



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNO ANDRADE AGUIAR

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE UMA USINA SOLAR
FOTOVOLTAICA LOCALIZADA EM ACARAPE-CE**

FORTALEZA

2022

BRUNO ANDRADE AGUIAR

ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA
LOCALIZADA EM ACARAPE-CE

Monografia apresentada ao
Programa de Graduação em Engenharia Elétrica
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar
Marques de Carvalho.

FORTALEZA

2022

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)

A227a Aguiar, Bruno Andrade.
Análise de viabilidade financeira de uma usina solar fotovoltaica localizada em Acarape-CE / Bruno
Andrade Aguiar. – 2022.
45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

1. Geração solar. 2. Sistema fotovoltaico. 3. Análise financeira. 4. Valor presente líquido. I. Título.
CDD 621.3

BRUNO ANDRADE AGUIAR

ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA
LOCALIZADA EM ACARAPE-CE

Monografia apresentada ao
Programa de Graduação em Engenharia Elétrica
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Lucas Pereira Lima e Silva
Diretor Técnico – Comsert Engenharia

Aos meus pais, Estácio e Cácia.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Estácio e Cácia por todo o apoio, amor, carinho, paciência e por sempre acreditar em mim, mesmo nos momentos nos quais eu mesmo duvidei.

Aos amigos que fiz durante o curso, em específico ao Arthur, Ícaro e Levi, amigos que me ajudaram desde o começo do curso, e que pretendo levar para toda a vida.

Aos amigos que trago da infância, por todos os momentos que partilhamos.

Ao meu grande amigo Lucas, por todo o apoio e excelentes ensinamentos técnicos e de vida.

Aos professores e funcionários do DEE, em específico a secretária Adely, Prof. Dr. Paulo Carvalho, Prof. Dr. Paulo Peixoto Praça, Prof. Dra. Ruth Pastôra Saraiva Leão e Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio, pela gigantesca ajuda e valiosíssimos ensinamentos passados durante todo o curso.

Ao senhor Frederico Carstens, que indiretamente me ensinou e me moldou durante a faculdade, em específico pelo seu excelente ensinamento: “mais vale estar em paz do que estar certo”.

Ao Prof. Dr. Paulo Carvalho, pela orientação, apoio e auxílio durante toda a confecção deste trabalho.

Aos participantes da banca examinadora Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio e ao Eng. Lucas Pereira Lima e Silva pelo tempo empregado e pela disponibilidade.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”

José de Alencar

RESUMO

O estado do Ceará possui ótimos índices de irradiação solar, com média de aproximadamente 5,48 kWh/m²/dia, o que favorece e torna extremamente vantajosa a instalação de sistemas de geração solar fotovoltaica, seja do ponto de vista econômico como do ponto de vista ambiental. O presente trabalho foi realizado para atestar a viabilidade financeira de uma usina solar fotovoltaica de 391,13 kWp, instalada em uma fazenda localizada no município de Acarape-CE, a cerca de 65 km de Fortaleza-CE. A usina atenderá a parte do consumo de uma empresa do ramo de lavanderias industriais, localizada no município de Maracanaú-CE. A metodologia utilizada para o desenvolvimento desse estudo consistiu em levantar os custos atrelados a esse empreendimento, além dos índices de geração do sistema, calcular o valor economizado com a implantação da usina, e com base nestes valores, calcular os indicadores financeiros, neste caso o Valor Presente Líquido (VPL) e *Payback* Simples. De posse dos valores calculados, foi obtido VPL de R\$ 1.140.329,13, e *Payback* Simples de 6,87 anos, atestando, assim, a viabilidade financeira do investimento, tendo em vista VPL positivo, e tempo de duração do investimento muito superior ao *Payback*.

Palavras-chave: Geração Solar; Sistema Fotovoltaico; Análise Financeira; Valor Presente Líquido.

ABSTRACT

The state of Ceará has excellent levels of solar irradiation, with an average of approximately 5.48 kWh/m²/day, which favors and makes the installation of photovoltaic solar generation systems extremely advantageous, both from an economic point of view and from the point of view of environmental view. The present work was carried out to attest to the financial viability of a 391.13 kWp solar photovoltaic plant, installed on a farm located in the municipality of Acarape-CE, about 65 km from Fortaleza-CE. The plant will supply part of the consumption of a company in the field of industrial laundries, located in the municipality of Maracanaú-CE. The methodology used for the development of this study consisted of raising the costs linked to this enterprise, in addition to the system generation rates, calculating the value saved with the implementation of the plant, and based on these values, calculating the financial indicators, in this case the Net Present Value (NPV) and Simple Payback. With the calculated values, an NPV of R\$ 1,140,329.13 was obtained, and a Simple Payback of 6.87 years, thus attesting to the financial viability of the investment, in view of the positive NPV, and the very long duration of the investment. higher than Payback.

Keywords: Solar Generation; Photovoltaic System; Financial Analysis, Net Present Value.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes da irradiação solar	18
Figura 2 – Módulo FV Monocristalino	19
Figura 3 – Módulo FV Policristalino	20
Figura 4 – Curva I-V e P-V do módulo FV CS3W-435MS	21
Figura 5 – Microinversor Hoymiles, modelo HMS-1800-4T	22
Figura 6 – Inversor convencional, modelo MIN6000TL-X.....	22
Figura 7 – Instalação de trilhos em telhado colonial	24
Figura 8 – Instalação de estruturas em solo	25
Figura 9 – Imagem aérea da usina	28
Figura 10 – Local de instalação da usina	29
Figura 11 – Disposição dos módulos FV	30
Figura 12 – Transformador de 500 kVA	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Ranking Estadual de Potência Instalada de GD.....	15
Gráfico 2 – Projeção de crescimento da capacidade instalada de GD.....	16
Gráfico 3 – Geração prevista anual da Usina FV	36
Gráfico 4 – Fluxos de caixa do investimento	38
Gráfico 5 – Payback Simples	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores da usina FV	32
Tabela 2 – Geração prevista anual da Usina FV	35
Tabela 3 – Geração prevista e fluxos de caixa da Usina FV em 25 anos.....	37
Tabela 4 – Valores anuais acumulados do investimento	39
Tabela 5 – Payback Simples	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CE	Ceará
	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo
CRESESB	Brito
c-Si	Silício Cristalino
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
MME	Ministério de Minas e Energia
m-Si	Silício Monocristalino
MT	Média Tensão
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
p-Si	Silício Policristalino
REN	Resolução Normativa
Si	Silício
TE	Tarifa de Energia
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UC	Unidade Consumidora
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Contexto	14
1.2	Objetivos	16
1.3	Estrutura do Trabalho	17
2	Referencial Teórico	18
2.1	Energia Solar.....	18
2.2	O Sistema Fotovoltaico	19
2.2.1	Módulo Fotovoltaico	19
2.2.2	Inversor	21
2.2.3	Proteções	23
2.2.4	Estruturas	24
2.3	Geração Distribuída.....	25
2.4	Indicadores Financeiros	26
2.4.1	Valor Presente Líquido (VPL).....	26
2.4.2	Payback Simples (Retorno).....	27
3	Planta Solar – Estudo de Caso.....	28
3.1	Localização	28
3.2	A Usina	29
3.2.1	Forma de Conexão.....	30
3.3	Fatura de Energia.....	31
3.4	Análise Financeira	32
3.4.1	Cálculo de VPL	37
3.4.2	Cálculo de Payback Simples	38
4	Conclusão.....	41
5	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	42
	Referências	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

As fontes alternativas de energia são cada vez mais presentes na vida de qualquer pessoa, em qualquer parte do mundo. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN – Relatório Final 2020, EPE), no Brasil, no ano de 2020, a geração de energia elétrica, considerando todas as fontes de geração, foi de 621,2 TWh. Desse total, 65,2% são provenientes de fontes hidráulicas, 9,1% de biomassa, 8,8% de fontes eólicas e 1,66% de geração fotovoltaica (FV), totalizando 84,76% sendo proveniente de fontes renováveis.

O Brasil, no ano de 2021 está passando por um período de seca severa, de maneira que os reservatórios e bacias hidrelétricas do país estão em níveis alarmantes, o que dificulta o fornecimento de energia, além de torná-la mais cara, tendo em vista que o país possui a geração Hidrelétrica como fonte principal de geração de energia elétrica. Nesse caso, uma alternativa para diminuir os impactos ambientais, emissão de gases poluentes e baratear o custo da energia elétrica é a micro/minigeração distribuída.

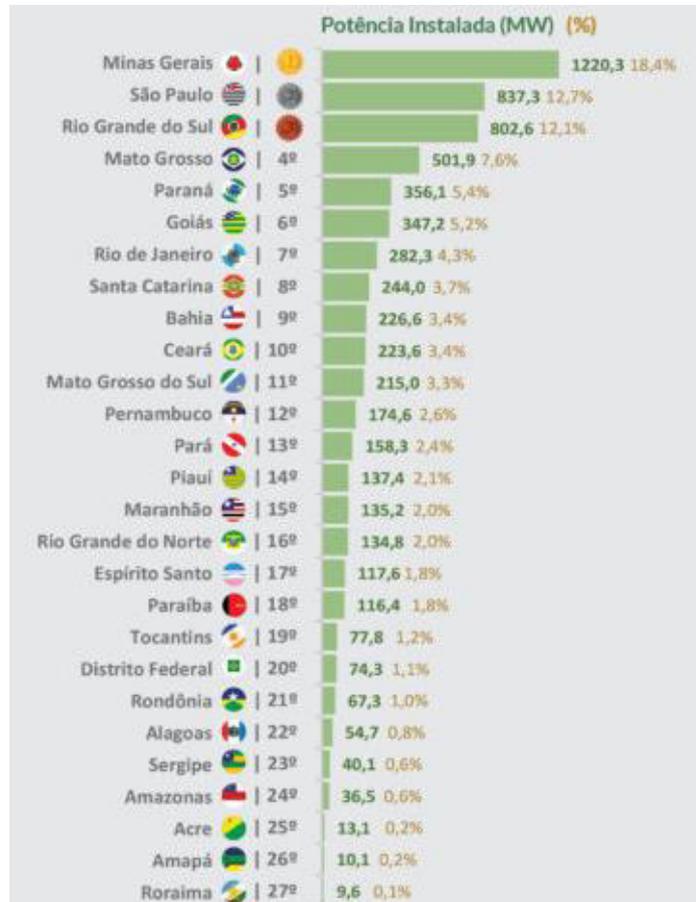
As modalidades de Geração Distribuída (GD) foram regulamentadas pela Resolução Normativa 482 (REN 482/2012), da ANEEL, e sua revisão, em 2015, além das normas regulamentadoras de cada concessionária de energia, que foram feitas após esse período. Essas normas regulam a instalação e conexão de sistemas de GD, cada um com suas particularidades e necessidades específicas. Em janeiro de 2022, foi lançada a lei 14.300/22, que define o marco legal da geração distribuída. As definições dessa lei só entrarão em vigor para os acessantes de GD a partir do ano de 2023, sendo, no caso desse trabalho, desconsiderados.

A cada dia, as tecnologias – principalmente no âmbito da geração FV – se aprimoram, tornando-se mais baratas e eficientes, fazendo com que esta se torne cada vez mais convidativa ao consumidor comercial, residencial ou industrial. Segundo o infográfico da Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR) mostrado no Gráfico 1, o estado do Ceará é o 10º estado brasileiro com maior potência instalada de geração FV, com 182,3 MW de potência instalada, enquanto que o município de Fortaleza/CE, está em 6º lugar dos municípios do país, com 45,0 MW de potência instalada.

Tendo em vista o constante aumento do consumo de energia elétrica, especialmente em Unidades Consumidoras (UC's) comerciais e industriais, aliado à melhora de eficiência das tecnologias empregadas, barateamento das tecnologias e aumento d facilidade de acesso à essas

tecnologias, o esperado é que a cada ano que se passe, a utilização de fontes de micro e minigeração distribuída sejam mais fortes e se façam mais presentes na matriz energética brasileira.

Gráfico 1 – Ranking Estadual de Potência Instalada de GD

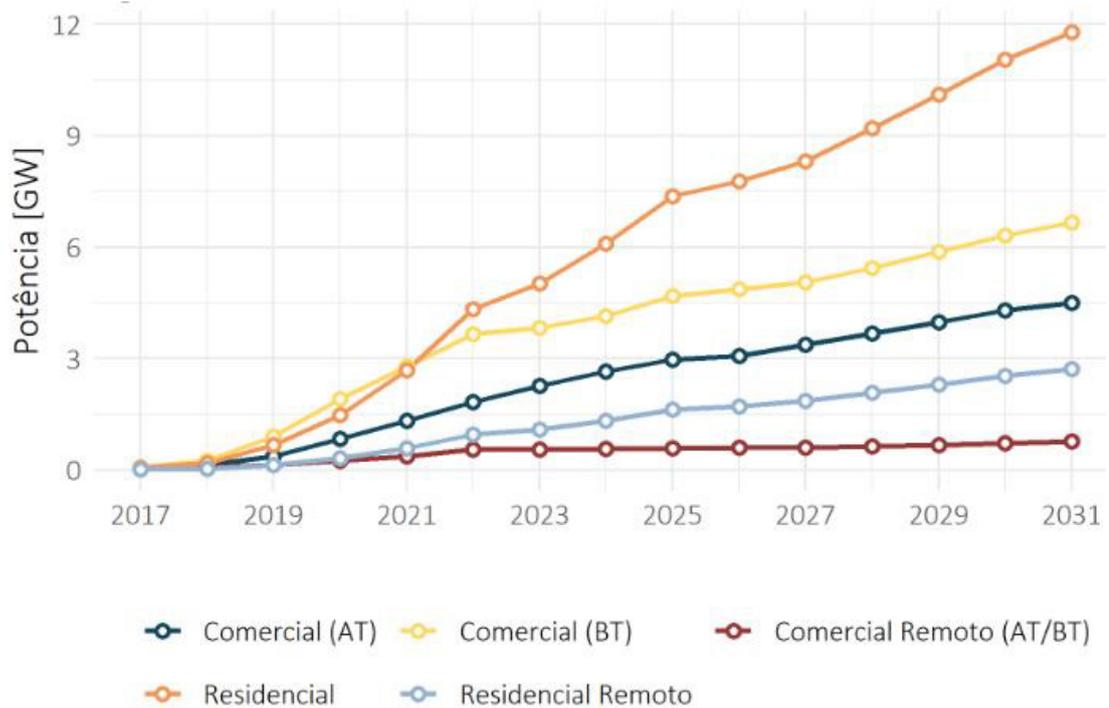


Fonte: ANEEL/ABSOLAR 2021

Ao observar o Plano Decenal de Expansão de Energia 2031, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), no horizonte dos próximos 10 anos (2021-2031), é possível notar o expressivo crescimento da potência de geração, o que, por sua vez, indica que haverá grande aumento na adesão dos consumidores, em específico os comerciais e residenciais, como pode ser visto no Gráfico 2.

Dentro desse panorama, este trabalho aborda as características físicas e de projeto de uma usina de minigeração distribuída, mas também analisa, do ponto de vista financeiro, a instalação dessa usina, levantando informações de Valor Presente Líquido (VPL) e Payback deste empreendimento.

Gráfico 2 – Projeção de crescimento da capacidade instalada de GD



Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2031, EPE – 2021

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa calcular e analisar a viabilidade técnica e financeira de uma usina FV 391,13 kWp conectada à rede, localizada em Acarape-CE.

1.2.2 Objetivos Específicos

Temos, como objetivos específicos:

- Apresentar um referencial teórico a respeito da geração de energia FV;
- Apresentar os itens componentes de um sistema FV, bem como suas características;
- Calcular os indicadores financeiros de interesse, sendo eles o VPL e *Payback*;
- Analisar os indicadores, atestando a viabilidade financeira do investimento.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é dividido em 4 capítulos, que são divididos da seguinte forma:

O Capítulo 1 introduz o contexto energético brasileiro, além de apresentar os objetivos do trabalho e como o mesmo foi estruturado.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, tratando dos conceitos das modalidades de geração, do modo de funcionamento dos equipamentos componentes do sistema de geração e mostrando algumas estruturas comumente utilizadas.

O Capítulo 3 trata das características da planta solar, apresentando a potência de geração, transformação, as características do sistema e ainda fazendo a análise de viabilidade financeira da instalação da usina.

O Capítulo 4 apresenta os resultados e a conclusão do trabalho, sendo possível analisar os indicadores referentes à usina em questão.

O Capítulo 5 sugere alguns assuntos que podem ser desenvolvidos em futuros trabalhos acadêmicos, relacionados à esta usina.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

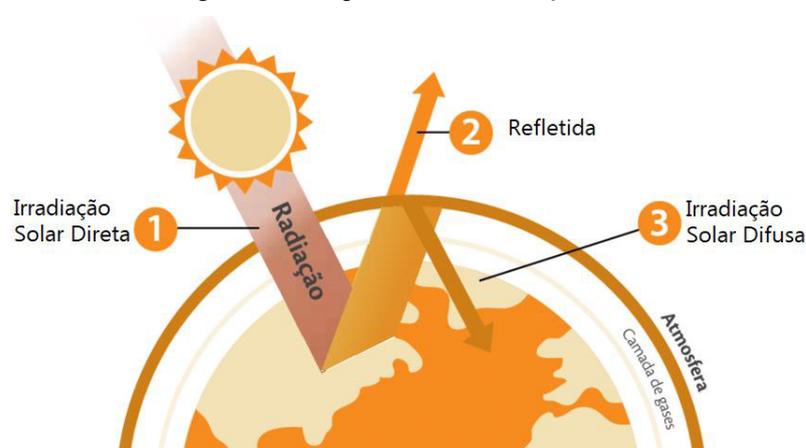
2.1 Energia Solar

O responsável pela geração a partir da energia solar é o efeito fotovoltaico, que descreve a geração de energia elétrica a partir da projeção de fótons (energia luminosa) em materiais semicondutores, principalmente o Silício (Si). Esse efeito acontece devido a uma característica fundamental dos materiais semicondutores, que se refere às bandas de energia deste tipo de material. Ao ser excitado pelos fótons, os elétrons partem da camada de valência e vão à camada de condução, fazendo com que seja gerada uma tensão elétrica.

Os fótons que excitam os materiais semicondutores são partes constituintes da radiação solar, necessária para a geração FV. Existem alguns componentes da irradiação solar, os quais podem ser vistos na Figura 1, e são divididos em:

- Irradiação Global: toda a energia proveniente do sol que chega à superfície terrestre;
- Irradiação Refletida (Albedo): é a parcela da luz solar proveniente da reflexão dos objetos circundantes no solo, edifícios, etc.;
- Irradiação Difusa: fração da irradiação solar que atravessa a atmosfera sendo difundida por nuvens ou outros constituintes atmosféricos;
- Irradiação Direta: a parcela da irradiação solar que chega diretamente à superfície terrestre, sem sofrer nenhum tipo de interação.

Figura 1 – Componentes da irradiação solar



Fonte: GHS Engenharia

Logo, é necessário que haja algum equipamento feito com células de silício para captar a irradiação solar, e, por meio do já citado efeito FV, gerar energia elétrica.

2.2 O Sistema Fotovoltaico

Um sistema FV é composto de diversos equipamentos, para não só captar a irradiação solar, mas sendo necessário também fazer a conversão da energia captada, e por fim armazenamento ou injeção da energia gerada na rede da concessionária. Os equipamentos necessários para a implantação de uma usina FV serão apresentados a seguir.

2.2.1 Módulo Fotovoltaico

O módulo ou painel FV é o dispositivo responsável por captar a irradiação solar e converter essa irradiação em energia elétrica. Ele consiste em uma grande quantidade (a depender do módulo) de células de material semicondutor, normalmente silício cristalino (c-Si) conectadas entre si. Os módulos são classificados como monocristalinos (m-Si) ou policristalinos (p-Si), e essa denominação se deve ao modo como é construído as células fotovoltaicas de cada painel (PORTAL SOLAR).

Painéis monocristalinos (m-Si) possuem uma eficiência superior (15% a 22%), mas também possuem maior custo. Na Figura 2 pode ser visto um módulo FV monocristalino.

Figura 2 – Módulo FV Monocristalino



Fonte: Portal Solar

Os módulos policristalinos (p-Si) tem formato e tamanho parecidos com os monocristalinos, porém, possuem eficiência ligeiramente menor (14% a 20%) e preço inferior.

A Figura 3 mostra um módulo policristalino.

Figura 3 – Módulo FV Policristalino



Fonte: Portal Solar

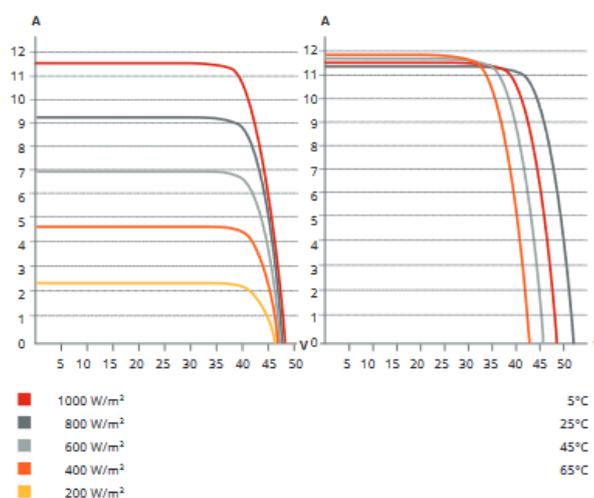
Os módulos FV ao receberem a irradiação solar geram corrente contínua, que não pode ser injetada diretamente na rede elétrica de distribuição, pois esta opera em corrente alternada. Logo, faz-se necessário a utilização de um equipamento para fazer a conversão CC-CA, sendo esse dispositivo o inversor.

Um módulo FV normalmente é conhecido ou comercializado principalmente pelo seu fabricante, seu valor de potência nominal, e alguns dados relevantes, como por exemplo a eficiência do mesmo, Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}), Tensão de Máxima Potência (V_{mp}), Corrente de Máxima Potência (I_{mp}), etc. Essas informações devem ser analisadas e podem ser encontradas na folha de dados do equipamento. Normalmente, as características elétricas são relacionadas por meio de curvas, as quais são, principalmente, as Curvas I-V e P-V, que relacionam, respectivamente, as condições e valores de corrente para determinados valores de tensão, e, os valores de potência para determinados valores de tensão, sendo possível assim, determinar a condição de máxima potência (PINHO; GALDINO, 2014), ou seja, na qual o módulo FV terá o melhor desempenho possível. Um exemplo dessas curvas pode ser visto na Figura 4, que se refere às curvas I-V e P-V do modelo CS3W-435MS, da fabricante Canadian Solar (Canadian Solar, 2020).

A análise dos dados e características elétricas dos módulos FV são fundamentais para o dimensionamento adequado de uma usina solar FV, tendo em vista que essas informações influenciarão nas características e especificações dos outros equipamentos necessários para o

funcionamento do sistema.

Figura 4 – Curva I-V e P-V do módulo FV CS3W-435MS



Fonte: Canadian Solar

2.2.2 Inversor

O inversor é um equipamento eletrônico responsável por receber o sinal de corrente contínua gerado pelos módulos, convertê-lo para corrente alternada e injetá-lo na rede elétrica. Existem, atualmente, duas tecnologias principais desses dispositivos, as quais são os Microinversores e os Inversores convencionais (Portal Solar, 2021).

Os microinversores são dispositivos também responsáveis por fazer a conversão de corrente contínua para corrente alternada, porém, possuem maior eficiência, além de algumas peculiaridades de instalação, porém, graças a isso, são mais caros, tornando-se menos convidativos nesse aspecto. Só podem ser conectados no máximo 4 módulos a um único microinversor, o que não ocorre no caso do inversor convencional. Além disso, nos modelos mais recentes, como por exemplo o modelo HMS-1800-4T, de 1,8 kW, monofásico, da fabricante Hoymiles, só permite que no máximo 2 microinversores sejam ligados em série (Hoymiles, 2021).

É importante citar, também, que o nível de potência dos inversores e microinversores é muito discrepante. Como os microinversores só podem ser conectados a 4 módulos FV, o nível de potência injetada na rede de cada equipamento é bem inferior ao de um inversor convencional, necessitando de muitos microinversores para uma geração de grande porte, tornando, assim, a usina FV muito mais cara. Essas informações são explicitadas na

folha de dados do equipamento. A Figura 5 mostra um microinversor da fabricante Hoymiles, modelo HMS-1800-4T (Hoymiles, 2021).

Figura 5 – Microinversor Hoymiles, modelo HMS-1800-4T



Fonte: Genyx Solar Power

Os inversores convencionais, por sua vez, são os mais utilizados. São pouco menos eficientes, mais baratos, e possuem a quantidade máxima de módulos a depender do inversor. As informações relevantes para o dimensionamento adequado desses dispositivos também são encontradas na folha de dados deles, e estas devem ser muito bem analisadas, tendo em vista que um mal dimensionamento ou uso inadequado pode levar à queima ou perda de eficiência do equipamento. A Figura 6 mostra um inversor convencional, muito utilizado em sistemas FV residenciais, modelo MIN6000TL-X, de 6 kW, monofásico, da fabricante Growatt (Growatt Brasil, 2020).

Figura 6 – Inversor convencional, modelo MIN6000TL-X



Fonte: Growatt Brasil

2.2.3 Proteções

As proteções do sistema FV são feitas, em sua maioria, no próprio inversor. É importante citar, também, que inversores de menor potência normalmente são instalados e conectados a um dispositivo chamado String Box, que tem por objetivo fazer a proteção contra surtos (por meio de DPS's) e demais proteções em corrente contínua do equipamento. Este dispositivo é instalado à montante do inversor, e recebe os cabos diretamente dos módulos. Além das proteções da String Box, também há, no inversor, as proteções contra sub e sobretensão, proteção contra curto-circuito CA, entre outras, também a depender do inversor utilizado. Um exemplo pode ser visto na Tabela 1, que se refere às proteções de um inversor da fabricante Growatt, modelo MIN6000TL-X (Growatt Brasil, 2020).

Tabela 1 – Proteções presentes no inversor

Dispositivos de proteção – Growatt MIN6000TL-X	
Proteção de polaridade reversa de CC	Sim
Interruptor CC	Sim
Proteção sobretensão CC	Tipo III
Monitoramento de resistência de isolamento	Sim
Proteção de sobretensão CA	Tipo III
Proteção contra curto-circuito CA	Sim
Monitoramento de falta à terra	Sim
Monitoramento de grade	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim
Unidade de monitoramento do corrente residual	Sim

Fonte: Growatt Brasil, 2020

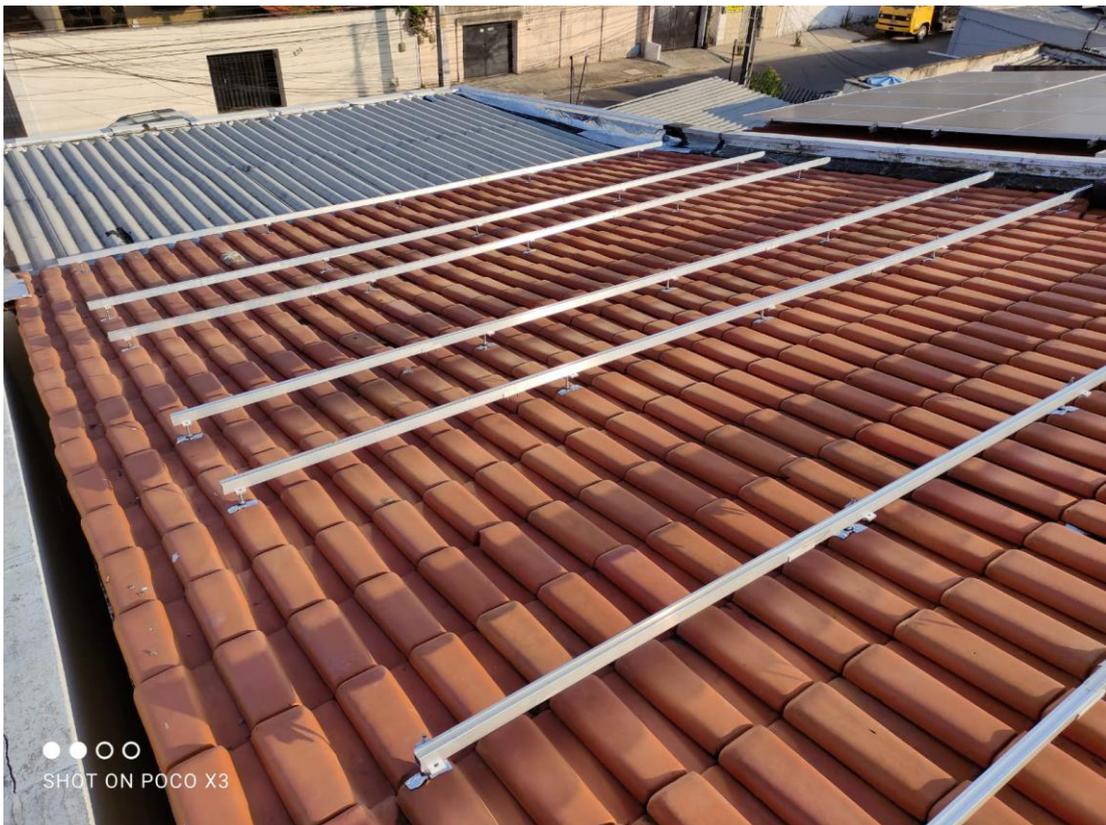
Além dessas proteções, é imprescindível, em qualquer usina FV, instalar dispositivos de proteção no lado CA, com o objetivo de fazer a proteção termomagnética do circuito do inversor, além de dispositivos de proteção contra surtos (DPS's), etc.

2.2.4. Estruturas

Os módulos são fixados em uma estrutura, a depender do local de instalação. Em sistemas FV residenciais, instalados em telhado de tipo colonial, os módulos são instalados em cima de trilhos, que são fixos diretamente nas linhas de madeira que sustentam o telhado. Um exemplo desse tipo de instalação pode ser visto na Figura 7. Os módulos são instalados e fixos por meio de terminais finais e intermediários. Esses também são itens constituintes do kit de estruturas (Solar Group, 2021).

Para sistemas de maior potência, os quais normalmente são instalados em solo, existem outros tipos de estruturas, e um exemplo dessas estruturas pode ser visto na Figura 8. Nesse caso específico, as estruturas são fixadas acima do solo, em blocos de concreto.

Figura 7 – Instalação de trilhos em telhado colonial



Fonte: Próprio Autor

Figura 8 – Instalação de estruturas em solo



Fonte: Domus Solar

2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Como foi citado no capítulo anterior, a geração distribuída foi regulamentada pela ANEEL, por meio da publicação da Resolução Normativa 482 (REN 482/2012), feita no ano de 2012 e posterior publicação da Resolução Normativa 687 (REN 687/2015), feita no ano de 2015, com o objetivo de alterar a REN 482/2012, além dos Módulos 1 e 3 do PRODIST (www.aneel.gov.br/geracao-distribuida).

A REN 687/2015 é a resolução que dita as normas e regras base que as concessionárias fornecedoras de energia elétrica devem seguir. Esta resolução definiu e segmentou os níveis de carga instalada de geração, criando categorias, das quais as principais são:

- Microgeração Distribuída: Uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75kW, e que utilize cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- Minigeração Distribuída: Uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 3MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5MW para cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Além da criação das categorias de geração, a REN 687/2015 definiu a algumas modalidades de geração, que podem ser:

- Geração Compartilhada: Se caracteriza pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão, por meio de consórcio ou cooperativa, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;
- Autoconsumo Remoto: Se caracteriza por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada.

Além da REN 482, foi aprovada, em 6 de janeiro de 2022, a lei N° 14.300, que institui o marco legal da GD, fazendo pequenas mudanças na norma já existente, e, ainda, apresentando aumento na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), a partir do ano de 2023. Esta lei não possui retroatividade, fazendo com que as usinas instaladas antes de 2023 não sofram com esse aumento.

2.4 Indicadores financeiros

Para concluir a análise do ponto de vista financeiro deste investimento, fez-se necessário nos utilizar de alguns indicadores, os quais serão o Valor Presente Líquido (VPL) e o *Payback* Simples (retorno). Na grande maioria dos investimentos de médio e longo prazo, são feitos os cálculos desses indicadores e sua posterior análise, para verificar se o investimento é realmente viável ou não.

2.4.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é um excelente indicador para estimar o quão lucrativo será um investimento, pois este leva em consideração os fluxos de caixa previstos, considerando a Taxa

Mínima de Atratividade (TMA), que representa a taxa mínima que o investidor deve ganhar ao aplicar seus recursos (Pilão e Hummel, 2013). O cálculo do VPL se fundamenta justamente no princípio de que o dinheiro se desvaloriza ao longo do tempo, sendo assim, para calculá-lo, é necessário analisar todos os fluxos de caixa previstos para o futuro, e, ajustando as taxas de juros, calculamos quanto esse empreendimento daria retorno na data presente. De posse desses valores de fluxos de caixa na data presente, subtraímos o valor investido e assim é possível estimar o quão lucrativo será esse investimento. A equação (1) define o cálculo do VPL (Horngren et al., 2000).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} - I \quad (1)$$

Sendo:

FC_t: Fluxo de caixa no t-ésimo período, em R\$;

I: Investimento inicial, em R\$;

k: Taxa Mínima de Atratividade (TMA), em %;

t: quantidade de tempo analisada, normalmente dada em anos.

Com o cálculo feito, o valor de VPL deve ser analisado. Caso o resultado do VPL seja positivo, o projeto é economicamente viável.

2.4.2 *Payback* Simples (retorno)

O *Payback* Simples é outro indicador financeiro essencial na análise de um investimento, pois ele estima o tempo necessário até o empreendimento dar ao investidor os rendimentos necessários para igualar o valor do investimento inicial. Ou seja, é uma métrica que tem como unidade o tempo. Quanto menor este indicador para um dado empreendimento, melhor, pois isso indica que o investidor vai recuperar o valor investido mais rapidamente. A equação (2) define o cálculo do *Payback* simples (Remer e Nieto (1995)).

$$PBS = N - 1 + \left[\frac{FC_N - S_N}{FC_N} \right] \quad (2)$$

Sendo:

N: Número do período em que o sinal do saldo se torna positivo;

FC_N: Valor do fluxo de caixa do período em que o sinal do saldo se torna positivo;

S_N: Valor do saldo no período em que o sinal do saldo se torna positivo.

3 PLANTA SOLAR – ESTUDO DE CASO

O presente capítulo apresenta a análise de viabilidade financeira da usina supracitada. Essa análise leva em consideração todos os custos envolvidos no processo, levando em consideração também a geração e possíveis custos com energia elétrica que a empresa teria, caso não tive esses custos abatidos pela geração FV. A Figura 9 mostra uma imagem aérea da usina.

Figura 9 – Imagem aérea da usina



Fonte: Próprio Autor

3.1 Localização

Como já citado, a planta se localizará no município de Acarape-CE, mais precisamente no distrito de Canta Galo, em uma fazenda do mesmo proprietário da lavanderia. O local de instalação pode ser visto na Figura 10, e nesta mesma imagem foi indicada a área na qual foi instalada a planta.

Figura 10 – Local de instalação da usina



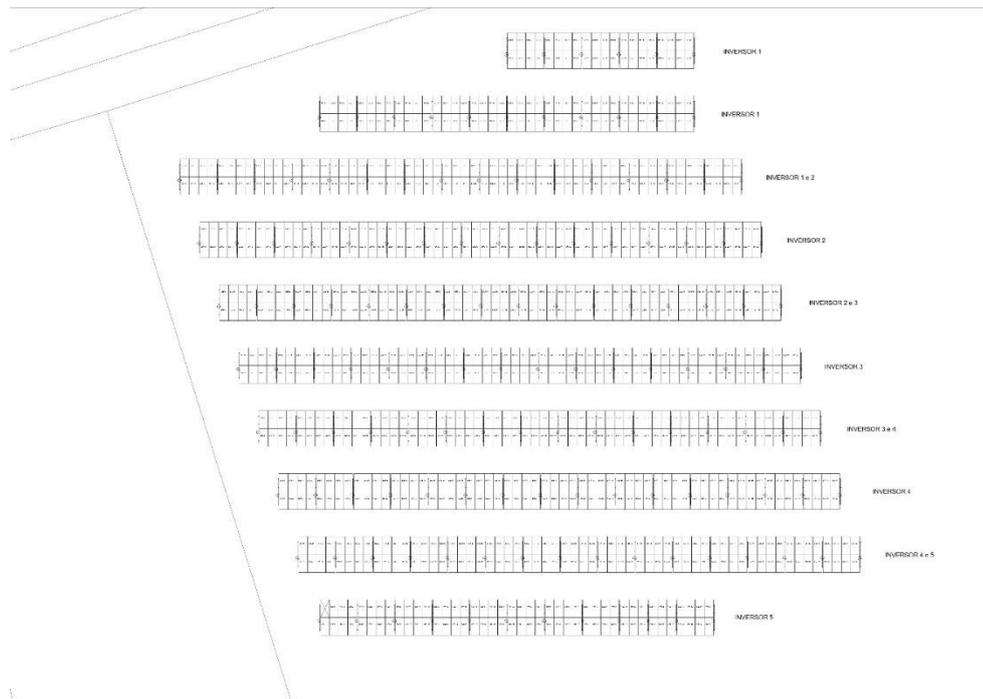
Fonte: Google Earth

3.2 A Usina

A potência de geração escolhida foi 391,13 kW_p, sendo composta por 1043 módulos FV de 375 W_p cada, modelo CS3L-375MS, da fabricante Canadian Solar (Canadian – 2020). Para fazer a interface com o sistema de distribuição da concessionária, serão utilizados 5 inversores de 70 kW cada, modelo MAC70KTL3-X, da fabricante Growatt (Growatt Brasil, 2020), totalizando 350 kW de potência de inversores. A usina foi dimensionada para abater apenas parcialmente o valor da fatura de energia da UC principal, ou seja, ainda será necessário que seja feito o pagamento de uma parcela da conta.

Na Figura 11 é possível observar como foram dispostos os módulos FV, sendo divididos em 49 strings de 20 módulos e 3 strings de 21 módulos. Estes foram instalados em estruturas apropriadas para fixação em solo, conforme mostrado no Tópico 2.3.4 deste trabalho.

Figura 11 – Disposição dos módulos FV



Fonte: Próprio Autor

3.2.1 Forma de Conexão

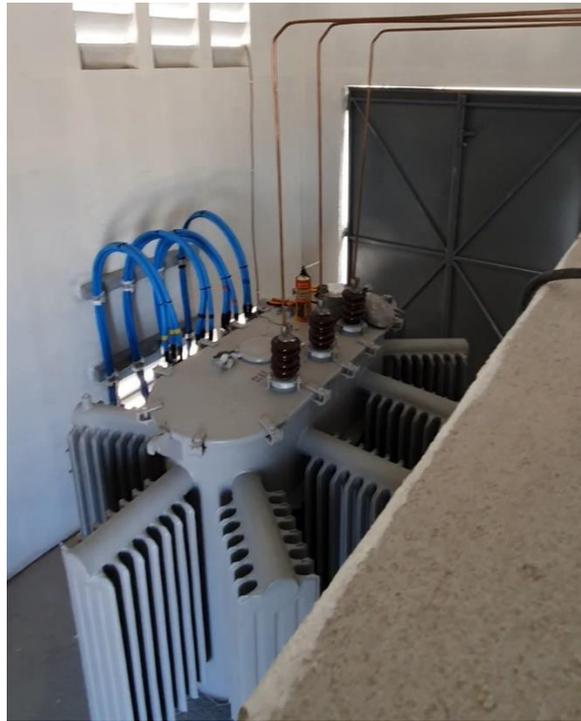
Conforme Especificação Técnica N° 122, Versão N° 2, Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Enel Distribuição Ceará, o fornecimento de energia elétrica deve ser feito em média tensão (13,8 kV), uma vez que a potência disponibilizada pela Enel está entre 75 kW e 5000 kW. No caso em questão, no qual a UC possui minigeração distribuída com carga instalada de 391,13 kWp e demanda contratada de 350 kW, ela deverá ser atendida em Média Tensão (MT), em 13,8 kV.

A Enel Distribuição Ceará também requer, na ET-942, que nos casos em que a potência de transformação seja superior a 300 kVA, seja construída uma subestação abrigada para esta UC. Além disso, também se faz necessário que seja feita a proteção em média tensão por meio de disjuntor e relé de proteção, contemplando as funções 50/51 (fase e neutro), itens que se encontram dentro da subestação, no cubículo de entrada. Como o ramal de entrada é subterrâneo, os cabos que fazem a entrada de energia são cabos de média tensão, isolados, com muflas terminais, primárias, unipolares, nas duas extremidades dos cabos.

Para dimensionar o transformador necessário para fazer o atendimento em média tensão dessa usina, foi necessário calcular a demanda da mesma. A demanda contratada deve ser no mínimo igual à potência nominal dos inversores, logo, a demanda mínima é de 350 kVA.

Considerando um fator de segurança de 30%, a demanda total será de 455 kVA. Dessa forma, o transformador escolhido para esta subestação, por motivos de disponibilidade no mercado e conveniência, foi trifásico, à óleo, da fabricante WEG, com potência nominal igual a 500 kVA, 13,8/0,38 kV. A Figura 12 mostra uma imagem do transformador utilizado.

Figura 12 – Transformador de 500 kVA



Fonte: Próprio Autor

3.3 Fatura de Energia

Para calcular o valor da fatura de energia do Grupo A (MT), a ANEEL, por meio dos Procedimentos de Regulação Tarifárias (PRORET) prevê a utilização de dois tipos de tarifas principais, sendo elas tarifa ponta e fora ponta. Para isso, se pode entender como sendo a divisão do dia em dois intervalos de tempo, o horário fora ponta e o horário de ponta. No horário de ponta, o consumo em toda a área de concessão é normalmente maior, portanto, como uma forma de incentivar a diminuição do consumo, a tarifa é bem superior à tarifa no horário fora ponta. No horário fora ponta, que dura praticamente todo o horário comercial, a tarifa é inferior, tendo em vista que o consumo também é menor.

Além de tarifa fora ponta e tarifa ponta, a ANEEL também divide a sua tarifa, dentro dessas categorias, em duas componentes: Tarifa de Energia (TE) e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). A TE é relacionada apenas ao consumo de energia, em kWh, enquanto

que a TUSD é referente ao custo que a concessionária tem com equipamentos, componentes da rede e instalações elétricas em todo o sistema de distribuição, ou seja, a soma das duas componentes é igual ao valor da conta a ser pago. O valor da tarifa de energia fora ponta da Enel Ceará é R\$ 0,43455, enquanto o valor da tarifa de energia hora ponta é R\$ 2,27157. Além disso, uma UC do Grupo A deve, obrigatoriamente, pagar a Demanda Contratada, que dependerá da demanda calculada da UC. A demanda contratada é expressa em kW, e custa R\$ 27,14614/kW.

A UC na qual foi instalada a usina em questão é do Grupo A, e não possui consumo além das cargas auxiliares da SE (tomadas, iluminação de emergência, etc), logo, conforme exigência da Enel Ceará, a demanda contratada dessa UC deve ser no mínimo igual à potência dos inversores, 350 kW. Como não há consumo, toda a energia injetada é transformada e créditos e direcionada à UC beneficiária, que recebe todos os créditos gerados pela usina FV.

3.4 Análise Financeira

O investimento total na usina em questão foi da ordem de R\$1.325.000,00, com os valores aproximados destinados à cada etapa da construção sendo mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores da usina FV

Descrição	Valor
Materiais CC - Módulos FV, Inversores, Estruturas	R\$ 925.000,00
Materiais CA - Cabos, Eletrodutos, Caixas de Passagem	R\$ 150.000,00
Materiais da Subestação	R\$ 125.000,00
Construção da Subestação	R\$ 40.000,00
Mão-de-obra e serviços em geral	R\$ 85.000,00
Total	R\$ 1.325.000,00

Fonte: Próprio Autor

De posse das informações apresentadas até este ponto, é possível calcular a geração anual da usina. Para calcular esta geração, é necessário utilizar as informações de irradiação solar média diária para o local de instalação da usina. Com essa informação, é calculada a geração diária e mensal. Após isso, levando em consideração o valor da tarifa de energia, é calculado o valor correspondente à geração mensal. Em seguida, é feito um comparativo entre o quanto seria pago sem a usina FV, e o quanto ainda é pago com a usina. A equação (3) define o cálculo da geração média diária. Os valores de irradiação solar diária para o município de Acarape/CE podem ser encontrados no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

Sérgio de Salvo Brito (CRESESB, 2022).

$$Geração_{DIÁRIA} = N_{MOD} * A_{MOD} * EF_{MOD} * IR_{DIÁRIA} * E \quad (3)$$

Sendo:

N_{MOD} : quantidade total de módulos instalados;

A_{MOD} : área de um módulo FV (1,95m², calculado pelo Datasheet), em m²;

EF_{MOD} : eficiência do módulo FV, em % (considerado 18%);

$IR_{DIÁRIA}$: irradiação solar diária média, kWh/m²*dia;

E : eficiência do sistema, em % (considerado 81%).

Considerando a irradiação solar diária média para o mês de janeiro, pode-se calcular:

$$Geração_{DIÁRIA_JANEIRO} = 1043 * 2,08 * 0,18 * 0,81 * 5,36 = 1.695,4 \text{ kWh/dia}$$

De posse desse dado, a geração média mensal é calculada pela multiplicação da geração média diária pela quantidade de dias de cada mês, conforme equação (4).

$$Geração_{MENSAL} = Geração_{DIÁRIA} * D \quad (4)$$

Sendo:

$Geração_{DIÁRIA}$: geração diária do sistema, em kWh;

D : a quantidade de dias do mês;

Considerando a geração diária para o mês de janeiro, se pode calcular:

$$Geração_{MENSAL_JANEIRO} = 1.695,4 * 31 = 52.557,1 \text{ kWh}$$

Com o valor de geração mensal da usina, é possível calcular o valor gerado, levando em consideração o valor da tarifa de energia fora ponta, já citado no tópico 3.3. A equação (5) demonstra este cálculo.

$$Valor_{GERADO} = Geração_{MENSAL} * T_{FORA-PONTA} \quad (5)$$

Sendo:

$Gera\tilde{c}\tilde{a}\tilde{o}_{MENSAL}$: a gera\~{c}\~{a}\~{o} m\~{e}dia mensal da usina, kWh;

$T_{FORA-PONTA}$: tarifa de energia fora ponta, em R\$.

Para o m\~{e}s de janeiro, temos:

$$Valor_{GER_JANEIRO} = 52.557,1 * 0,43455 = R\$ 22.838,70$$

Para calcular o valor que seria pago sem a usina, basta multiplicar o consumo m\~{e}dio mensal pela tarifa de energia fora ponta, conforme equa\~{c}\~{a}\~{o} (5). Para finalizar esta etapa, \~{e} necess\~{a}rio calcular o valor de energia que seria pago com a instala\~{c}\~{a}\~{o} da usina. A equa\~{c}\~{a}\~{o} (6) define esse c\~{a}lculo.

$$Valor_{COM_GD} = D_{USINA} * Tarifa_D + Valor_{SEM_GD} - Valor_{GER} \quad (6)$$

Sendo:

D_{USINA} : demanda contratada para a UC que recebe a usina FV, em kW;

$Tarifa_D$: tarifa por demanda contratada, em R\$;

$Valor_{SEM_GD}$: valor que seria pago \~{a} Enel, caso a usina n\~{a}o fosse instalada, em R\$;

$Valor_{GER}$: valor correspondente \~{a} gera\~{c}\~{a}\~{o} FV, calculado pela equa\~{c}\~{a}\~{o} (5), em R\$;

Calculando o valor a ser pago com GD para o m\~{e}s de janeiro, temos:

$$Valor_{COM_GD} = 350 * 27,14614 + 28.064,11 - 22.838,70 = R\$ 14.726,56$$

Repetindo este mesmo c\~{a}lculo para todos os meses do ano, considerando a diferen\~{c}\~{a} de irradia\~{c}\~{a}\~{o} solar e quantidade de dias, \~{e} poss\~{i}vel analisar o valor economizado durante um ano. A

Tabela 3 apresenta um resumo desses c\~{a}lculos, considerando valores m\~{e}dios de consumo mensal.

Tabela 3 – Geração prevista anual da Usina FV

Geração Prevista Anual									
Mês	Irrad. solar diária méd. (kWh/m ²)	Geração diária (kWh)	Geração Mensal (kWh)	FC (%)	Produtiv. (%)	Valor Gerado	Consumo (kWh/mês)	Valor sem GD	Valor com GD
Jan	5,36	1695,4	52557,1	0,21	0,15	R\$ 22.838,70	64582,0	R\$ 28.064,11	R\$ 14.726,56
Fev	5,41	1711,2	47913,8	0,19	0,14	R\$ 20.820,93	63458,0	R\$ 27.575,67	R\$ 16.255,89
Mar	5,31	1679,6	52066,9	0,21	0,15	R\$ 22.625,65	64523,0	R\$ 28.038,47	R\$ 14.913,96
Abr	4,84	1530,9	45927,4	0,18	0,13	R\$ 19.957,75	64365,0	R\$ 27.969,81	R\$ 17.513,21
Mai	5,05	1597,3	49517,4	0,20	0,14	R\$ 21.517,81	67564,0	R\$ 29.359,94	R\$ 17.343,28
Jun	4,9	1549,9	46496,7	0,18	0,13	R\$ 20.205,16	62582,0	R\$ 27.195,01	R\$ 16.491,00
Jul	5,3	1676,4	51968,8	0,21	0,15	R\$ 22.583,04	62459,0	R\$ 27.141,56	R\$ 14.059,66
Ago	5,97	1888,3	58538,4	0,23	0,17	R\$ 25.437,88	64280,0	R\$ 27.932,87	R\$ 11.996,14
Set	6,29	1989,6	59686,6	0,24	0,17	R\$ 25.936,83	61760,0	R\$ 26.837,81	R\$ 10.402,13
Out	6,21	1964,3	60891,8	0,24	0,17	R\$ 26.460,51	61895,0	R\$ 26.896,47	R\$ 9.937,11
Nov	6,1	1929,5	57883,7	0,23	0,17	R\$ 25.153,36	64526,0	R\$ 28.039,77	R\$ 12.387,56
Dez	5,58	1765,0	54714,3	0,22	0,16	R\$ 23.776,11	62735,0	R\$ 27.261,49	R\$ 12.986,53
Méd.	5,53	1748,1	53180,3			R\$ 23.109,48	63727,4	R\$ 27.692,75	R\$ 14.084,42
Total	-	-	638163,0			R\$ 277.313,74	764729,0	R\$ 332.312,99	R\$ 169.013,04

Fonte: Próprio Autor

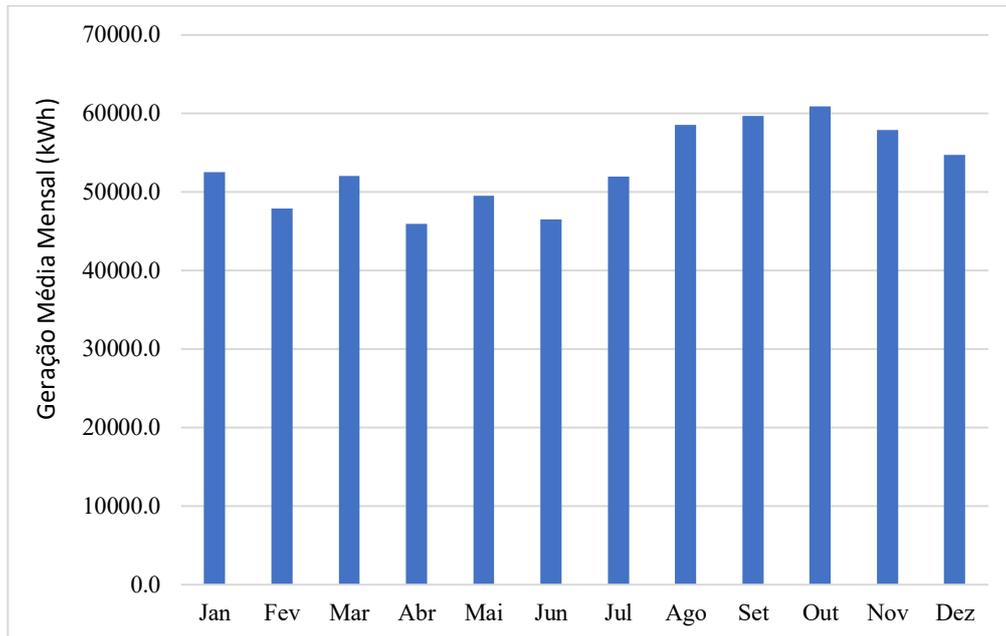
É possível notar que o valor pago mesmo com instalação da usina ainda é alto, tendo em vista que se faz necessário pagar a demanda contratada da UC geradora e os demais custos com energia que não são abatidos pela usina.

É importante notar, ainda, a variação nos valores de geração durante os meses, o que está conforme esperado, pois a geração varia em função do clima, que é mais chuvoso e conseqüentemente possui menor geração no primeiro semestre do ano, sendo compensado pelo segundo semestre.

O Gráfico 3 ilustra o conteúdo da

Tabela 3, mostrando uma previsão da geração média mensal da usina.

Gráfico 3 – Geração prevista anual da Usina FV



Fonte: Próprio Autor

Observando o horizonte dos próximos 25 anos (tempo de garantia dos módulos FV dado pelo fabricante contra defeitos de fabricação), partindo de 2021 até 2045, foram feitos os fluxos de caixa para esse período, considerando um valor de geração média anual igual a 764.729 kWh, um aumento médio de 6% ao ano no valor da tarifa de energia, além de considerar, também, a perda de eficiência de geração anual, da ordem de 1%.

Considerando o consumo anual total apresentado na

Tabela 3, foi calculado o quanto a UC consumirá de energia ao longo dos anos, além de calcular o quanto será efetivamente pago mesmo com a implantação da usina, e de posse desses dois valores, foi calculado a diferença entre os dois, ou seja, o quanto será efetivamente economizado com a implantação da usina. Um resumo dessas informações pode ser visto na Tabela 4.

Como a usina foi dimensionada para abater apenas uma parte do consumo energético total da indústria, no cálculo do valor pago com GD é considerado a demanda contratada da UC, além do excedente de consumo da indústria que não é abatido pela usina FV.

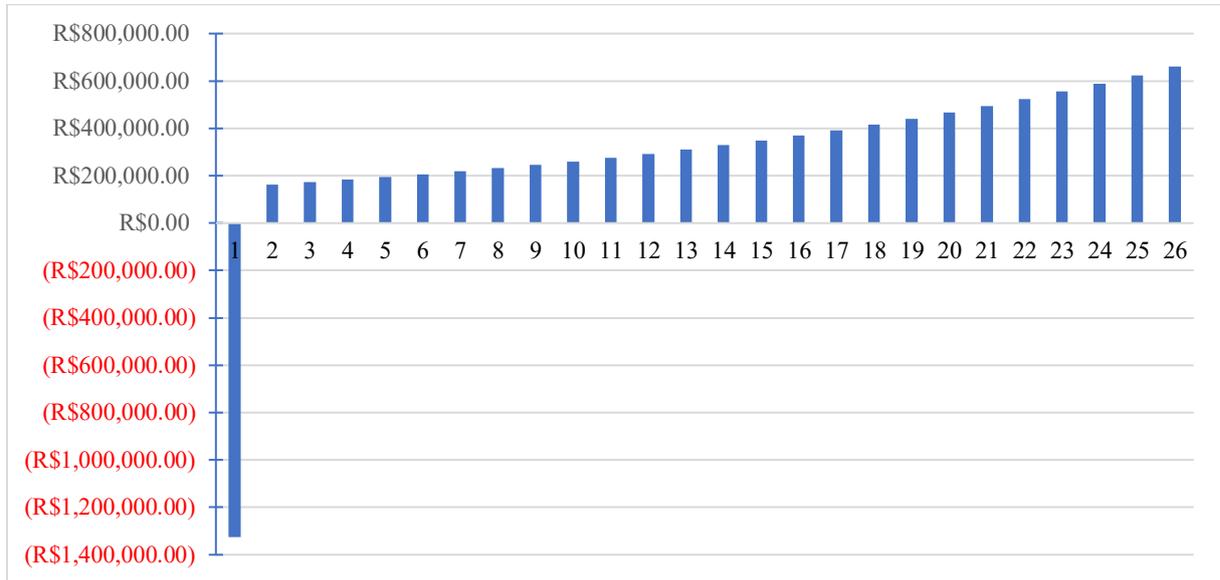
Tabela 4 – Geração prevista e fluxos de caixa da Usina FV em 25 anos

ANO	GERAÇÃO (kWh)	PREÇO (kWh)	VALOR GERADO	CONSUMO (kWh)	VALOR SEM GD	VALOR COM GD	FLUXOS DE CAIXA	
		FORA PONTA					-R\$ 1.325.000,00	
1	2021	639.185,70	R\$ 0,43	R\$ 277.758,15	764.729,00	R\$ 332.312,99	R\$ 169.013,04	R\$ 163.299,95
2	2022	632.793,80	R\$ 0,46	R\$ 291.479,38	764.729,00	R\$ 352.251,77	R\$ 179.153,82	R\$ 173.097,94
3	2023	626.465,90	R\$ 0,49	R\$ 305.878,48	764.729,00	R\$ 373.386,87	R\$ 189.903,05	R\$ 183.483,82
4	2024	620.201,30	R\$ 0,52	R\$ 320.988,91	764.729,00	R\$ 395.790,08	R\$ 201.297,23	R\$ 194.492,85
5	2025	613.999,20	R\$ 0,55	R\$ 336.845,71	764.729,00	R\$ 419.537,49	R\$ 213.375,07	R\$ 206.162,42
6	2026	607.859,20	R\$ 0,58	R\$ 353.485,88	764.729,00	R\$ 444.709,74	R\$ 226.177,57	R\$ 218.532,17
7	2027	601.780,70	R\$ 0,62	R\$ 370.948,14	764.729,00	R\$ 471.392,32	R\$ 239.748,23	R\$ 231.644,10
8	2028	595.762,80	R\$ 0,65	R\$ 389.272,92	764.729,00	R\$ 499.675,86	R\$ 254.133,12	R\$ 245.542,74
9	2029	589.805,20	R\$ 0,69	R\$ 408.503,02	764.729,00	R\$ 529.656,41	R\$ 269.381,11	R\$ 260.275,31
10	2030	583.907,20	R\$ 0,73	R\$ 428.683,11	764.729,00	R\$ 561.435,80	R\$ 285.543,97	R\$ 275.891,82
11	2031	578.068,10	R\$ 0,78	R\$ 449.860,03	764.729,00	R\$ 595.121,95	R\$ 302.676,61	R\$ 292.445,33
12	2032	572.287,40	R\$ 0,82	R\$ 472.083,10	764.729,00	R\$ 630.829,26	R\$ 320.837,21	R\$ 309.992,05
13	2033	566.564,50	R\$ 0,87	R\$ 495.403,99	764.729,00	R\$ 668.679,02	R\$ 340.087,44	R\$ 328.591,58
14	2034	560.898,90	R\$ 0,93	R\$ 519.876,98	764.729,00	R\$ 708.799,76	R\$ 360.492,69	R\$ 348.307,07
15	2035	555.289,90	R\$ 0,98	R\$ 545.558,90	764.729,00	R\$ 751.327,75	R\$ 382.122,25	R\$ 369.205,50
16	2036	549.737,00	R\$ 1,04	R\$ 572.509,50	764.729,00	R\$ 796.407,41	R\$ 405.049,59	R\$ 391.357,83
17	2037	544.239,60	R\$ 1,10	R\$ 600.791,44	764.729,00	R\$ 844.191,86	R\$ 429.352,56	R\$ 414.839,30
18	2038	538.797,20	R\$ 1,17	R\$ 630.470,53	764.729,00	R\$ 894.843,37	R\$ 455.113,71	R\$ 439.729,65
19	2039	533.409,30	R\$ 1,24	R\$ 661.615,87	764.729,00	R\$ 948.533,97	R\$ 482.420,54	R\$ 466.113,43
20	2040	528.075,20	R\$ 1,31	R\$ 694.299,68	764.729,00	R\$ 1.005.446,01	R\$ 511.365,77	R\$ 494.080,24
21	2041	522.794,40	R\$ 1,39	R\$ 728.598,02	764.729,00	R\$ 1.065.772,77	R\$ 542.047,72	R\$ 523.725,05
22	2042	517.566,50	R\$ 1,48	R\$ 764.590,83	764.729,00	R\$ 1.129.719,13	R\$ 574.570,58	R\$ 555.148,56
23	2043	512.390,80	R\$ 1,57	R\$ 802.361,56	764.729,00	R\$ 1.197.502,28	R\$ 609.044,81	R\$ 588.457,47
24	2044	507.266,90	R\$ 1,66	R\$ 841.998,23	764.729,00	R\$ 1.269.352,42	R\$ 645.587,50	R\$ 623.764,92
25	2045	502.194,20	R\$ 1,76	R\$ 883.592,89	764.729,00	R\$ 1.345.513,56	R\$ 684.322,75	R\$ 661.190,81
TOTAL	14.201.340,90			R\$ 13.147.455,26	19.118.225	R\$ 18.232.189,86	R\$ 9.272.817,96	R\$ 8.959.371,90

Fonte: Próprio Autor

O Gráfico 4 mostra os fluxos de caixa do investimento, considerando o investimento inicial para implantação da usina (saída de caixa) e os valores economizados anualmente, desconsiderando o valor total acumulado.

Gráfico 4 – Fluxos de caixa do investimento



Fonte: Próprio Autor

3.4.1 Cálculo de VPL

Com base nas informações encontradas até então, pode-se calcular o VPL do empreendimento. Considerando uma TMA de 10%, foi calculado o VPL, resultando em R\$ 1.140.329,13.

A Tabela 5 mostra um resumo dos fluxos de caixa do investimento, os valores acumulados ao longo dos anos e o VPL.

Tabela 5 – Valores anuais acumulados do investimento

ANO		FLUXOS DE CAIXA	ACUMULADO
		-R\$ 1.325.000,00	-R\$ 1.325.000,00
1	2021	R\$ 163.299,95	-R\$ 1.161.700,05
2	2022	R\$ 173.097,94	-R\$ 988.602,11
3	2023	R\$ 183.483,82	-R\$ 805.118,29
4	2024	R\$ 194.492,85	-R\$ 610.625,44
5	2025	R\$ 206.162,42	-R\$ 404.463,02
6	2026	R\$ 218.532,17	-R\$ 185.930,85
7	2027	R\$ 231.644,10	R\$ 45.713,24
8	2028	R\$ 245.542,74	R\$ 291.255,98
9	2029	R\$ 260.275,31	R\$ 551.531,29
10	2030	R\$ 275.891,82	R\$ 827.423,11
11	2031	R\$ 292.445,33	R\$ 1.119.868,45
12	2032	R\$ 309.992,05	R\$ 1.429.860,50
13	2033	R\$ 328.591,58	R\$ 1.758.452,08
14	2034	R\$ 348.307,07	R\$ 2.106.759,15
15	2035	R\$ 369.205,50	R\$ 2.475.964,65
16	2036	R\$ 391.357,83	R\$ 2.867.322,47
17	2037	R\$ 414.839,30	R\$ 3.282.161,77
18	2038	R\$ 439.729,65	R\$ 3.721.891,42
19	2039	R\$ 466.113,43	R\$ 4.188.004,85
20	2040	R\$ 494.080,24	R\$ 4.682.085,09
21	2041	R\$ 523.725,05	R\$ 5.205.810,14
22	2042	R\$ 555.148,56	R\$ 5.760.958,70
23	2043	R\$ 588.457,47	R\$ 6.349.416,17
24	2044	R\$ 623.764,92	R\$ 6.973.181,09
25	2045	R\$ 661.190,81	R\$ 7.634.371,90
TOTAL		R\$ 7.634.371,90	-
VPL		R\$ 1.140.329,13	-

Fonte: Próprio Autor

3.4.2 Cálculo do *Payback* Simples

O *Payback* Simples é calculado como sendo o momento em que o empreendimento rende, ao investidor, o valor exato do investimento inicial. Ou seja, é necessário encontrar o momento que o valor acumulado se tornará R\$0,00. Calculando, chegamos ao valor de *Payback* Simples igual a 6,87 anos, ou seja, aproximadamente 6 anos e 10 meses, mais especificamente

ao final do mês de outubro de 2027.

Adaptando e resumindo a Tabela 5, o valor de Payback é apresentado na Tabela 6.

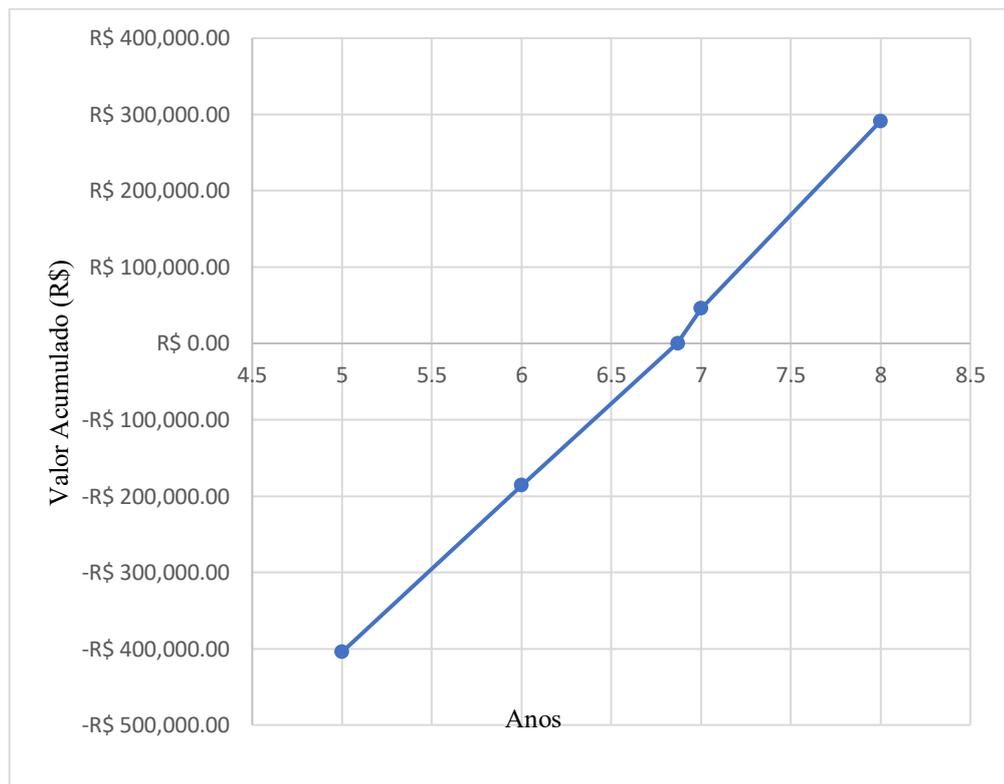
Tabela 6 – Payback Simples

ANO		FLUXO DE CAIXA	ACUMULADO
5	2025	R\$ 206.162,42	-R\$ 404.463,02
6	2026	R\$ 218.532,17	-R\$ 185.930,85
6,87	2027	R\$ 185.930,85	R\$ 0,00
7	2027	R\$ 231.644,10	R\$ 45.713,24
8	2028	R\$ 245.542,74	R\$ 291.255,98

Fonte: Próprio Autor

O Gráfico 5 ilustra o conteúdo da Tabela 6, mostrando o momento exato em que o valor do investimento é zerado.

Gráfico 5 – Payback Simples



Fonte: Próprio Autor

4 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho é apresentar os dados de uma usina FV instalada em solo para alimentar as cargas de uma indústria do ramo de lavanderias, além de determinar a viabilidade técnica e financeira desse investimento. Utilizando o referencial teórico como base para o estudo e análises, e de acordo com a metodologia proposta, os objetivos deste trabalho foram alcançados.

A potência instalada de geração da usina é 391,13 kWp, caracterizada como minigeração, sendo atendida em média tensão, com conexão à rede de distribuição da concessionária sendo feita por meio de um transformador trifásico de distribuição à óleo de 500 kVA, 13,8/0,38 kV, em uma subestação abrigada, feita em alvenaria. O investimento feito para implantação completa deste empreendimento foi R\$ 1.325.000,00, gerando economia média anual de R\$ 358.374,88. Como a duração do investimento é grande, considerado aqui de 25 anos, podendo ser estendido (a depender de manutenção e possível troca de equipamentos), este investimento é muito rentável. Para atestar e quantificar essa rentabilidade, considerando as premissas citadas anteriormente, foi calculado um VPL igual a R\$ 1.140.329,13, e, como explicado no tópico 2.4.1, um VPL positivo indica que o investimento possui viabilidade, com lucro previsto próximo ao valor calculado. Além disso, para consolidar essa análise, foi calculado o *Payback* Simples, métrica que ajudou a atestar a viabilidade do investimento, tendo em vista o período de 6,87 anos até o investimento render o valor investido.

Dessa forma, este estudo é concluído, atestando a viabilidade financeira da implantação dessa usina FV, para as premissas e condições aqui citadas e analisadas. Além de prover grande retorno financeiro à empresa, diminuindo os custos com energia, possibilita ótima oportunidade de marketing sustentável, tentando assim influenciar a sociedade a investir neste tipo de empreendimento.

5 Sugestões para trabalhos futuros

Ainda acerca desta usina FV e da indústria associada a ela, é possível desenvolver mais alguns estudos, alguns dos quais serão citados abaixo:

1. Estudo de viabilidade financeira da implantação de usina FV para atender a todo o consumo da matriz e de todas as filiais da indústria;
2. Estudo de viabilidade financeira da implantação de Usina FV compatível com toda a potência instalada na subestação;
3. Análise do sistema de proteção de uma subestação abrigada que atende à geração de uma usina FV.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. J. N.; RANK, N. I.; BUENO, T. B. A. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba**. 85 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

BARRETO, Sofia da Costa. **Estudo de Viabilidade para Implementação de uma Planta Fotovoltaica Integrada em um Shopping Center de Fortaleza**. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Brasília, DF. 2021.

CANADIAN SOLAR. **Datasheet Módulo Canadian 375 W**. 2021. Disponível em: < Acesso em: 18 dez. 2021.

CRESESB. Centro de Referência das Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito. **Potencial SunData v.3.0**. 2018. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata> > Acesso em: 18 dez. 2021.

DIAS, César Luiz de Azevedo. **Modelos de Avaliação de Desempenho de Diferentes Tecnologias de Geração Fotovoltaica: Estudo de Caso para Região dos Lagos**. Tese de Doutorado (Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

ENEL. ENEL Distribuição Ceará. **Especificação Técnica nº 122 - Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Enel Distribuição Ceará**. 2018. Disponível em < <https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/documentos/CNC-OMBR-MAT-18-0122-EDBR.pdf> > Acesso em 18 dez. 2021.

ENEL. ENEL Distribuição Ceará. **Especificação Técnica nº 942 – Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição até 34,5 kV da Enel Distribuição Ceará**. 2021. Disponível em < <https://www.eneldistribuicao.com.br/documentos/CNC-OMBR-MAT-20-0942-EDBR-%20Fornecimento%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20em%20Tens%C3%A3o%20Prim%C3%A1ria%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20at%C3%A9%2034,5%20kV.pdf> > Acesso em 18 dez. 2021.

ENERGÊS. **Guia Completo do Módulo Fotovoltaico**. 2020. Disponível em: <<https://energes.com.br/energia-solar/guia-completo-modulos-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 25 nov. 2021.

HORNGREN, C. T. et al. **Contabilidade de custos**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

GALDINO, M. A. **Análise de custos históricos de sistemas fotovoltaicos no Brasil**. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES. São Paulo, 2012.

GROWATT. **Datasheet Inversor MAC 70KTL3-X**. 2021. Disponível em: <<https://www.ginverter.pt/upload/file/contents/2020/06/5ed77d60cc225.pdf>> Acesso em: 25 nov.2021

GUIMARÃES, P. H. A. **Projeto e Implementação de Planta Fotovoltaica de 65 kWp**.93 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª ed., São José dos Campos, SP: INPE, 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**.Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL – CRESESB, edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro, RJ: CEPEL/CRESESB, 2014.

RAMPINELLI, G. A.; KRENZINGER, A.; ROMERO, F. C. **Descrição e Análise de Inversores Utilizados em Sistemas Fotovoltaicos**. Revista Ciências Exatas e Naturais (RECEN), Vol. 15, nº 1, Jan/ Jun 2013.

REMER, D. S.; NIETO, A. P. **A compendium and comparison of 25 project evaluation techniques. Part 1: Net present value and rate of return methods**. International Journal of Production Economics, v. 42, n. 1, p. 79-96, 1995.

REMER, Donald S.; NIETO, Armando P. **A compendium and comparison of 25 project evaluation techniques. Part 2: Ratio, payback, and accounting methods**. International Journal of Production Economics, v. 42, n. 2, p. 101-129, 1995.

SHAYEB, G. **Tipos de Irradiação**. 2019. Disponível em: <<https://www.gshengenharia.com.br/post/tipos-de-irradia%C3%A7%C3%A3o>>.Acesso em: 25 nov. 2021.

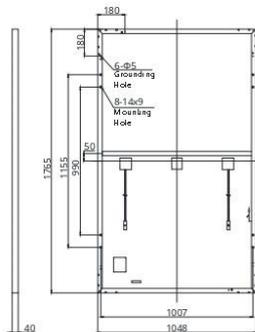
SOUZA, Ronilson di. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica – Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares**. Blue Sol Energia Solar. Ribeirão Preto, SP, 2016.

URBANETZ JR, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade**. Tese de Doutorado (Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

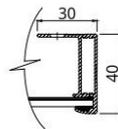
Anexo A – Datasheet Módulo FV CS3L-375MS

ENGINEERING DRAWING (mm)

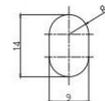
Rear View



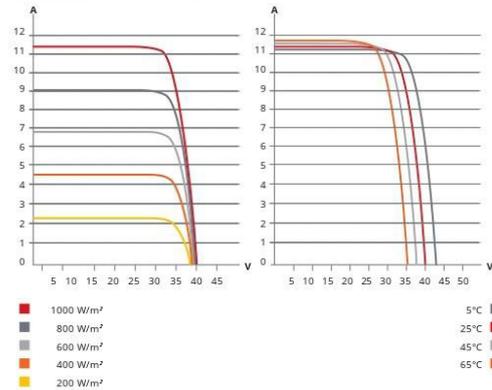
Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



CS3L-360MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3L	350MS	355MS	360MS	365MS	370MS	375MS
Nominal Max. Power (Pmax)	350 W	355 W	360 W	365 W	370 W	375 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.3 V	33.5 V	33.7 V	33.9 V	34.1 V	34.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.52 A	10.61 A	10.69 A	10.78 A	10.86 A	10.94 A
Open Circuit Voltage (Voc)	40.0 V	40.2 V	40.4 V	40.6 V	40.8 V	41.0 V
Short Circuit Current (Isc)	11.28 A	11.33 A	11.40 A	11.47 A	11.54 A	11.61 A
Module Efficiency	18.9%	19.2%	19.5%	19.7%	20.0%	20.3%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 5 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C. Measurement uncertainty: ±3% (Pmax).

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3L	350MS	355MS	360MS	365MS	370MS	375MS
Nominal Max. Power (Pmax)	261 W	265 W	269 W	272 W	276 W	280 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	31.0 V	31.2 V	31.4 V	31.6 V	31.8 V	32.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.41 A	8.48 A	8.55 A	8.62 A	8.68 A	8.75 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.6 V	37.8 V	38.0 V	38.2 V	38.4 V	38.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.10 A	9.14 A	9.20 A	9.25 A	9.31 A	9.37 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	120 [2 X (10 X 6)]
Dimensions	1765 X 1048 X 40 mm (69.5 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	21.1 kg (46.5 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1250 mm (49.2 in)*
Connector	T4-PC-1 (IEC 1000 V) or PV-KST4/xy-UR, PV-KBT4/xy-UR (IEC 1000 V) or T4-PC-1 (IEC 1500 V) or T4-PPE-1 (IEC 1500 V) or PV-KST4-EVO2/XY, PV-KBT4-EVO2/XY (IEC 1500 V) or UTXCFA4AM, UTXCMA4AM (IEC 1500 V)

Per Pallet 27 pieces

Per Container (40' HQ) 702 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.35 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.27 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

Canadian Solar MSS (Australia) Pty Ltd., 44 Stephenson St, Cremorne VIC 3121, Australia
 sales.au@canadiansolar.com, www.canadiansolar.com/au

Anexo B – Datasheet Inversor

Ficha de dados	MAC 50KTL3-X LV	MAC 50KTL3-X MV	MAC 60KTL3-X LV	MAC 60KTL3-X MV	MAC 70KTL3-X MV
Dados de entrada					
Máx. potência CC	75000W	75000W	90000W	99000W	105000W
Máxima tensão de CC	1100V				
Tensão de partida	250V				
Tensão nominal	600V	700V	600V	700V	700V
Faixa de tensão FV	200V-1000V				
Tensão CC de carga total	600V-850V	650V-850V	600V-850V	650V-850V	650V-850V
Máx. corrente de entrada por MPPT	50A/37.5A/37.5A	50A/37.5A/37.5A	50A/50A/50A	50A/50A/50A	50A/50A/50A
Número de MPPT independentes / strings por MPPT	3/4+3+3	3/4+3+3	3/4+4+4	3/4+4+4	3/4+4+4
Dados de saída (CA)					
Potência nominal de saída CA	50000W	50000W	60000W	60000W	70000W
Potência aparente máxima de CA	55500VA	55500VA	66600VA	66600VA	77700VA
Tensão nominal de saída	230V/400V	277V/480V	230V/400V	277V/480V	277V/480V
Frequência de rede CA	50/60 Hz				
Corrente máxima de saída	80.5A	66.9A	96.6A	80.2A	93.6A
Fator de potência	0.8i-0.8c				
THDI	<3%				
Tipo de conexão da rede CA	3W+N+PE	3W+PE	3W+N+PE	3W+PE	3W+PE
Eficiência					
Máxima eficiência	98.8%				
Eficiência europeia	98.5%				
Eficiência MPPT	99.9%				
Dispositivos de proteção					
Proteção de polaridade reversa de CC	sim				
Interruptor CC	sim				
Proteção de sobretensão CC	Tipo II				
Monitoramento de falta à terra	sim				
Proteção contra curto-circuito de saída	sim				
Proteção de sobretensão CA	Tipo II				
Dados Gerais					
Dimensões (L/A/P)	680/508/281mm				
Peso	≤52kg				
Faixa de temperatura operacional	- 25°C ... +60°C				
Emissão de ruído (típico)	≤60dB(A)				
Humidade relativa	0~100%				
Altitude	4000m				
Auto-consumo	<1W				
Topologia	Sem transformador				
Forma de resfriamento	Arrefecimento inteligente				
Grau de proteção ambiental	IP65				
Características					
Exibição	OLED+LED/WIFI+APP				
Interfaces:USB/RS485/GPRS /WIFI/4G	sim/sim/opcional/opcional/opcional				

IEC61000-6/3, IEC 62109-1/2, IEC 61727, IEC 62116