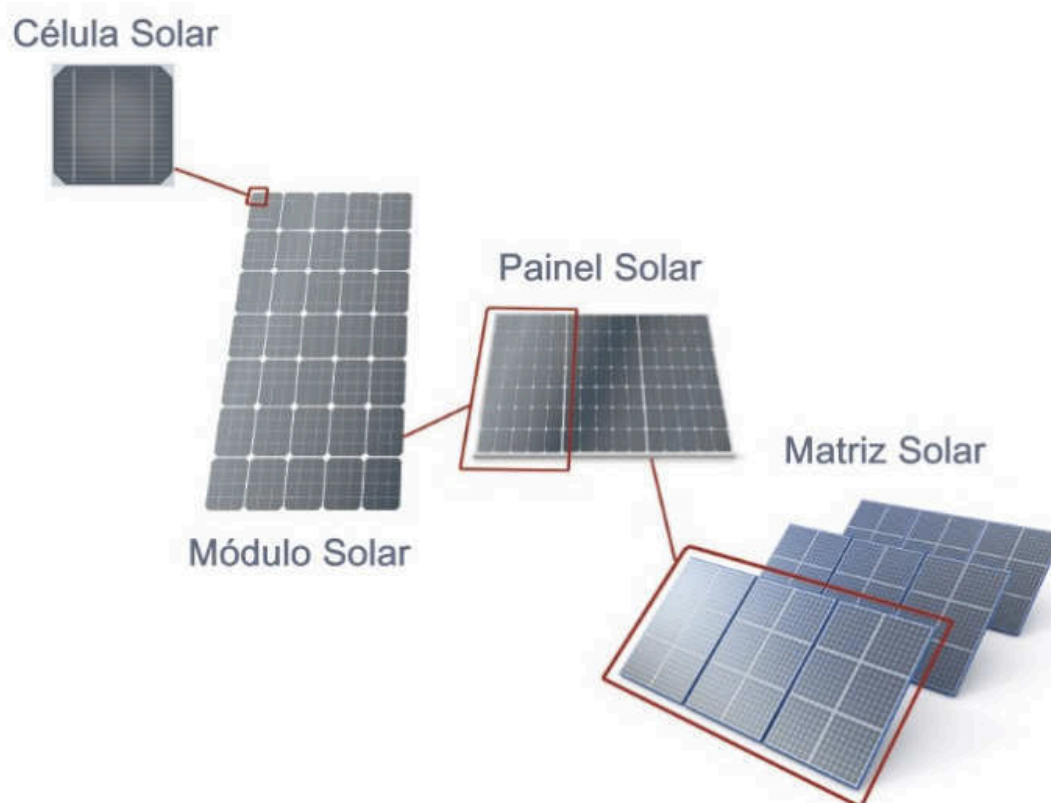
## 2.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO

Para dimensionamento de um sistema fotovoltaico deve-se considerar o tipo de tecnologia dos painéis, a área disponível para instalação, durabilidade, tempo de autonomia e entre outras grandezas que serão discutidas neste presente trabalho. Para dimensionamento das grandezas supracitadas deve-se conhecer o funcionamento e a funcionalidade de cada componente da configuração isolada, pois um escopo abrangente implica diretamente no custo-benefício do projeto (LEVA et. al, 2004).

### 2.3.1 PAINEL FOTOVOLTAICO

A célula solar trata-se da unidade básica de um painel fotovoltaico como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Configuração Painel Fotovoltaico



Fonte: LUQUE e HEGEDUS (2013)

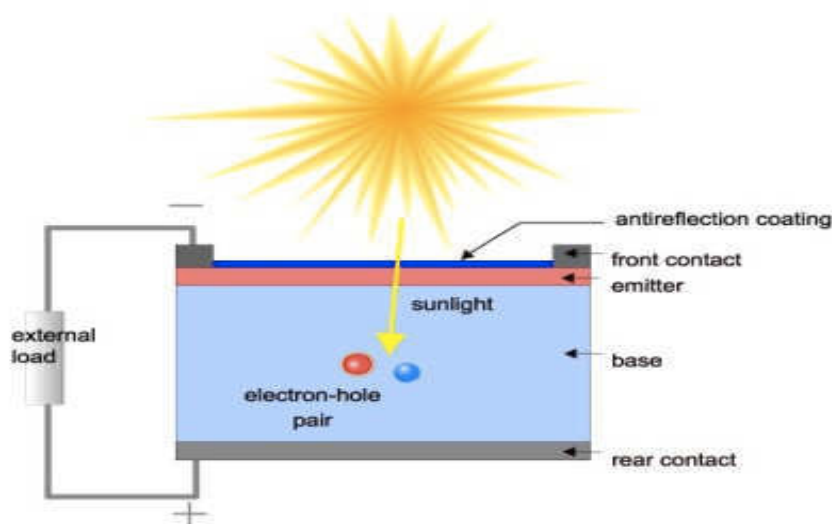
Os painéis devem ser instalados direcionados para o norte geográficos, em local seguro que não tem acesso de animais (no caso de florestas, instalar em locais cercados e protegidos), procurando-se um local onde se tem a maior incidência solar possível, ou seja, locais não sombreados pelo fato de que é uma grandeza que afeta diretamente a eficiência do painel. Todos os módulos instalados no Brasil devem ter certificados de qualidade (ISO 9001) e, preferencialmente, classificação "A" de eficiência pelo INMETRO.

A célula solar é um componente eletrônico (Junção P-N) que converte a energia da luz solar em eletricidade (DC) usando o efeito fotovoltaico. O processo de conversão requer um material que absorva a energia solar (Fóton) e depois eleve um elétron a um estado mais elevado de energia e de seguida flua esses elétrons energizado para um circuito externo. O silício é um dos materiais que se utiliza neste processo.

A Junção P-N é formada pela união do Tipo-P (Elevada concentração de lacunas ou déficit de elétrons; Base) com o Tipo-N (Elevada concentração de elétrons; Emissor) do semiconductor e essa figura pode-se ser vista na Figura 5. Nessa junção o excesso de elétrons do Tipo-N tenta difundir-se com as lacunas do Tipo-P e o excesso de lacunas no Tipo-P tenta difundir-se com os elétrons do Tipo-N.

O movimento dos elétrons para o lado do Tipo-P expõe o núcleo dos íons positivos do lado do Tipo-N, enquanto que o movimento das lacunas para o lado do Tipo-N expõe o núcleo dos íons negativos no lado do Tipo-P, resultando um campo de elétrons na união formando assim a região de depleção (ABERLE, 2009).

Figura 5 – Estrutura Célula Fotovoltaica



Fonte:

Absorção de fótons incidentes para criar pares de Elétrons-Livres. Os pares de elétrons-livres vão ser gerados na célula solar quando o fóton incide, uma vez que este tem uma maior energia do que a da abertura de faixa. A tensão é gerada por um processo conhecido como “efeito fotovoltaico”. A recolha dos portadores pela junção P-N provoca um movimento de elétrons para o lado do Tipo-N e de lacunas para o lado do Tipo-P da junção. Em condições de curto-circuito os portadores saem do dispositivo sob a forma de corrente gerada por luz.

O material que normalmente é usado nas fotocélulas ou células solares é o silício, semicondutor do tipo IV. Diz-se que o silício é tetravalente, o que significa que cada átomo de silício se pode ligar a quatro outros átomos de silício. Também se utiliza o arsênio de gálio, camadas finas de CdTe (telúrico de cádmio), o CIS (cobre, índio, selênio) e ainda o CIGS (cobre, índio, gálio, selênio). As células amorfas não são formadas por células de silício. Na Tabela 1 tem-se os rendimentos típicos, vantagens e desvantagens das configurações utilizando-se Silício além dos respectivos rendimentos (GREEN et. al., 2013).

Tabela 1 – Eficiência dos tipos de materiais que constituem uma célula solar

<b>Tecnologia</b>	<b>Eficiência</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Monocristalina	14 – 19 %	Alta Eficiência	Alto Custo
Policristalina	13 – 17 %	Menor Custo	Baixa Eficiência
Amorfas	6 – 8 %	Menor Custo e Transparência	Baixa Eficiência

Fonte: (GREEN et. al., 2013).

Os fótons absorvidos da radiação solar geram uma corrente na junção pn no escuro (diodo semicondutor) e com a soma das correntes geradas pelas junções tem-se a corrente de uma célula fotovoltaica.

Esta corrente em função da tensão no dispositivo pode ser descrita pela seguinte equação, derivada da Equação de Shockley, do diodo ideal (MOEHLECKE e ZANESCO, 2005):

$$I = I_L - I_O \left[ \exp \left( \frac{q(V + IR_S)}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_S}$$

Onde:

$I_L$ - Corrente fotogerada (A);

$I_O$  - Corrente de saturação reversa do diodo (A);

$n$  - Fator de idealidade do diodo, número adimensional geralmente entre 1 e 2, obtido por ajuste de dados experimentais medidos;

$q$  - Carga do elétron ( $1,6 \times 10^{-19}$  C);

$k$  - Constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K);

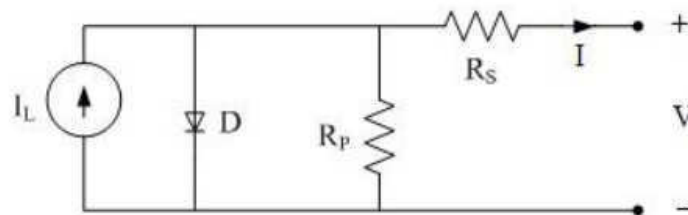
$T$  - Temperatura absoluta (K);

$R_S$  - Resistência Série;

$R_P$  - Resistência em Paralelo.

Com isso, pode-se determinar a curva em função da corrente e tensão, denominada de curva I-V ou curva característica, sendo medidas em condições padrão de ensaio como, por exemplo, irradiância de  $1.000 \text{ W/m}^2$ , espectro solar AM 1,5 e temperatura da célula fotovoltaica de  $25^\circ\text{C}$ . Tem-se na Figura 6 o circuito equivalente para uma célula fotovoltaica (modelo com diodo), onde o diodo, D, representa a participação da junção *pn* no escuro.  $R_S$  e  $R_P$  representam resistências em série e paralelo intrínseca as células fotovoltaicas (CRESCCEB CEPEL, 2016).

Figura 6 – Circuito equivalente básico para uma célula fotovoltaica

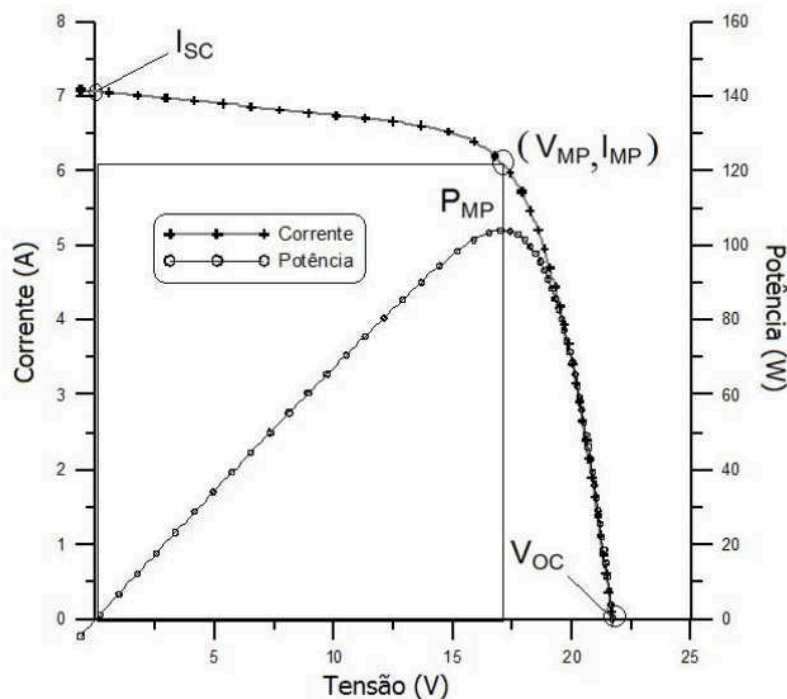


Fonte: MOEHLECKE e ZANESCO (2005)

A partir dos dados da curva  $I-V$ , pode ser determinada a curva da potência em função da tensão, denominada curva  $P-V$ , conforme a curva na cor vermelha da Figura 7, onde se destaca a Corrente de curto-circuito ( $I_{SC}$ ), Tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ ), o ponto de máxima potência ( $P_{MP}$ ), como sendo aquele no qual a sua derivada em relação à tensão é nula e as grandezas  $I_{MP}$  e  $V_{MP}$  são, respectivamente, a corrente e a tensão no ponto de máxima potência.



Figura 7 – Potência elétrica em função da tensão elétrica de uma célula fotovoltaica de silício cristalino de 156 mm x 156 mm, sob condições-padrão de ensaio.



Fonte: MALBRANCHE et. al. (1994)

### 2.3.2 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Amplamente utilizado na indústria para acionamento de motores e controle de velocidade o inversor de frequência é o componente mais importante quando se trata do nível e frequência de tensão e corrente desejados para alimentação de cargas. Sabe-se que a tensão gerada por placas fotovoltaicas (ver anexo A) é de 12V e o nível de tensão residencial no Norte-Nordeste é de 220 V. A placa fotovoltaica gera tensões contínuas e na rede tem-se tensões alternadas em 60 Hz. Para realização dessas conversões é utilizado esse componente que converte para nível de tensão e corrente desejados (WEG, 2013).

O Inversor Solar tem o princípio de funcionamento dos inversores de frequência industriais já conhecidos como, por exemplo, proteção contra queda súbita de tensão, comunicação serial, comando remoto, serial ou local via IHM, porém, com algumas características específicas, como por exemplo o rastreamento do ponto de potência máxima (MPPT) que otimiza a potência fornecidas pelas placas solares.

Os inversores autônomos, apelidados de *inversores off-grid*, não podem ser utilizados em sistemas *on-grid* (conectados à rede) porque não tem capacidade de interagir com o sinal de corrente alternada presente na rede. Na Figura 8 tem-se um exemplo de inversor solar *off-grid* 3000W (HAYONICK, 2016).

Figura 8 – Inversor Solar *Off-Grid*



Fonte: HAYONICK

### 2.3.3 BANCO DE BATERIAS

Considerado o “pulmão” da configuração fotovoltaica isolada e trata-se do componente mais oneroso e que torna essa configuração com um valor bem mais elevado em comparação com a fotovoltaica conectada. Com objetivo de armazenar a energia gerada pelas placas em tensão de 12V e fornecimento da energia elétrica quando necessário.

Embora existam diversos tipos de baterias, as mais utilizadas são as de chumbo-ácido por conta do menor custo e da maior maturidade. Paralelamente, vem aumentando o uso das baterias de níquel-cádmio por serem seladas e operarem em qualquer posição com alta densidade de energia, mas tem-se o elevado custo intrínseco a esse tipo de bateria. A Bateria estacionária tem-se uma configuração diferente da bateria de carro pelo fato de que possui um ciclo de carga e descarga mais profundo como é ilustrado na Figura 9 e esse ciclo afeta diretamente na vida útil da bateria, estima-se que para sistemas fotovoltaicos a vida útil dessas baterias é de 3 anos (ACUMULADORES MOURA, 2015).

Figura 9 – Descarga *versus* Vida Útil em Bateria Estacionária

Vida útil em função da descarga**		
Profundidade da descarga	Número de ciclos	Vida útil em Anos
10%	>2000	>5,47
20%	2000	5,47
30%	1150	3,15
40%	700	1,91
50%	450	1,23
60%	280	0,76
70%	190	0,52
80%	100	0,27

Fonte: ACUMULADORES MOURA

O dimensionamento dessas baterias deve ser levado fatores como corrente total produzida pelos painéis multiplicados pelas horas de insolação diária, além da tensão de recarga de corrente dimensionada (deve ter a mesma tensão do sistema) e o limite de descarga que a bateria suporta, no Capítulo 4 tem-se o dimensionamento do tipo e da quantidade de baterias para um módulo florestal levando-se consideração tais parâmetros. Na figura 10 tem a bateria estacionária chumbo-ácido amplamente utilizada no mercado nacional.

Figura 10 – Bateria Estacionária Chumbo-Acido 220Ah



Fonte: ACUMULADORES MOURA

### 2.3.4 CONTROLADOR DE CARGA

Situados o mais próximo entre os painéis e as baterias para evitar as perdas por efeito Joule é utilizado para controlar a carga e a descarga excessivas do banco de baterias, aumentando a vida útil delas, evitando explosões, incêndios e problemas no sistema. Pelo fato de que os painéis solares produzem mais ou menos energia de acordo com a quantidade de luz solar e as baterias não suportam esta variação. O controlador é instalado em paralelo com as placas fotovoltaicas e no momento em que as baterias atingem a tensão máxima (nível de carga 100%) tem-se os painéis alimentando diretamente as cargas.

Os controladores PWM (Pulse Width Modulation) são os mais utilizados, pois apesar da menor eficiência se justificam pelo custo. Já os controladores MPPT (Maximum Power Point Tracking), possuem maior eficiência e são cerca de duas vezes mais caros pelo fato de que ao regular a potência, esses tipos de controladores regulam a tensão aumentando a eficiência da energia produzida pelo painel e, conseqüentemente, redução no número de painéis em relação aos controladores PWM. Para dimensionamento deve-se analisar a diferença de custo dos controladores na redução do número de painéis, tensão de trabalho do sistema, temperatura de trabalho dos controladores e a capacidade do controlador (NEO SOLAR, 2016).

Figura 11 – Controlador de Carga MPPT



Fonte: NEO SOLAR

### 2.3.5 GERADOR DE EMERGÊNCIA

Versátil em desempenho e com seu uso muito difundido na indústria de grande porte os geradores de emergência são soluções simples para geração de energia elétrica pela necessidade apenas do uso de combustível *diesel*. Com aplicações que vão de consumo apenas em horário de ponta para redução no consumo de energia elétrica, espera ou emergência para garantia da energia sem interrupção ou até aplicações *Prime Power*, ou seja, solicitação de funcionamento é contínua.

O equipamento funciona a partir da movimentação de um eixo central, resultante da combustão do diesel. A energia mecânica resultante dessa movimentação é transformada em energia elétrica pela ação de um dispositivo chamado alternador. Este processo é possível graças ao campo magnético que é gerado pela velocidade de rotação do eixo central, que cria tensão em terminais condutores que transmitem a circulação de correntes elétricas (TECNOGERA, 2016).

Estima-se que um gerador tem vida útil de 20 anos, porém, sua utilização nesse tempo deve ser realizada manutenções de forma preventiva e corretiva de acordo com manuais de fabricante que recomendam inspeções mensais, semanais e anuais. De acordo com a TecnoGERA, o custo anual de manutenção de um gerador é cerca de 20% de seu valor em mercado.

Figura 12 – Gerador à Diesel



Fonte: TECNOGERA

### 2.3.6 DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO

Devido a necessidade de exposição ao Sol, sistemas fotovoltaicos estão localizados em partes externas de edificações ou grandes terrenos, sendo assim suscetíveis as descargas atmosféricas e outras intempéries que podem afetar o sistema.

As Normas NBR 5410 regulamenta a utilização de alguns dispositivos de proteção, como:

- **Dispositivo de Proteção de Surtos (DPS):** Instalado para proteção dos inversores de frequência, tem a função de atenuar efeitos indiretos de descargas atmosféricas.
- **Fusível de Proteção:** Instalado para proteção dos painéis fotovoltaicos, tem a função de garantir que não tenha corrente *in-rush* ou reversa nos painéis provocando a queima dos mesmos.
- **Diodo de Bloqueio:** Possui a mesma função do fusível de proteção, porém tem o tempo de resposta maior e com isso, seu uso não é recomendado. Maior praticidade em relação ao fusível pelo fato de que não necessita de *spare parts* e pessoas especializadas (Colaborador BA4 – NR 10) para realização da troca.
- **Chave Reversora:** Conhecida como comutador de fonte é utilizada quando se tem grupo gerador como fonte alternativa de energia para evitar energização indevida, queima indevida de equipamentos, riscos as pessoas e realizar a transferência automática de fonte de energia.

### 2.3.7 ATERRAMENTO

Segundo a ABNT NBR 5410, qualquer instalação elétrica que possa ficar sob tensão e é parte de algum circuito elétrico deve ser aterrada para que possa garantir que caso se tenha uma falta ou acidente tem-se a fuga da corrente para Terra. Sistemas fotovoltaicos que ficam expostos ao ar livre devem obedecer estritamente a Norma para garantia de proteção em caso de acidentes ou correntes indesejadas provenientes dos inversores e módulos que possam se dirigir para suas carcaças ou até mesmo para as estruturas fixação metálicas

Para condutores de proteção (PE), no trecho em que a bitola dos condutores de fase (lado CA) for maior que  $16\text{mm}^2$ , a seção será de  $16\text{mm}^2$  e para o lado CC a seção será a mesma dos condutores positivo e negativos, conforme NBR 5410.

## 2.4 NORMAS TÉCNICAS DE PROJETO

Para um projeto de instalação de painéis fotovoltaicos é necessário o atendimento das NBRs e das Normas técnica de Segurança, conforme explicitadas:

- ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão;
- ABNT NBR 5419: Proteções de estruturas contra descargas atmosféricas;
- NR-10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade;
- GED 15303: Conexão de micro e minigeração distribuída sob sistema de compensação de energia elétrica.

## 2.5 INDICADORES PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

No ramo Industrial, quando se tem a necessidade de avaliar qualquer ação, tarefa e ou pessoa utiliza-se indicadores para realização dessa métrica e comparação com outras atividades, pois na Industria tem-se a meritocracia que valoriza os que buscam e conseguem resultados.

Projetos e melhorias para aprovação e posterior implementação na Industria é necessária avaliação de um ponto que sempre é pautado em mesas de reuniões de diretores de grandes corporativas: O custo. Com isso, como forma de mensurar o custo e comparar com a configuração atual de outros projetos utilizam-se ferramentas para estudos de viabilidade econômica de projetos (MOTTA, 2012).

### 2.5.1 FLUXO DE CAIXA

Representando o valor total de dinheiro que entrará (receitas) ou sairá da empresa (custos, despesas, investimentos) em cada um dos períodos pré-definidos ciclo de vida do produto o fluxo de caixa trata-se de uma forma gráfica para monitoramento de todo como o dinheiro foi gasto ao longo do projeto.

Pode-se utilizar o fluxo de caixa como ferramenta de comparação entre projetos, porém, tem-se a dificuldade para normalização desse valor pelo fato de que o fluxo pode ser realizado em escalas e espaços de tempos distintos (ROSS et. al., 2007).

### 2.5.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Sabendo que o fluxo de Caixa não contempla os valores no tempo tem-se o índice para colocar em uma métrica comum, ou seja, desloca todos as operações financeiras para a data final de investimentos e assim os valores possuem a mesma base de tempo. O valor utilizado para deslocamento das operações no tempo é a taxa de juros (“*i*”), denominada Taxa Mínima de Atratividade (TMA), no caso desse projeto utiliza-se como base da taxa de juros o investimento em tesouro direto.

O Valor presente líquido é dado por (ROSS et. al., 2007):

$$VPL = -FC_0 + \sum \frac{FC_k}{(1+i)^k}$$

Onde:

$FC_k$ : Fluxos de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

$FC_0$ : Investimento inicial;

$k$ : Períodos do horizonte de planejamento (dias, meses, anos)

$i$ : Taxa mínima de atratividade do projeto (TMA).

Como critério de análise tem-se que esse indicador VPL deve ser maior que zero para que o projeto seja considerado viável, pois de outra forma era muito mais simples para o investidor ou empresário investir no tesouro direto e esperar seu capital gerar mais lucro sem esforço e risco de projeto.

### 2.5.3 PAYBACK

Indicador muito difundido no ramo empresarial e segundo tradução significa “retorno”, ou seja, calcula o tempo necessário para que se tenha de volta o capital que foi investido para projeto. Se não houver deslocamento do tempo dos valores tem-se o *Payback* Simples e caso, tenha-se métrica de deslocamento de tempo de valores e TMA tem-se o *Payback* Descontado (MOTTA, 2012).



## 2.6 METODOLOGIA

A resolução 482/2012 da ANEEL, permite que o consumidor instale pequenos geradores em sua unidade consumidora e realize alimentação independente sem a necessidade de troca energia elétrica com a rede pública. Ainda, segundo as regras é permitido a instalação de painéis solares fotovoltaicos e ou grupo geradores desde que se tenha o descarte dos equipamentos de forma consciente e de acordo com as recomendações ambientais. Portanto, é de extrema importância que o projetista faça o sistema para que se obtenha a maior segurança possível e que se tenha retorno econômico o mais rápido possível, ou seja, menor custo de instalação, operação e manutenção.

Outros fatores que devem ser levados em conta para o melhor dimensionamento do sistema, é o estudo do perfil das cargas (refrigeração, bombas, iluminação, computadores, entre outros), demanda média e os períodos de picos de demanda, bem como os períodos de máxima incidência solar. Além do mais, a empresa utilizada no estudo do caso tem-se um deslocamento anual do módulo de colheita e, conseqüentemente, dos painéis fotovoltaicos e com isso, deve-se usar valores médios da região como forma de mensurar valores de incidência solar e temperatura. Com isso, deve ser levado em conta o local de instalação dos painéis para focar em condições que podem afetar a eficiência da geração e os painéis devem ser instalados próximos a unidade consumidora.

O ponto crítico de projeto é o levantamento de custos que deve ser realizado de forma detalhista para se ter o melhor escopo de projeto que abrange todos os custos e evitar gastos indevidos e, principalmente, não planejados durante execução de projeto. Para levantamento de custos foi utilizado na instalação, preferencialmente, empresas da região que possuem o menor custo de transporte e mobilização. Todas as cotações de valores equipamentos para fornecimento da geração fotovoltaica isolada foram realizados através de propostas BUDGET em contato direto com fornecedores autorizados no território nacional (SOUZA, 2015).

A análise de viabilidade econômica foi realizada considerando a implementação e a manutenção dos painéis fotovoltaicos e grupos geradores e os cálculos dos indicadores de projeto utilizando-se métodos normalizados pela controladoria da empresa do estudo de caso.

### 3 ESTUDO DE CASO

Trata-se de módulos de colheita que possuem a alimentação através de empresa terceirizada e visando a primarização desse serviço tem-se o levantamento de projeto que visa a autossuficiência energética dos módulos florestais focando em duas principais alternativas: painéis fotovoltaicos ou grupo de geradores. O principal objetivo é utilizar o *marketing* de sustentabilidade da empresa frente a comunidade com a geração solar e, principalmente, utilizar a geração alternativa para contribuir com a redução do custo de geração de energia dos módulos (SOUZA, 2015).

#### 3.1 ESCOPO ATUAL

Visando atender a demanda da fábrica, os módulos florestais (ou de colheita) são bases para colheita florestal de eucalipto de cerca de 304 colaboradores da Suzano Papel e Celulose S/A. O Eucalipto é a madeira base para produção da celulose e do papel que movimentam milhares de milhões na economia nacional.

Figura 13 – Módulo de Colheita



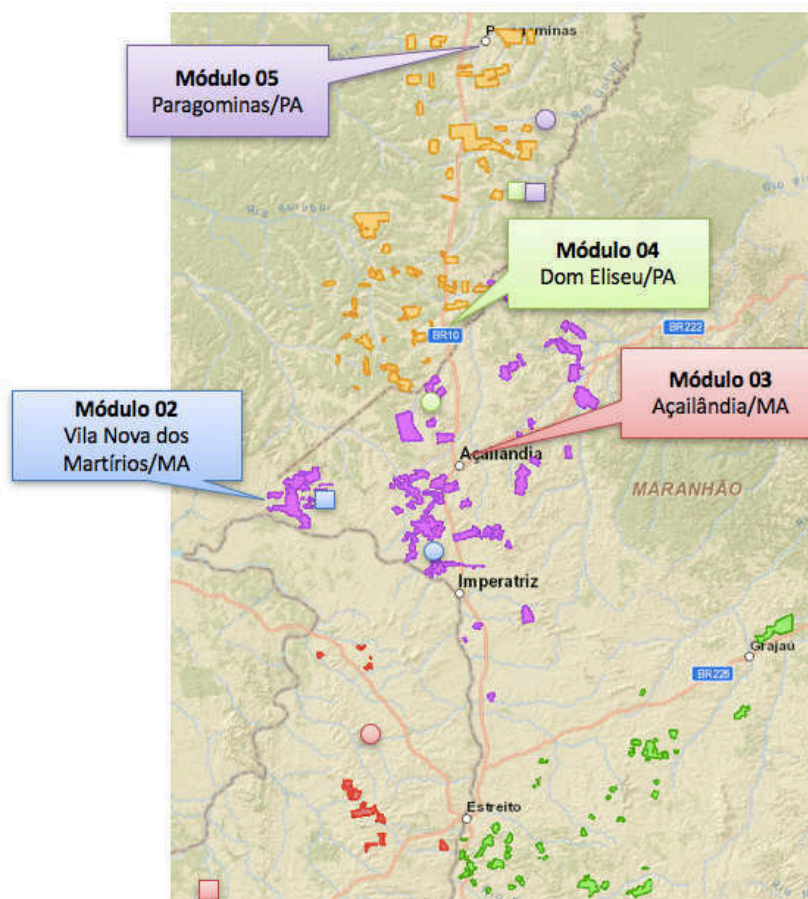
Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A (2017)

O contrato atual com empresa terceirizada para fornecimento de energia para os módulos florestais é de R\$ 500.000,00/ano, ou seja, levando em consideração que existem 4 módulos em operação tem-se R\$ 125.000,00/ano-módulo. Visando uma diminuição desse custo anual tem-se a primarização desse fornecimento, ou seja, fornecimento de energia elétrica pela própria Suzano Papel e Celulose S/A.

### 3.2 LOCAL DE INSTALAÇÃO DOS PAINÉIS

Os módulos possuem diferentes localidades como pode ser visto na Figura 14 pelo fato de que são móveis e variam dependendo da época do ano e da oferta de madeira no ciclo do eucalipto nas fazendas florestais. Com isso, não existe uma área geográfica mais indicada para instalação dos módulos florestais pelo fato de que serão instalados em um *container* que será móvel.

Figura 14 – Localização dos Módulos de Colheita



Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A (2017)

Sendo assim a área mais indicada para critério de projeto e utilização como base para referência de propostas de instalação, transporte de equipamentos e medições de índices de radiação solar será a unidade Industrial da Suzano Papel e Celulose em Imperatriz –MA. O objetivo de toda fábrica de celulose é a diminuição do raio médio, ou seja, a distância entre as fazendas e a fábrica. As coordenadas geográficas são dadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Coordenadas Geográfica da Unidade Industrial Suzano Imperatriz

Latitude	Longitude	Elevação
5° 25' 0.511'' S	47° 33' 51.165'' W	132 metros

Fonte: GOOGLE MAPS (2017)

### 3.3 LEVANTAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR

Para o projeto é necessário o levantamento da radiação solar diária, difusa e direta, para mensurar a quantidade de painéis que será necessário e a quantidade de energia elétrica que será gerada, conforme a Tabela 3 tem-se os dados da base *SunData* do CRESCCEB – Cepel.

Tabela 3 – Irradiação Solar Diária (Média Mensal) (kWh/m<sup>2</sup>. dia)

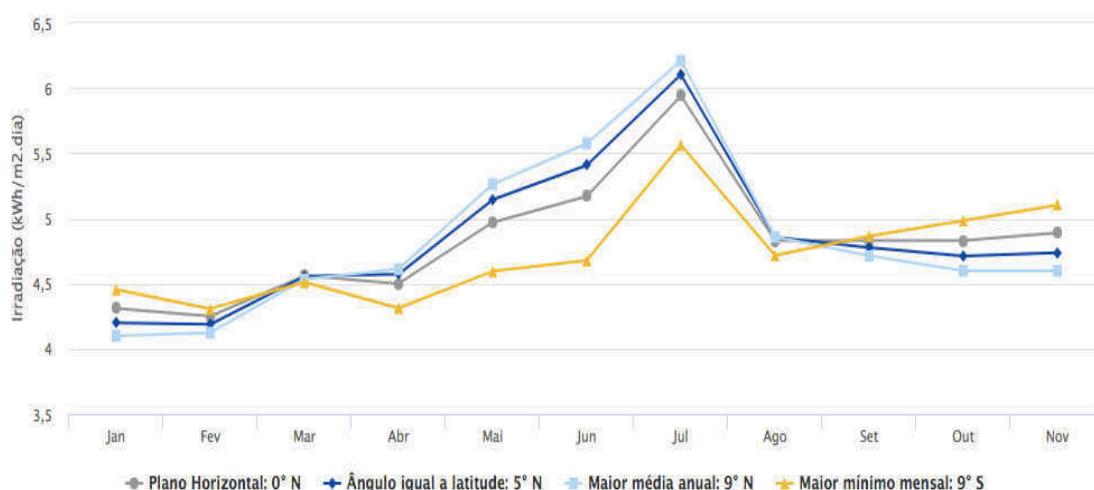
	Ângulo igual a Latitude	Maior média Anual	Maior Mínimo Mensal
	5° N	9° N	9° S
Janeiro	4,20	4,10	4,45
Fevereiro	4,19	4,12	4,31
Março	4,55	4,53	4,51
Abril	4,57	4,61	4,31
Mai	5,14	5,26	4,59
Junho	5,41	5,58	4,68
Julho	5,83	5,99	5,07
Agosto	6,10	6,21	5,56
Setembro	4,86	4,86	4,72
Outubro	4,78	4,71	4,86
Novembro	4,71	4,60	4,98
Dezembro	4,74	4,60	5,10
<b>Valor Médio</b>	<b>4,92</b>	<b>4,93</b>	<b>4,76</b>

Fonte: SUNDATA (2017)

Através dos dados da CRESCEB (Centro de Energia Solar e Eólica Sérgio Brito) tem-se uma base relativamente confiável para mensurar uma média de irradiação solar para determinada área. No gráfico da Figura 15, é possível notar que tem uma pequena variação de radiação solar para diferentes posições de inclinação e com isso, deve-se utilizar a inclinação de  $9^{\circ}$  N pelo fato de que se trata da maior média anual e, conseqüentemente, maior geração de energia elétrica possível para determinada região.

A variabilidade da radiação solar em comparação com outras fontes de geração de energia alternativa é considerada uma fonte estável para obtenção de energia elétrica.

Figura 15 – Irradiação Solar no Plano Inclinado – Imperatriz - MA



Fonte: SUNDATA (2017)

### 3.4 LEVANTAMENTO DE CARGAS

Como forma de dimensionar a quantidade de painéis e potência de componentes, quantificar as cargas e suas potências através do levantamento de cargas. Os módulos de colheita são atendidos com tensão 220V/60Hz e possui em sua estrutura interna de acordo com o Anexo A.

Portanto, o objetivo é atender a demanda que foi levantada de acordo com a Tabela 4. O fator de demanda utilizado para os componentes é de acordo com a NBR 5410.

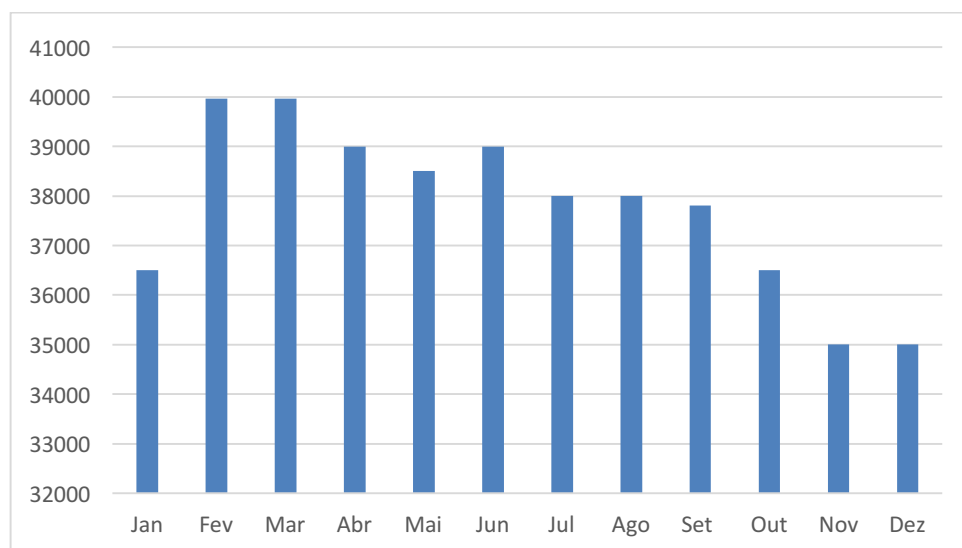
Tabela 4 – Levantamento de Consumo de Cargas

Equipamento	Quantidade	Uso Diário (Horas)	Potência Unitária (W)	(Wh)
Freezer Horizontal	1	24	150	3600
Refrigerador	2	24	200	9600
Exaustor (Cocção/Estoque)	1	5	230	1150
Ar Condicionado	3	6	820	14760
Liquidificador Industrial	1	0,5	700	350
Bomba Sucção	-	1	525	0
Iluminação	20	6	28	3360
Tomadas	10	7	100	7000
<b>Total Wh/dia</b>				<b>39960</b>

Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A (2017)

Através do levantamento de cargas tem-se que o consumo diário é constante durante o ano, apenas em épocas de inverno que tem uma menor dissipação de potência do ar condicionado e refrigeradores. Com isso, tem-se o perfil de consumo anual de um módulo de colheita individualizado conforme a Figura 16.

Figura 16 –Perfil de Consumo Mensal (Wh) dos módulos de colheita



Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A (2017)

### 3.5 DIMENSIONAMENTO E ORÇAMENTO DE COMPONENTES

A base do dimensionamento para projeto de geração solar é a quantidade e potência dos painéis fotovoltaicos. Utilizando-se placas fotovoltaicas da Canadian Solar uma das marcas mais conceituadas do mercado pode se obter uma maior confiabilidade nos módulos pela maior eficiência e menor custo de manutenção. De acordo com a fabricante dos módulos florestais, para o índice de irradiação solar e considerando uma situação na qual os módulos nunca estarão em locais sombreados calcula-se que 1 módulo produz em média 1kWh/dia, seriam necessários agora, 40 módulos de 265W.

Considerando uma autonomia de 2 dias deve se utilizar 48 baterias estacionárias 12V ou 24V e 220Ah. O controlador de carga deve ser de 12V/24V e 40A, e inversor de 5000W. Tem-se a quantificação dos outros componentes e os preços que foram obtidos através de propostas budget direto de fornecedoras dos componentes. O orçamento da instalação foi obtido através de proposta de empresa terceira da cidade pelo fato de que não se tem custos de mobilização e deixa o custo menos oneroso em comparação com empresas do Sul do país. Na Tabela 5 tem-se o valor total para instalação dos equipamentos de geração solar com todos os impostos (PIS/COFINS) e transporte.

Tabela 5 – Orçamento dos Componentes de Geração Fotovoltaica Isolada

<b>Equipamento</b>	<b>Valor Unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Total</b>
Bateria Estacionária Moura 220Ah	R\$ 1.430,00	60	R\$ 85.800,00
Módulo Fotovoltaico Canadian Solar 265W	R\$ 1.002,03	40	R\$ 40.081,20
Controlador de Carga 12/24V 40A	R\$ 1.272,70	10	R\$ 12.727,70
Inversor 24/220V 5000W	R\$ 4.288,70	2	R\$ 8.577,40
Cabos Solar 6mm	R\$ 455,04	2	R\$ 910,08
Conectores MC4	R\$ 15,88	12	R\$ 190,56
Estrutura de Fixação	R\$ 4.477,71	2	R\$ 9.955,42
Instalação			R\$ 10.420,00
<b>Valor Total de Equipamentos</b>			<b>R\$ 217.123,52</b>

Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A (2017)

Os módulos têm ciclo de funcionamento de Segunda à Sábado, ou seja, 2 dias de autonomia são suficientes para que o módulo seja totalmente autossustentável sob condições práticas de clima e temperatura no interior do Maranhão.

Considerando-se apenas um gerador à diesel com potência suficiente para suprir a demanda das cargas tem-se um gerador de 62,5 kVA de potência máxima e cerca de 56 kVA. O valor orçado é de R\$ 58.088,52 com transporte incluso até a unidade Industrial da Suzano Papel e Celulose S/A.

Para aluguel de um gerador de mesmo porte custa cerca de R\$ 16.513,48 durante um período de 2 meses de acordo com a proposta budget de empresa contratada. Segundo o fabricante Toyama, tem-se autonomia de 75% de carga de cerca de 12 Litros de Diesel/hora e o preço do Diesel custa cerca de R\$ 2,999 no mercado local (ANP, 2017).

### 3.6 FLUXO DE CAIXA DOS PROJETOS

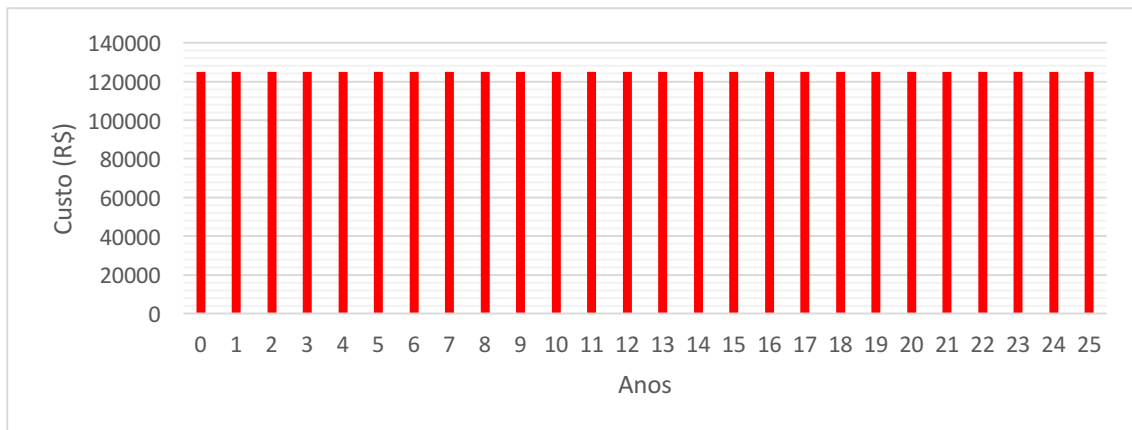
Como forma de obter um fluxo de caixa mais preciso e utilização de indicadores de viabilidade econômica deve utilizar o projeto com maior janela de tempo. Comparando-se o contrato terceiro atual, grupo gerador à diesel e gerador solar, temos que o que possui a maior janela de tempo para fechamento de um ciclo trata-se do sistema à diesel pelo fato de que, segundo a Tecno gera, os geradores têm vida útil de 25 anos se houver a realização das manutenções recomendadas (preventiva e corretiva).

#### 3.6.1 CONTRATO ATUAL

O contrato atual tem-se um fluxo de desembolso R\$ 125.000,00 por módulo para fornecimento de energia elétrica e para o projeto não será considerado possíveis reajustes que são suscetíveis durante os anos. Com isso, tem-se o fluxo de desembolso conforme Figura 17.



Figura 16 – Fluxo de Desembolso Atual de Fornecimento de Energia Elétrica

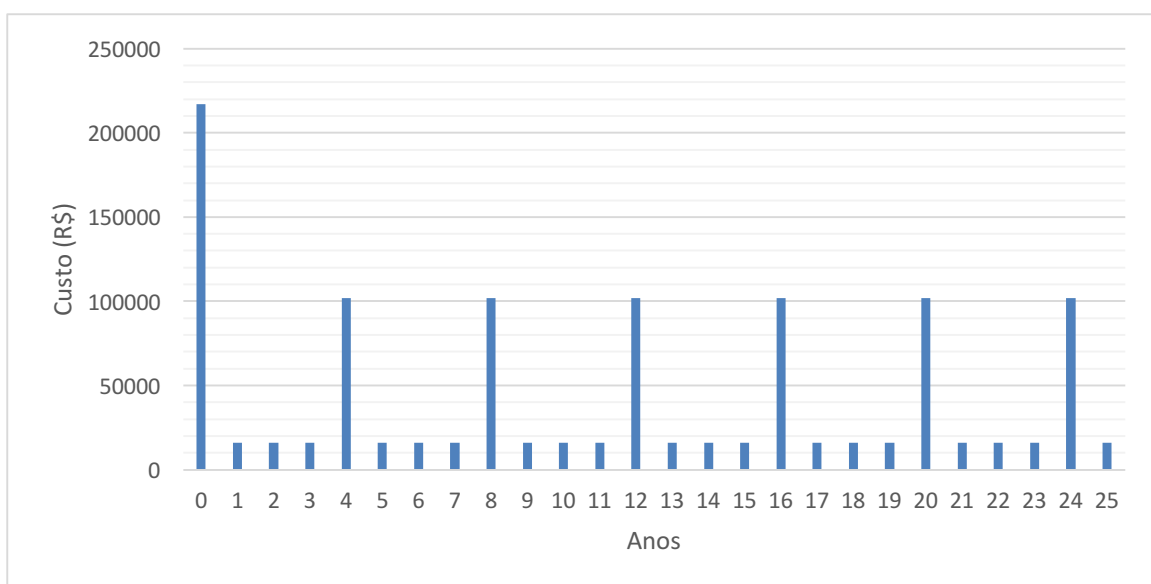


Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A (2017)

### 3.6.2 PAINEL FOTOVOLTAICO ISOLADO

Além do custo de instalação, estima-se um valor de 20% para manutenção dos painéis, segundo os fabricantes. Tratando-se majoritariamente a manutenção dos painéis trata-se apenas de inspeção visual e verificação de reaperto, o deslocamento do técnico para áreas remotas tem um alto custo e a extrapolação de valores de manutenção garante uma maior confiabilidade de projeto. As baterias estacionárias possuem vida útil de cerca de 3 anos (ACUMULADORES MOURA, 2017). Com isso, tem o fluxo de desembolso conforme a Figura 18 para instalação, manutenção e operação da geração solar.

Figura 17 – Fluxo de Desembolso para Geração Solar

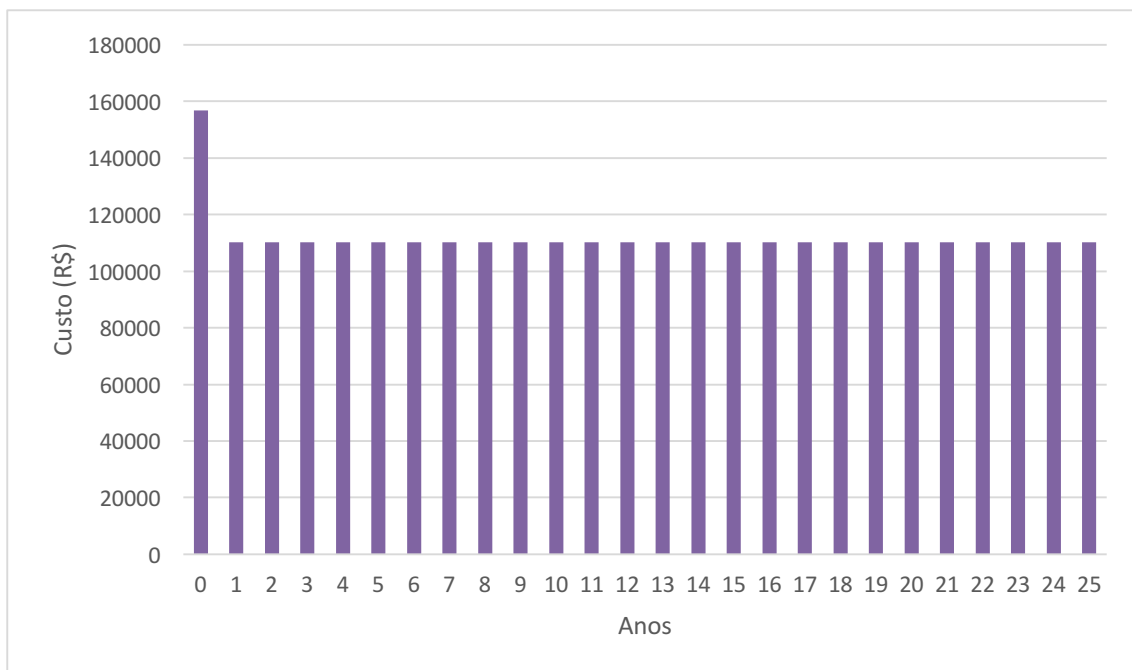


Fonte: O próprio Autor

### 3.6.3 GERADOR À DIESEL

De acordo com o Fabricante, os geradores à diesel necessitam de manutenção anual de cerca de 20% do seu valor de mercado e costumam ficar indisponíveis para utilização durante 2 meses do ano, necessitando aluguel de um gerador extra. O consumo diário de diesel é cerca 75 litros/dia. Com isso, tem o fluxo de desembolso conforme a Figura 19 para instalação, manutenção e operação do grupo gerador.

Figura 18 – Fluxo de Desembolso para Grupo Gerador



Fonte: TECNOGERA (2017)

## 3.7 PAYBACK DESCONTADO

Segundo Westerfiel, no ambiente corporativo o indicador econômico que investidores utilizam como base para tomada de decisões é o Payback, ou seja, o tempo de retorno de investimento do projeto. Na Figura 20 tem-se a análise que foi realizada utilizando-se a plataforma Excel para análise de investimento, a Taxa Interna de Retorno utilizada é de 6% ao ano, uma aproximação do rendimento da poupança. Além de indicadores de viabilidade econômica, outros indicadores devem ser utilizados como base

para critério e análise de um projeto de implementação como, por exemplo, indicadores de distribuição de energia elétrica como DIC (Duração de Interrupção por Consumidor) e FIC (Frequência de Interrupção por Consumidor) esses indicadores devem ser idealmente nulos.

Figura 19 – Payback Descontado de Projeto de Primarização para Geração à Diesel e Geração Solar

taxa de desconto	6%			taxa de desconto	6%		
<b>PAYBACK DESCONTADO</b>				<b>PAYBACK DESCONTADO</b>			
Ano	Fluxo de Caixa Livre (FCL)	VP do FCL	VP do FCL acumulado	Ano	Fluxo de Caixa Livre (FCL)	VP do FCL	VP do FCL acumulado
0	- 31,699.63	- 31,699.63	- 31,699.63	0	- 92,123.32	- 92,123.32	- 92,123.32
1	14,771.19	13,935.09	- 17,764.54	1	108,983.76	102,814.87	10,691.55
2	14,771.19	13,146.31	- 4,618.23	2	108,983.76	96,995.16	107,686.71
3	14,771.19	12,402.18	7,783.95	3	108,983.76	91,504.87	199,191.57
4	14,771.19	11,700.17	19,484.11	4	23,183.76	18,363.71	217,555.28
5	14,771.19	11,037.89	30,522.01	5	108,983.76	81,439.01	298,994.29
6	14,771.19	10,413.11	40,935.11	6	108,983.76	76,829.25	375,823.54
7	14,771.19	9,823.69	50,758.80	7	108,983.76	72,480.42	448,303.96
8	14,771.19	9,267.63	60,026.43	8	23,183.76	14,545.78	462,849.74
9	14,771.19	8,743.05	68,769.47	9	108,983.76	64,507.32	527,357.06
10	14,771.19	8,248.16	77,017.63	10	108,983.76	60,855.96	588,213.02
<i>O payback descontado ocorre em 2.37 anos ou 2 anos e 4 meses</i>				<i>O payback descontado ocorre em 0.9 ano ou 0 ano e 11 meses</i>			

Fonte: O próprio autor

Pelos dados de Payback tem-se que a geração solar tem o retorno do investimento em menos tempo em relação em termo gerador, porém, existem outros fatores que devem ser analisados que serão discutidos na próxima seção. O tempo de Payback é alto pelo fato de que o contrato terceirizado de fornecimento de energia é muito oneroso e com margem de lucro maior que o mercado atual.

## 4 CONCLUSÃO

A diretriz básica para a elaboração de projetos no ramo industrial é o custo e a melhor forma de obter um custo real relativo ao projeto é um escopo no qual se tem todos os possíveis gastos previstos. Conclui-se que para análise de um projeto de energia elétrica deve estudar não apenas a instalação ou implementação do investimento, porém, processos de manutenção e operação, esses dois últimos processos podem ser onerosos ao projeto e pode elaborar um projeto com valor discrepante do custo real.

Na introdução foi apresentado sobre a oferta de energia solar que o Brasil tornado o país um dos locais mais atrativo para utilização da tecnologia fotovoltaica, além da comparação entre os dois tipos de configuração (*Conectado e Isolado*). Como o projeto visava levar energia elétrica para áreas remotas.

No interior do estado do Maranhão tem-se a dificuldade para o acesso à rede elétrica básica em regiões rurais e com isso, a busca por formas alternativas de energia elétrica é imprescindível para a utilização de recursos mecânicos e elétricos nesses locais e, conseqüentemente, realização de atividades automatizadas e que buscam a melhoria e lucro contínuo.

Conclui-se que entender todos os componentes para geração alternativa da região é a melhor forma de se projetar um sistema que atenda as recomendações e suporte as condições da região, por se tratar de uma região florestal e remota, os custos de manutenção foram extrapolados pelo fato de que pode haver muita interferência externa do meio ambiente. Diante de todos esses fatos, foi escolhido dois tipos de geração (solar e diesel) pelo fato de que se tratam das duas melhores e mais acessíveis formas para geração de energia elétrica da região.

Como forma de mensurar a viabilidade do projeto foi apresentado os indicadores para estudo dessa viabilidade econômica e com todo o estudo e análise realizados é possível notar que o projeto de geração solar é mais viável economicamente e possui Payback mais rápido em relação ao Gerador à Diesel.

A energia fotovoltaica apresenta inúmeras vantagens que vão além da viabilidade econômica, diversificação da matriz energética e independência direta de valores de mercado já que o Sol é comercializado (em comparação com a comercialização de combustível fóssil), apenas as baterias que são compradas no período de 3 em 3 anos e o

marketing da empresa ao comunicar à comunidade que os módulos de colheita são 100% sustentáveis (SOUZA, 2015). Buscar uma imagem boa com a sociedade local trata-se de um dos pilares de empresas de outros estados que impactam na economia da cidade como, por exemplo, Suzano Papel e Celulose S/A (grupo Suzano de São Paulo) em Imperatriz-MA e a Celpa (grupo Equatorial Energia do Rio de Janeiro) no Belém – PA.

Diante das análises apenas dos números pode se concluir que a energia fotovoltaica se trata da melhor fonte de energia e sua aplicação deve ser unanimidade em pautas de reuniões para busca de fonte alternativa de energia aos módulos de colheita. Porém, existem várias desvantagens que são intrínsecas à esse tipo de geração que são, por exemplo, o grupo Suzano não possui histórico de utilização desse tipo de geração e, conseqüentemente, não apresenta *know-how* de como realizar manutenção e operação de forma eficaz, o conceito de energia 100% sustentável é indevido quando se trata de painéis fotovoltaicos isolados pelo fato de que tem-se o descarte de uma quantidade excessiva de baterias de chumbo-ácido no ciclo de 3 anos e elas são extremamente nocivas ao meio ambiente, podendo poluir mais até que utilização de combustíveis fósseis.

O sistema fotovoltaico é mais suscetível a falhas em comparado com o grupo gerador pelo fato de que quantidade de componentes e condutores que vão interligar o sistema em si é bem maior e o grau de proteção IP para alguns dos equipamentos é subdimensionado. Sendo assim, existe uma maior possibilidade da interrupção no fornecimento de energia quando se adota a geração solar. O módulo inoperante por falta de energia significa uma redução drástica na geração de lucro da companhia pelo fato de que os módulos são a base para obtenção da matéria prima para obtenção da celulose e do papel. Alternativamente, pode-se utilizar um grupo gerador como gerador emergência em paralelo ao sistema de geração solar, mas o custo desse projeto torna inviável do ponto de vista econômico.

Diante dos fatos analisados, a adoção de um projeto piloto no módulo florestal extra trata-se da melhor forma de instalação desses painéis como forma de avaliar a viabilidade real na prática e com o objetivo de mitigar possíveis falhas que possam existir durante o processo de instalação, manutenção e operação dessa tecnologia difundida mundialmente, mas pouco conhecida no interior do estado do Maranhão.

## 4.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Segue como sugestão para trabalhos futuros:

**Análise da viabilidade econômica de um sistema solar híbrido:** Projeto e estudo de projeto de geração solar fotovoltaica com gerador de emergência de menor porte (e potência) apenas para cargas emergenciais.

**Estudo de impacto ambiental:** Análise do impacto ambiental na região do Maranhão em ambos os projetos em relação ao descarte das baterias de chumbo-ácido e da queima de combustível fóssil.

**Monitoramento de Geração:** Utilização de sistema de monitoramento da geração de energia elétrica via rede para melhor definição do perfil de carga dos módulos de colheita.

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, D. (2010). Keeping the energy debate clean: How do we supply the world's energy needs? *Proceedings of IEEE*, v.98.
- ABERLE, A. (2009). Thin-film solar cells. *Thin Solid Films*, v.517, p.4708.
- ABNT (2014). Norma Brasileira ABNT NBR 5410: *Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. Brasília: ABNT.
- ABNT (2015). Norma Brasileira ABNT NBR 5419: *Proteções de estruturas contra descargas atmosféricas*. Brasília: ABNT, 2015.
- ANEEL (2012) – Agência Nacional de Energia Elétrica. (2012). *Resolução Normativa No 493/2012*. 5 de junho/2012.
- ANEEL (2012) – Agência Nacional de Energia Elétrica. (2012). *Resolução Normativa No 482/2012*. 17 de abril de 2012.
- CEPEL ELETROBRAS. (2006). *Energia Solar – Princípio e Aplicações*. Rio de Janeiro: CRESESB.
- CREDER, H. (2013). *Instalações Elétricas*. 15a Edição. Rio de Janeiro: LTC.
- COMERC ENERGIA (2017). Índice Comerc Solar. Disponível em: <[www.comerc.com.br](http://www.comerc.com.br)>. Acesso em: Maio, 2017.
- ELETROBRAS. (2010). Comparação entre dois tipos de sistemas fotovoltaicos individuais adequados para eletrificação rural. *III CBENS – Congresso Brasileiro de Energia Solar*. Belém-PA.
- GITMAN, L. J. (2007) *Princípios de Administração Financeira*. 10a edição. São Paulo: Harbra.
- GREEN, M. A.; EMERY, K.; HISHIKAWA, Y.; WARTA, W.; DUNLOP, E. D. (2013) Solar cell efficiency tables. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, v. 21. p. 1-11.
- GREENPRO. (2004) *Energia Fotovoltaica – Manual Sobre Tecnologias, Projetos e Instalações*. União Europeia: ALTENER.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. (2006) *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. São José dos Campos: INPE.

- KRANNICH SOLAR (2007). *Estrutura de fixação para painéis em solo*. Disponível em: [http : //pt.krannich-solar.com/fileadmin/content/datasheets](http://pt.krannich-solar.com/fileadmin/content/datasheets) >. Acesso em: Junho, 2017. .
- LARONDE, R. (2010) *Reliability of Photovoltaic Modules based on Climatic Measurement Data*. França: University of Angers.
- LEVA, F. F.; SALERNO, C. H.; CAMACHO, J. R.; et. al.. (2004) *Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico*. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 5ed., São Paulo: Campinas.
- LUQUE, A.; HEGEDUS, S. (2013) *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Chichester: John Wiley & Sons, p. 1179-1180.
- MALBRANCHE, P.; SERVANT, J. M.; HELM, P.; HAENEL, A. (1994). *Recent developments in PV pumping applications and research in the European Community*. Amsterdã, Holanda: 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference. p. 110-120.
- MOTTA, R.R.; CALÔBA, G.M. (2002) *Análise de Investimentos: Tomada de Decisão em Projetos Industriais..* São Paulo: Atlas.
- NORMA TÉCNICA CPFL (2007) *GED 15303: Conexão de micro e mini geração distribuída sob sistema de compensação de energia elétrica*. Disponível em: <<http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-15303.pdf>>. Acesso em Maio, 2017.
- ROSS, S.A.; WESTERFIEL, R. W.; JAFFE, J.F. (2007). *Administração Financeira: Corporte Finance*. 2a edição. São Paulo: Atlas S/A.
- PRYSMIAN GROUP (2016). *Baixa tensão de uso geral*. Disponível em: <[http://br.prysmiangroup.com.br/br/files/dimensionamento\\_bt.pdf](http://br.prysmiangroup.com.br/br/files/dimensionamento_bt.pdf)>. Acesso em: Julho, 2017.
- SOUZA, R. (2007). *Análise Financeira Simplificada de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede*. BlueSol Energia Solar, 2015.
- SUNDATA (2016). *Base de dados sobre radiação solar no Brasil CRESEB*. Disponível em: < [www.creseb.cepel.br](http://www.creseb.cepel.br) >. Acesso em: Junho, 2017.
- US DEPARTMENT OF ENERGY. (2014). *International energy statistics*. Acesso em maio de 2016, Disponível em: <<https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/>>.



## ANEXO A – ESTRUTURA DOS MÓDULOS

### FLORESTAIS

Figura 20 – Ambiente Climatizado com Indicadores



Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A (2017)

Figura 21 – Escritório Administrativo



Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A (2017)

Figura 22 – Refeitório com capacidade para 24 Pessoas



Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A (2017)

Figura 23 – Banheiro Social Masculino



Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE S/A (2017)















