

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
WILIAN GOULART DE ALMEIDA

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICROGERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA INTEGRADA À REDE ELÉTRICA EM UM  
CONDOMÍNIO NA CIDADE DE SÃO JOAQUIM – SC**

Lages SC

2018

WILIAN GOULART DE ALMEIDA

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICROGERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA INTEGRADA À REDE ELÉTRICA EM UM  
CONDOMÍNIO NA CIDADE DE SÃO JOAQUIM – SC**

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

Orientador: Prof. Msc. Silvio de Moraes de Oliveira

Lages-SC

2018

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

Wiliam Goulart de Almeida.  
NOME DO ALUNO

Estudo da Viabilidade Econômica de  
Microgeração Fotovoltaica Integrada à  
TÍTULO DO TRABALHO Rede Elétrica em um Condomínio  
na cidade de São Joaquim - SC

BANCA EXAMINADORA:

Msc Silvio Moraes de Oliveira  
Titulação e nome do Orientador(a)

Francieli Lima de Sá, Dra.  
Titulação e nome do Avaliador (a)

Adriano Souto  
Titulação e nome do Avaliador (a)

Francieli Lima de Sá, Dra.  
Coordenador (a) Prof. (a) Titulação e nome da Coordenador (a)

Lages, 12 de dezembro de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado todas as oportunidades na minha vida, e ter me dado força para superar as dificuldades.

A essa universidade e todo seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, regidas na confiança, mérito e ética.

A meu amigo, professor e orientador Msc. Silvio de Moraes de Oliveira, e a minha Coordenadora do Curso de Engenharia Elétrica Dra. Francieli Lima de Sá, pelo suporte, dedicação e compreensão de ambos citados.

A empresa Luz Solar, na qual executei meu estágio de conclusão de curso, pela confiança em mim depositada, oportunidade e conhecimento nela obtido. Ao aprendizado junto ao convívio com os colegas de trabalho os quais proporcionaram melhor entendimento no ramo de energia solar, com sua experiência.

A minha família e amigos, em especial ao meu pai (in memoriam) “ que não está mais presente entre nós, mas continua sendo minha maior força, sua lembrança me inspira e faz persistir”, minha mãe por todo carinho, paciência e dedicação, a minhas irmãs, minha filha amada que é meu suporte emocional e minha namorada a qual estive durante todo o curso me proporcionando inspiração, dedicação, carinho e incentivo. Agradeço ainda a meus colegas, amigos os quais convivi os cinco anos de curso.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação acadêmica em especial minha amiga e comadre e sua família, a qual me proporcionou um suporte essencial nesta reta final do curso de Engenharia Elétrica.

## RESUMO

O presente trabalho aborda um estudo de caso da implantação de microgeração de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica à um condomínio residencial na cidade de São Joaquim SC. Foram abordados temas de grande importância para a implantação de um sistema distribuído, levando em conta aplicações, funcionamento, cálculos relacionados a geração de energia solar em função da localização, cálculo de dimensionamento, e layout da sua instalação. Foi analisado o procedimento do possível projeto, analisado seu potencial de irradiação solar em produção de energia para o condomínio. O estudo, que poderá ser apresentado aos clientes residentes do condomínio, para verificar a sua pretensão de adquirirem um sistema fotovoltaico para geração de energia própria, contendo todas as informações de custo e benefício do empreendimento, apresentando o tempo de retorno do investimento (*payback*), tendo em vista que o sistema tem uma vida útil bem maior do que a amortização do investimento. Isto foi apresentado por meio de tabelas e gráficos, mostrando qual será o abatimento no valor da fatura de energia e sua rentabilidade acumulada ao longo de 25 anos, considerando que é possível direcionar seus créditos para um vizinho do mesmo condomínio com interesse de tais créditos, além de apresentar também o benefício para o meio ambiente, resultante da redução de CO<sub>2</sub> obtidos da geração de energia limpa e renovável.

Palavra-chave: Microgeração. Energia Solar. Condomínio.

## **ABSTRACT**

The present work deals with a case of implantation of the microgeneration of a photovoltaic system connected to a residential condominium in the city of São Joaquim SC. Topics of great importance were invited for the implementation of a distributed system, taking into account applications, operation, calculations related to solar energy in the function of the location, calculation of sizing, and layout of its installation. The project process was analyzed, analyzing its solar irradiation potential in energy production for the condominium. The study, which could be presented to the residents of the condominium, to verify their intention to acquire a photovoltaic system for their own energy generation, while all the cost and benefit information of the enterprise, showing the time of return of the investment, given that the system has a longer useful life than an amortization of the investment. This was presented to represent energy and profitability throughout the year of 25 years, considering its certifications as a condominium of interest with such credits, In addition, we present the benefit to the environment, after CO<sub>2</sub> reduction, generation clean and renewable energy.

Keys words: Microgeneration. Solar energy. Condominium.

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
BNDS	Banco Nacional do Desenvolvimento
BT	Baixa Tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COFINS	Contribuição para o Financiamento de Seguridade Social
COP-21	Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
DIT	Demais Instalações de Transmissão
DIT	Demais Instalações de Transmissão
DPS	Dispositivo de Surtos
FF	Fator de Forma
FINAME	Financiamento do BNDS
GRID-TIE	Sistema Conectado à Rede de Distribuição
I	Corrente
ICMS	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
kW	Quilowatt
kWp	Quilowatt-pico
MFV	Mercado Fotovoltaico
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPP	Máxima Potência no Ponto
MPPT	Rastreamento do Ponto Máximo de Potência
MT	Média Tensão
MW	Megawatt

NBR	Norma Brasileira
OFF-GRID	Sistema Isolado
ON-GRIG	Sistema Conectado
PEP	Plataforma Web da CELESC
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SIN	Sistema Interligado Nacional
SV	Sistema Fotovoltaico
TIR	Taxa Interna de Retorno
UC	Unidade Consumidora
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
V	Tensão
VLP	Valor Presente Líquido
W	Watt
Wp	Watt Pico



## LISTA DE SÍMBOLOS

$I_{diaria}$  = Irradiação diária recebida

$P_{conc}$  = Perda considerada

$HSP$  = Irradiação diária

$N_{Geração}$  = Necessidade de geração

$C_{Energia}$  = Consumo de Energia

$t_{minima}$  = Taxa Mínima

$M_{Dias\ por\ mês}$  = Média de Dias por Mês

$n.\ global$  = Eficiência Global

$P_{escolhida}$  = Potência Escolhida

$P_{módulo}$  = Potência do Módulo

$N.\ módulos$  = Numero de Módulos

$P_{max}$  = Potência Máxima

$I_{mp}$  = Corrente de Potência Máxima

$V_{mp}$  = Voltagem de Potência Máxima

$P_{max}$  = Potência Máxima

$I_{sc}$  = Corrente de Curto Circuito

$V_{mp}$  = Voltagem de Circuito Aberto

$\bar{X}_{Dias\ por\ mês}$  = Média de Dias por Mês

$\bar{X}_{ger/mês}$  = Média de Geração por Mês

$\bar{X}_{ger/dia}$  = Média de Geração por Dia

$P_{cc\ max}$  = Potência Máxima do Inversor

$n_{módulos}$  = Eficiência dos Módulos

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistema fotovoltaico distribuído na cidade de São Joaquim .....	21
Tabela 2 – Vantagens e Desvantagens sistemas off-grid e on-grid.....	38
Tabela 3 – Níveis de Tensão Considerados para Conexão de Micro e Minicentraís Geradoras .....	44
Tabela 4 – Recomendação de Ângulos para Inclinação dos Módulos .....	48
Tabela 5 – Irradiação solar para condomínio Brighenti .....	49
Tabela 6 – Perdas Típicas para Sistemas Solar .....	50
Tabela 7 – Média mensal do Consumo de Energia .....	51
Tabela 8 – Operacional do Módulo Canadian Solar 330P .....	52
Tabela 9 - Valor Taxa Mínima Faturável .....	53
Tabela 10 - Análise de Geração.....	55
Tabela 11 – Operacional Inversor Fronius .....	57
Tabela 12 – Características do Sistema FV .....	59
Tabela 13 – Orçamentaria.....	61
Tabela 14 – Formas de Pagamento.....	61
Tabela 15 – Percentual Orçamentário por Residência.....	61
Tabela 16 - Percentual de Geração por Residência .....	62
Tabela 17 – Dados de Energia e Economia do Sistema Residência 1.....	63
Tabela 18 – Resumo do Retorno do Investimento Residência 1 .....	64
Tabela 19 – Dados de Energia e Economia do Sistema Residência 2.....	65
Tabela 20 – Resumo do Retorno do Investimento Residência 2.....	65
Tabela 21 – Dados de Energia e Economia do Sistema Residência 3.....	66
Tabela 22 – Resumo do Retorno do Investimento Residência 3 .....	67
Tabela 23 – Dados de Energia e Economia do Sistema Residência 4.....	68
Tabela 24 – Resumo do Retorno do Investimento Residência 4 .....	68
Tabela 25 – Dados de Energia e Economia do Sistema Residência 5.....	69
Tabela 26 – Resumo do Retorno do Investimento Residência 5.....	70

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.....	20
Figura 2 - Radiação direta e radiação difusa .....	23
Figura 3 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica.....	24
Figura 4 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica.....	24
Figura 5 - Deslocamento de Elétrons .....	25
Figura 6 – Composição Fotovoltaica.....	26
Figura 7 – Célula Monocristalina .....	27
Figura 8 – – Módulo Monocristalino.....	27
Figura 9 – Célula Policristalina .....	28
Figura 10 – – Módulo Policristalino .....	29
Figura 11 – Composição Módulo Fotovoltaico.....	29
Figura 12 - Caixa de Junção (Junction Box) .....	30
Figura 13 – Curva Característica I x V.....	32
Figura 14 - Curva Característica P x V .....	32
Figura 15 – Efeito causado pela variação de intensidade luminosa .....	34
Figura 16 – Efeito causado pela temperatura na célula.....	34
Figura 17 - Curva IV com ponto de máxima potência MPPT.....	36
Figura 18 - Sistema <i>OFF-GRID</i> .....	36
Figura 19 - Sistema <i>ON-GRID</i> .....	37
Figura 20 – Sistema Híbrido.....	38
Figura 21 – Fluxograma Etapas para Viabilização do Acesso .....	45
Figura 22 – Imagem superior do condomínio Brighenti .....	47
Figura 23 – Orientação geográfica para os módulos .....	48
Figura 24 – Módulo FV .....	52
Figura 25 – Inversor Frunius .....	56
Figura 26 – Caixa de Conexão .....	58
Figura 27 – Layout do Painel Solar .....	59
Figura 28 – Layout Configuração dos Arranjos .....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Fluxo Financeiro Acumulado Residência 1 .....	64
Gráfico 2 - Fluxo Financeiro Acumulado Residência 2 .....	66
Gráfico 3 - Fluxo Financeiro Acumulado Residência 3 .....	67
Gráfico 4 - Fluxo Financeiro Acumulado Residência 4 .....	69
Gráfico 5 - Fluxo Financeiro Acumulado Residência 5 .....	70

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	Objetivo geral .....	15
1.1.2	Objetivos Específicos .....	15
1.3	Justificativas .....	16
1.4	Metodologia.....	17
<b>2</b>	<b>HISTÓRICO, ESTADO DA ARTE, CONCEITOS E REGULAMENTAÇÕES</b>	<b>19</b>
2.1	Histórico .....	19
2.2	Estado da Arte.....	19
2.2.1	Setor Fotovoltaico Brasileiro.....	19
2.2.2	Setor energético Brasileiro .....	20
2.2.3	Setor fotovoltaico Santa Catarina .....	21
2.3	Conceitos .....	22
2.3.1	Radiação Solar .....	22
2.3.2	Princípios do Funcionamento Fotovoltaico .....	23
2.3.3	Células Fotovoltaicas.....	25
2.3.4	Composição de Modulo Fotovoltaico.....	26
2.3.5	Principais Tipos de Células Fotovoltaicas .....	26
2.3.6	Características Elétricas dos Módulos Fotovoltaicos (ALVARENGA, 2014).....	30
2.3.7	Inversor ou Conversor CC-CA .....	34
2.3.8	Tipos de sistemas solar fotovoltaicos .....	36
2.3.9	Geração Distribuída .....	38
2.4	Regulamentação.....	39
2.4.1	Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 20012 (PRODIST, 2012) .....	40

2.4.2	Resolução Normativa nº 687, 24 de Novembro de 2015 (PRODIST, 2015) .....	41
2.4.3	Celesc Acesso a Microgeração Distribuída (CELESC, 2017).....	43
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>46</b>
3.1	Apresentação.....	46
3.2	Análise do Local de Instalação .....	46
3.3	Orientação dos Módulos Fotovoltaicos .....	47
3.4	Avaliação do Recurso Solar.....	48
3.5	Avaliação do Consumo de Energia Elétrica .....	50
3.6	Dimensionamento Fotovoltaico.....	51
3.6.1	Módulo Fotovoltaicos .....	51
3.6.2	Dimensionamento para Geração .....	52
3.7	Escolha do Inversor GRID-TIE .....	55
3.8	Caixa de Conexão .....	57
3.9	Instalação Sistema FV .....	58
3.10	Investimento Financeiro .....	60
3.11	Viabilidade Econômica.....	62
3.12	Viabilidade Econômica por Residência.....	63
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE – A</b> .....	<b>76</b>
	<b>ANEXO – A</b> .....	<b>77</b>
	<b>ANEXO – B</b> .....	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na última década no Brasil, estamos presenciando inúmeros fatores que vêm contribuindo para o crescimento da energia fotovoltaica, principalmente o sistema distribuído vêm se consolidando (ANEEL, 2018). Com o reflexo da crise hídrica, energias renováveis vêm crescendo e tem destaque positivo no cenário brasileiro de energia solar, entre os fatores que vêm contribuindo para esse crescimento do mercado fotovoltaico (MFV), está a redução no valor do empreendimento em até 70%, que tínhamos no início deste setor no Brasil quando o principal objetivo era levar energia em áreas distantes das redes elétricas (FRAUNHOFER, 2013).

Com a mobilização do governo em sentido de criar um marco regulatório no setor, foi publicada a Resolução Normativa nº 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Tal Resolução permite a qualquer consumidor produzir a sua própria energia e compensar, através de um sistema de créditos, seu consumo energético fornecido pela concessionária de energia elétrica em um condomínio, com a possibilidade de repartir a energia gerada entre os condôminos em percentuais pré-definidos (PRODIST, 2012).

Uma ação coordenada do Governo Federal em várias frentes, com o estímulo do Ministério de Minas e Energia, deverá mudar nos próximos anos, o cenário da geração de energia solar das grandes cidades brasileiras. Até 2024, cerca de 700 mil consumidores residenciais e comerciais deverão ter instalado em seus telhados e coberturas painéis fotovoltaicos, que transformarão a luz solar em energia elétrica. Quando houver excedente, a energia de sobra será vendida para a distribuidora, ajudando a reduzir a conta de luz do domicílio (MINAS E ENERGIA, 2015).

A matriz energética brasileira de eletricidade é composta principalmente por hidrelétricas. Em caso de oscilações no regime de chuvas que impactem os níveis dos reservatórios, é necessário o apoio das termoelétricas. Além dos elevados custos que afetam diretamente a economia, esse acionamento constante é extremamente negativo para o meio-ambiente, uma vez que essas usinas são as responsáveis pelas maiores emissões de gases danosos ao meio ambiente (MACHADO GRAZIERA, et al., 2015 p. 17).

Em 2016, o Brasil ratificou o compromisso firmado na COP-21 (Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima) como único território em desenvolvimento a reduzir absolutamente as emissões de gases de efeito estufa. Mesmo possuindo uma das matrizes renováveis com maior potencial do mundo (75% das opções de fontes renováveis são

abundantes no país), alcançar essa meta é um grande desafio, será necessário expandir o uso de fontes de energia limpa, aumentando a parcela para 23% até 2030 (MMA, 2017).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Viabilidade econômica na implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica à um condomínio, com o propósito de gerar créditos para que sejam distribuídos entre as residências deste condomínio.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Viabilidade econômica:
  - Apresentação de um estudo de caso, feito em cima da média mensal de cada residência do condomínio.
  - *Payback* da Implantação e estimação da amortização do investimento, a estimação em variação a relação ao consumo de energia e a potência do sistema fotovoltaico, portanto o investimento ainda contará com um bom retorno em cima da validade do sistema. Levando em consideração o tempo que um sistema fotovoltaico possui de vida útil.
  - Amortização de custos mensal no valor líquido da parcela da fatura de cada residência.
- Viabilidade do fator energético, junto a sites de credibilidade que indicam a média mensal e anual do fator de irradiação solar:
  - Irradiação solar na região Sul onde será implantada microgeração fotovoltaica;
  - Comparação de dados de irradiação solar nas quatro estações do ano.
- Incentivos do governo:
  - Financiamento, junto ao programa FINAME;
  - BNDS valor que o banco financia taxas e facilidades, fundo clima permite financiar, 80% dos itens apoiáveis ao custo final de 4,03% ao ano para pessoas físicas e jurídicas com renda de até R\$ 90 milhões. Trata-se de uma ação BNDS para incentivar o cidadão brasileiro a investir em sustentabilidade e economia de energia (BNDS, 2018).
- Evolução de tecnologias de placas e inversores:
  - Orçamento detalhado
- Processos da instalação



-Percentual que será distribuído entre as residências deste condomínio.

### 1.3 Justificativas

Realizar um estudo de caso da viabilidade técnica e econômica na implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica em um condomínio residencial localizado na cidade de São Joaquim SC, com o propósito de gerar créditos junto à concessionária CELESC para que possam ser distribuído entre os condôminos residentes do mesmo com o intuito de serem abatidos no valor da sua conta de luz, estes terão uma apresentação de um estudo mostrando a eficiência energética da região que por sua vez viabilizara a implantação de um sistema solar fotovoltaico.

Apresentação que contará com tabelas que por sua vez apresentarão o tempo de *payback* da implantação do sistema fotovoltaico do tipo distribuído, conectado à rede elétrica, estimando o investimento e uma amostragem de tais faturas, revelará o tempo em que haverá a amortização do investimento, hoje estes empreendimentos já apresentam amortização que virão em torno de seis anos dependendo do valor da tarifa com impostos e do tamanho do investimento, portanto com sua validade de até 25 anos ainda terá lucro nos outros 19 anos.

Segundo a Canadian Solar a vida útil dos módulos fotovoltaicas que hoje variam em torno de 25 anos, será apresentado com esse estudo o rendimento lucrativo com a geração de energia elétrica distribuída no abatimento da sua fatura de energia, porém também a possibilidade de faturar com o excedente de créditos que serão distribuídos a residências que necessitem deste crédito, com a possibilidade de uma residência não utilizar toda parte que terá direito, podendo redirecionar para outra residência do mesmo condomínio.

Com algumas facilidades no setor fotovoltaico que o governo está possibilitando a consumidores, incentivo a energias renováveis, onde apresentasse a isenção de impostos do tipo IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados e ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços. Que por sua vez não será cobrado nos sistemas solar, desde que estes sejam expressamente para um sistema de implantação completo (MINISTERIO DA FAZENDA, 2016).

Empréstimos BNDS - Os limites do Fundo Clima alcançam 80% dos itens financiáveis, podendo chegar a R\$ 30 milhões a cada 12 meses por beneficiário. Tanto para pessoas físicas quanto para pessoas jurídicas (empresas, prefeituras, governos estaduais e produtores rurais), o custo financeiro do Fundo Clima é reduzido: para renda anual até R\$ 90 milhões, o custo é de 0,1% ao ano, e a remuneração do BNDES é de 0,9% ao ano. Para renda anual acima de R\$ 90

milhões, o custo é de 0,1% ao ano, e a remuneração do BNDES é de 1,4% ao ano (BNDS, 2018).

#### 1.4 Metodologia

Foi realizado um levantamento da irradiação solar na região de São Joaquim Santa Catariana, onde foi feita uma média junto aos dados disponíveis do site (CRESESB, 2014), que possui grande credibilidade quando se trata de fator energético. Com este levantamento, foi definido o potencial para um empreendimento solar fotovoltaico em um condomínio da mesma cidade.

Foi realizado outro levantamento sobre geração de energia fotovoltaica distribuído em condomínios onde:

- Foi abordada a evolução tecnológica com novas tendências;
- Quais sistemas podem ser escolhidos dentre as ofertas nacionais e internacionais, das tendências;
- Evoluções em sistemas distribuídos em condomínios;
- Verificação de incentivos fiscais que vem sendo adotado pelo governo em apoio a energias renováveis.

Uma pesquisa de referencial teórico de uma microgeração distribuída fotovoltaica, de uma implantação ao condomínio residencial, terá como exigências a potência do fator energético da região com a média da incidência solar, desempenho da mesma junto a sua eficiência energética, evolução das faturas da conta de luz de cada residência do condomínio, levando em conta a tarifa paga por cada fatura e com levantamento mensal de demanda e consumo, essas informações serão concedidas pela distribuidora de energia da região e analisadas junto a fatura de energia de cada residência do condomínio.

Foi feita uma consulta com cada família, que reside no condomínio, para se ter uma ideia da possibilidade de quais terão a pretensão a vir a adquirir um sistema próprio fotovoltaico ou que talvez simplesmente queiram só ter a possibilidade de se beneficiar dos créditos gerado por seus vizinhos do mesmo condomínio, mantendo a possibilidade de ser feito um empreendimento em nome do condomínio com uma porcentagem pré-definida dos créditos gerados pelo investimento para cada uma das residências do condomínio.

Após ser analisado o projeto em função da microgeração fotovoltaica distribuída, foram simulados para os interessados em adquirir sua própria geração de energia, os resultados do

estudo, será apresentado uma proposta de execução do projeto, exibindo forma de pagamento e ou financiamento, para que seja iniciado uma negociação.

As pesquisas foram realizadas retirando informações em base de normas técnicas, em bibliografias especializadas, artigos, sites governamentais e em informações junto a órgãos especializados.

Algumas das metodologias utilizadas vieram em virtude do estágio realizado em uma empresa especializada em energia solar, na qual tive acesso a sua experiência adquirida ao longo de quatro anos desde sua fundação. Tendo uma base sólida de que vieram de muito esforço e dedicação, para que hoje está empresa possa estar disponibilizando de um serviço de implantação de sistemas fotovoltaicos em seis estados do Brasil, com a eficiência de quem passou por várias dificuldades no setor fotovoltaico, a qual teve que se adéqua e melhorar seu funcionamento, de quando se trata de sustentabilidade.

## 2 HISTÓRICO, ESTADO DA ARTE, CONCEITOS E REGULAMENTAÇÕES

### 2.1 Histórico

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839, segundo Edmond Becquerel que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas a um eletrólito produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz (HAMILTON, 1997).

Em 1873, o engenheiro eletricista Britânico Willoughby Smith descobriu um material isolante, mas quando exposto à luz, transformava-se em condutor (fotocondutividade), o selênio. E que além de conduzir, este material era capaz de produzir energia a partir da incidência da luz solar (PERLIN, 2004).

O primeiro sistema gerador de energia fotovoltaica, com módulos de filme fino, conectado à rede de distribuição em uma edificação, foi instalado no Brasil em 1997. O sistema de 2 kWp é composto por módulos de filme fino de silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), com células de junção dupla depositadas em vidro, que foram instalados na fachada Norte do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em Florianópolis (RUTHER, 2001).

A crise energética de 1973 incentivou o interesse em aplicações de geradores terrestres. Porém, para tornar economicamente viável, seria necessário naquela época, reduzir drasticamente os valores das células solares em relação ao daquelas células usadas em explorações espaciais. Modificou-se, também, o perfil das empresas envolvidas no setor. Nos Estados Unidos, as empresas de petróleo resolveram diversificar seus investimentos, englobando a produção de energia a partir da radiação solar (CRESESB, 2014).

### 2.2 Estado da Arte

#### 2.2.1 Setor Fotovoltaico Brasileiro

- Para o planejamento do setor elétrico em 2050 estudos estimam que 18 % dos domicílios no Brasil terão gerador de energia solar com placas fotovoltaicas (MINAS E ENERGIA, 2015).
- No ano passado, o número de instalações de sistemas fotovoltaicos cresceu mais de 300% (ANEL, 2018).

- Uberlândia no Triângulo Mineiro possui o maior número de placas de energia solar no país em geração distribuída (ANEEL, 2018).
- Até junho de 2018, o setor de energia solar no Brasil possuía 30.686 sistemas fotovoltaicos instalados, que junto às usinas solares, somavam 1,5 GW de capacidade instalada. As previsões apontam que em 2024 o Brasil terá aproximadamente 887 mil sistemas de energia solar (*On-Grid*) instalados por todo território brasileiro (CALAFERRO, 2018).

A geração centralizada:

- É a de usinas e estão localizadas em grande parte no Nordeste.

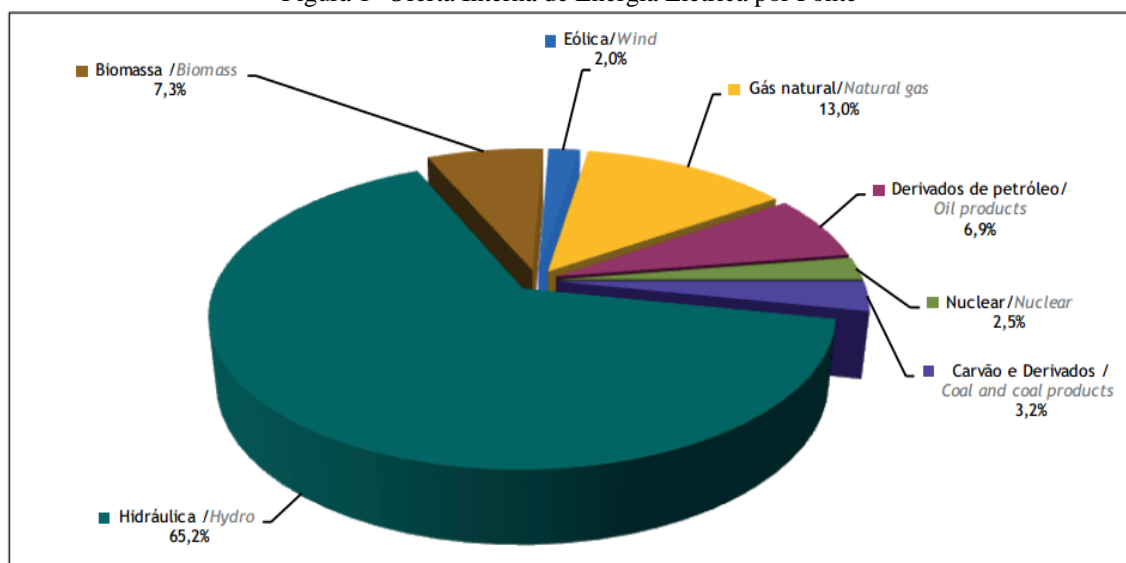
A geração distribuída:

- Por sua vez, é a que engloba os consumidores individuais, empresas, comércio e indústrias.

### 2.2.2 Setor energético Brasileiro

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas que respondem por aproximadamente 65% da energia elétrica gerada no Brasil. O Brasil é um país privilegiado com sua fonte de energia predominantemente renovável, a geração a partir de fontes não renováveis apresentam cerca de 25 % da energia gerada conforme a figura 1 (EPE, 2017).

Figura 1- Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte



Fonte: (EPE, 2017)

### 2.2.3 Setor fotovoltaico Santa Catarina

Mesmo sem estar entre os Estados mais ensolarados do país, Santa Catarina se destaca, cada vez mais, na produção e consumo de energia solar. Já é o quarto colocado em unidades de geração distribuída - casas ou empresas com alguma fonte própria de energia. Das 30,7 mil unidades do país, 30,6 mil são de fonte solar e 3,2 mil ficam aqui. É um número dinâmico, que cresce dia a dia desde 2012, quando foi feita a regulamentação do setor. O Estado só perde para unidades da federação muito mais populosas. Em termos per capita, SC é o líder nacional (LINDER, 2018).

A cultura de Santa Catarina apesar de ser provinda do campo está olhando mais para a questão de sustentabilidade e visando também questões que favorecem a aquisição de sistema de geração solar própria. Hoje Santa Catarina possui cerca de 3.250 sistemas integrados à rede elétrica da distribuidora CELESC (ANEEL, 2018).

Na região Sul de Santa Catarina na qual se refere o estudo de caso, tem por exemplo, na cidade de Lages, a qual faz divisa com a cidade de São Joaquim e é referência em comércio, educação e saúde da qual uma cidade pequena necessita. A cidade de Lages hoje possui cerca de 160 mil habitantes (IBGE, 2018).

Lages atualmente possui 48 unidades de microgeração fotovoltaica integradas à rede elétrica, com 140,71 kW de potência total instalada (ANEEL, 2018).

A cidade de São Joaquim onde será apresentado o estudo ao condomínio. Atualmente a cidade é colonizada por sua maioria de pessoas vindas do campo, sua economia vem dos pomares de maçã, ainda está caminhando a passos lentos em relação à sustentabilidade, e ainda tem certa resistência em adquirir um sistema fotovoltaico, pelo fato de se tratar de um investimento momentâneo alto e o tempo de payback demorando alguns anos. A cidade de São Joaquim hoje possui cerca de 27 mil habitantes destes pelo menos 7 mil estão na zona rural do município (IBGE, 2018). São Joaquim atualmente possui 3 unidades de microgeração fotovoltaica integradas à rede elétrica, com 6,55 kW de potência total instalada (ANEEL, 2018).

Como podemos ver na tabela 1:

Tabela 1 - Sistema fotovoltaico distribuído na cidade de São Joaquim

Sistemas Fotovoltaicos Distribuído na Cidade de São Joaquim - SC

CELESC Distribuidora S.A.

Residência	Geradora Própria UC	UFV	Geração Solar	2,0 kW
Residência	Geradora Própria UC	UFV	Geração Solar	1,95 kW
Residência	Geradora Própria UC	UFV	Geração Solar	2,6 kW
Total Instalado				6,55 kW

Fonte: Autoria própria

## 2.3 Conceitos

### 2.3.1 Radiação Solar

O Sol anualmente é responsável por fornecer cerca de,  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia a atmosfera terrestre. Este fato vem indicar que, além de ser essencial para a manutenção da vida na Terra, a radiação solar possui uma inesgotável fonte energética, possibilitando um grande melhoramento e auxílio nas fontes de energia elétrica, utilizando por meio de sistemas de captação a conversão para energia térmica ou elétrica (CRESESB, 2014).

A energia gerada no interior do sol leva cerca de um milhão de anos para chegar a superfície terrestre, a cada segundo 700 milhões de toneladas de hidrogênio são convertidos em cinza de hélio. Neste processo cinco milhões de toneladas de energia são liberados. Dessa forma, o Sol irradia energia por todas as direções e uma pequena fração atinge a Terra, aquecendo-a e controlando o sistema climático global (HAMILTON, 1997).

A radiação solar que incide sobre a superfície da terra é basicamente dividida em dois componentes a radiação direta e a difusa:

- A Radiação direta que é caracterizada pelo fato de não ter obstáculos em sua direção e assim seguindo seu trajeto até a terra sem obstáculos. A radiação direta é a mais importante radiação, quando se trata de conversão de energia.
- A radiação difusa que por sua vez, alcança a superfície da terra após ter passado por obstáculos, sendo dispersa por moléculas, nuvens e partículas de água presentes na atmosfera como podemos observar na figura 2. Mesmo tendo sua incidência reduzida, provoca a terra grande claridade, mesmo estando totalmente coberto ainda tem a possibilidade de gerar energia através de módulos fotovoltaicos (HELIOTÉRMICA, 2018).

Figura 2 - Radiação direta e radiação difusa



Fonte: (HELIOTÉRMICA, 2018)

### 2.3.2 Princípios do Funcionamento Fotovoltaico

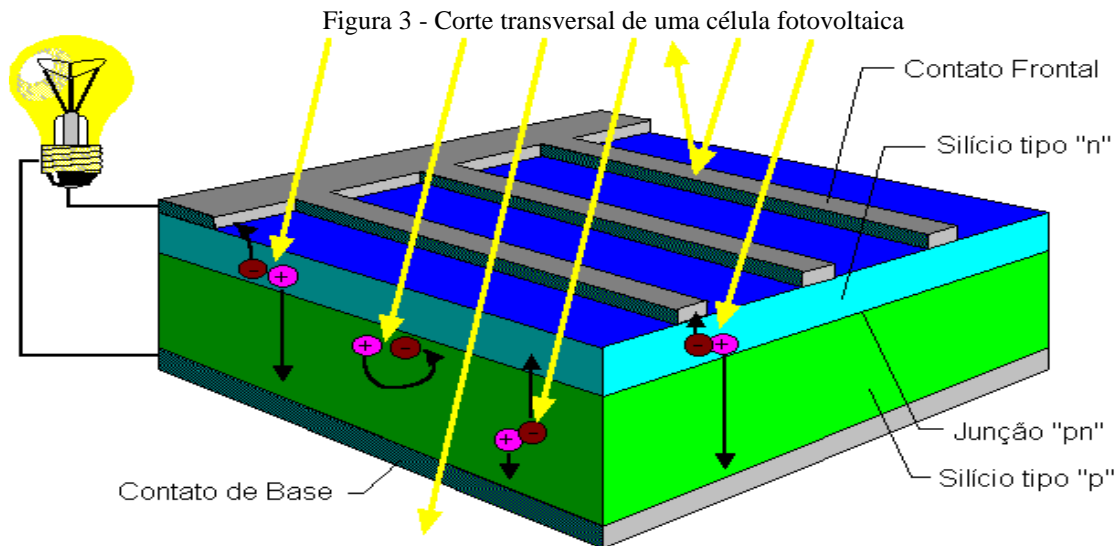
O efeito fotovoltaico é a conversão de calor em eletricidade, o efeito ocorre em células fotovoltaicas que estão expostas a luz, a irradiação solar provoca uma diferença de potencial nos terminais do material semiconductor. Estes materiais possuem propriedades conhecidas como efeito fotoelétrico, assim tais materiais absorvem fótons de luz que por sua vez a liberam elétrons, quando estes elétrons livres são capturados se cria uma corrente elétrica podendo ser utilizada como energia elétrica, mostrados na figura 3 (GREENPRO, 2004).

O material utilizado nestas células passa por diversos processos químicos para que possa ter o maior nível de pureza possível. Durante a fabricação destas células, sua matéria prima, o silício recebe outras matérias em sua composição para ajudá-lo a desenvolver sua função corretamente, este processo é denominado dopagem pode ser constituída com os elementos de Fósforo e Boro (CRESESB, 2006).

A principal característica do silício é ser formado por quatro elétrons de ligação, assim permitindo a formação de redes cristalinas. Com a dopagem do fósforo, haverá um elétron em excesso que ficara sobrando, pois, esse elemento possui cinco elétrons de ligação. Assim esse elétron que estará sobrando, fracamente ligado em seu elemento de origem, será enviado à



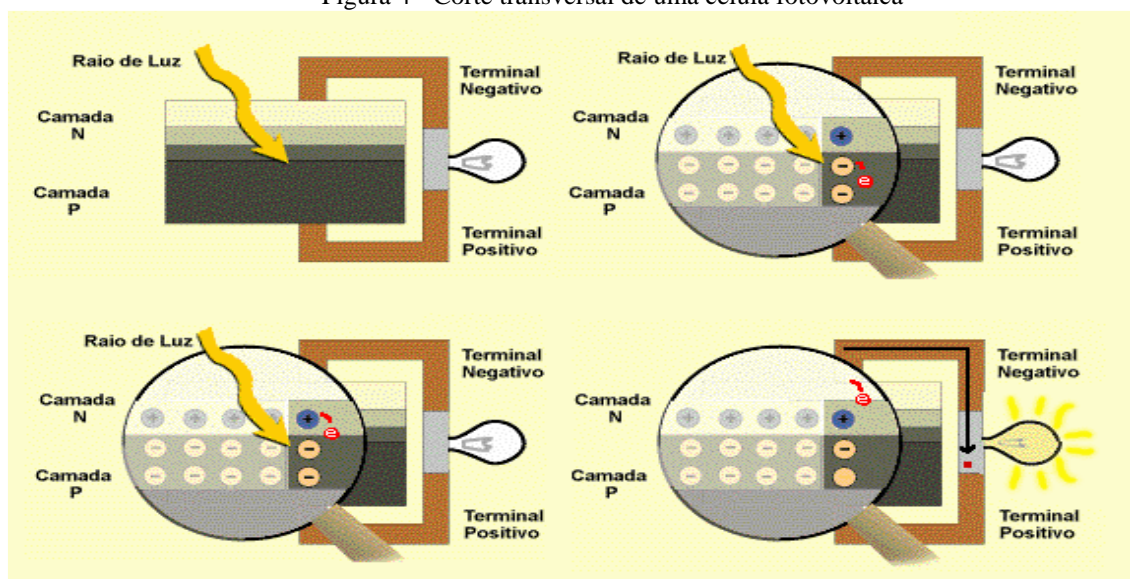
banda de condução. Assim podemos dizer que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n (CRESESB, 2006).



Fonte: (CRESESB, 2006)

Imaginando introduzir átomos com apenas três elétrons em sua ligação, assim é o caso do Boro, neste caso haverá uma falta de elétrons em suas ligações que irão satisfazer a ligação dos átomos de silício. Esta lacuna causada pela falta de elétrons, que ocorre com pouca energia térmica, um elétron vizinho pode passar por essa posição, fazendo com que o buraco desloque-se, podendo assim dizer que o Boro é um dopante p de elétrons, a figura 4 ilustra (ALVARENGA, 2014).

Figura 4 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica

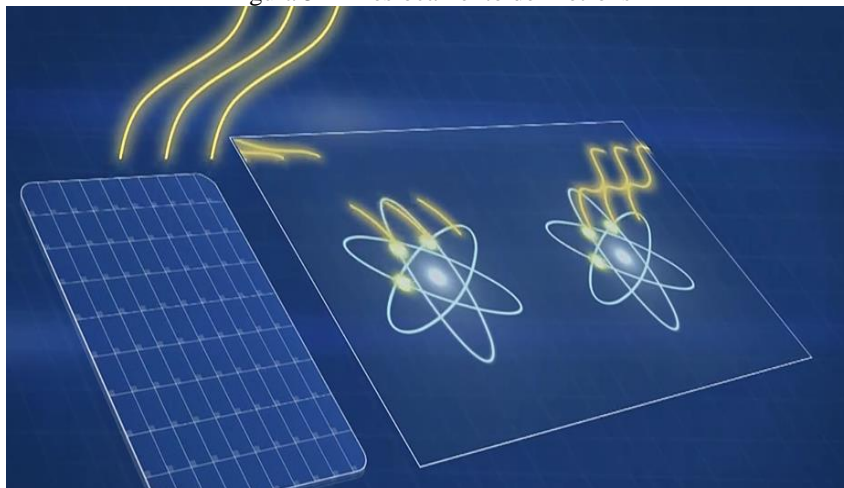


Fonte: (CRESESB, 2006)

Um material de silício puro, for introduzido em uma metade de átomos de boro e em outra metade átomos de fósforo, será formado assim a junção PN, fazendo com que os átomos livres transitem de um lado n para o outro lado p, encontrando os buracos que os capturam, fazendo assim que haja um acúmulo de elétrons no lado p, assim o lado p fica negativamente carregado (CRESESB, 2006).

Se uma junção PN exposta a fótons estiver com energia maior que o gap, com isso haverá geração de pares de eletros nas lacunas, acontecendo onde o campo elétrico é diferente de zero, assim as cargas serão aceleradas gerando corrente através da junção, estes deslocamentos de cargas dão origem a uma diferença de potencial o Efeito Fotovoltaico. Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Está é à base do funcionamento das células fotovoltaicas como podemos observar na figura 5 (ZILLES, et al., 2012).

Figura 5 - Deslocamento de Elétrons



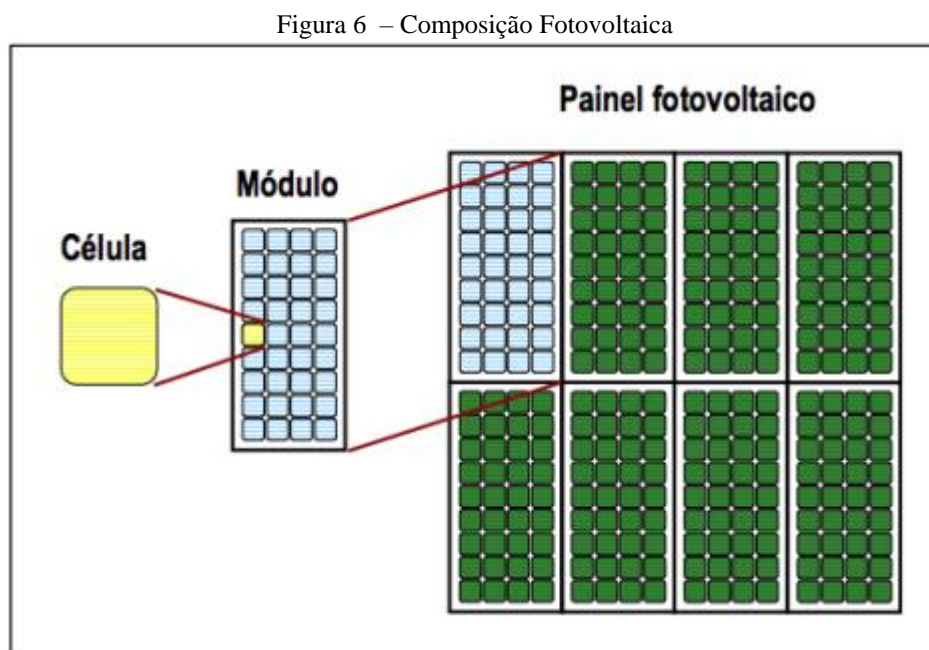
Fonte: (JORNAL O GLOBO, 2018)

### 2.3.3 Células Fotovoltaicas

A célula fotovoltaica é conhecida como dispositivo elétrico que tem a capacidade de converter a energia da luz proporcionada pela irradiação do Sol em energia elétrica através do fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico. As células fotovoltaicas são constituídas em sua maioria de materiais de silício (Si) podendo ser feitos de materiais de cristais monocristalinos e policristalinos ou de silício amorfo. Usualmente é projetada conjunções de 36, 60 ou 72 células fotovoltaicas interligadas em série para montar um módulo fotovoltaico. Este módulo fotovoltaico tem a capacidade de gerar energia solar fotovoltaica (CANADIANSOLAR, 2018).

### 2.3.4 Composição de Modulo Fotovoltaico

Uma de célula de silício chega a produzir uma corrente CC entre 3A a 5A e tensão em sua saída de chega a aproximadamente 0,7V. São agrupadas as células em serie e ou em paralelo para que assim chegue a um valor de tensão e corrente que sejam adequados para a aplicação desejada. Com está combinação das células em serie e ou em paralelo se forma um módulo fotovoltaico, e ainda assim tendo estes módulos em serie e ou em paralelo se forma o painel fotovoltaico como mostra a figura 6 (ZILLES, et al., 2012).



Fonte: (CARNEIRO, 2010)

### 2.3.5 Principais Tipos de Células Fotovoltaicas

#### 2.3.5.1 Silício Monocristalino

A célula de silício monocristalino apresentada na figura 7, é mais usada e comercializada como um conversor direto de energia solar em eletricidade. As células de silício são fabricadas através da extração do cristal de dióxido de silício. O material é desoxidado em fornos de aquecimento para que seja purificado e solidificado. Assim com este processo o material atinge seu máximo grau de pureza que chega a 98 e 99%. Ainda assim o silício precisa para funcionar como uma célula fotovoltaica, a necessidade de outros semicondutores, que aí sim chegará ao seu grau desejável de pureza que fica em torno de 99, 9999% (RUTHER, 2004).

Figura 7 – Célula Monocristalina



Fonte: (SOLAR, 2015)

Uma única célula de silício produz uma corrente CC que pode variar de 3A e 5A e uma tensão de saída de aproximadamente 0,7V. No entanto é necessário agrupar em serie e ou em paralelo um número significativo para que estes valores de tensão e corrente cheguem a um valor satisfatório para formar um módulo fotovoltaico como visto na figura - 6 (CARNEIRO, 2010). No entanto também será agrupado em serie ou em paralelo os módulos fotovoltaicos para produzir a quantidade de energia adequada para o inversor de frequência como podemos observar na figura 8.

Figura 8 - - Módulo Monocristalino



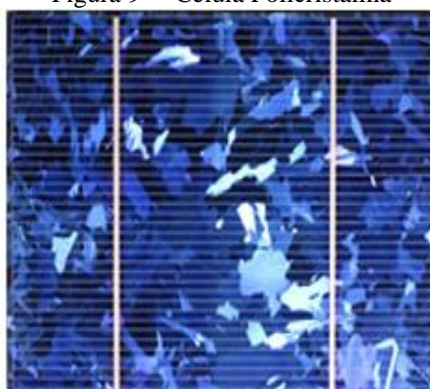
Fonte: (SOLAR, 2015)

### 2.3.5.2 Silício Policristalino

As células de silício policristalino apresentada na figura 9, são menos eficientes que as monocristalinas. Atualmente são as mais utilizadas nos sistemas fotovoltaicos devido ao seu custo-benefício. Seu processo de pureza é similar ao processo do silício monocristalino, assim obtendo um grau de eficiência compatível. O processo de pureza do silício utilizada na produção das células de silício policristalino é similar ao processo do Si monocristalino, o que permite obtenção de níveis de eficiência compatíveis, passando pelos rigorosos processos de controle (RUTHER, 2004).

É preparado pelo corte de um lingote, de fitas ou posto um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Nestes dois últimos casos só o silício policristalino pode ser obtido. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais (CRESESB, 2006).

Figura 9 – Célula Policristalina



Fonte: (SOLAR, 2015)

No entanto também será agrupado em serie ou em paralelo os módulos fotovoltaicos para produzir a quantidade de energia adequada para o inversor de frequência como podemos observar na figura 10.

Figura 10 -- Módulo Policristalino

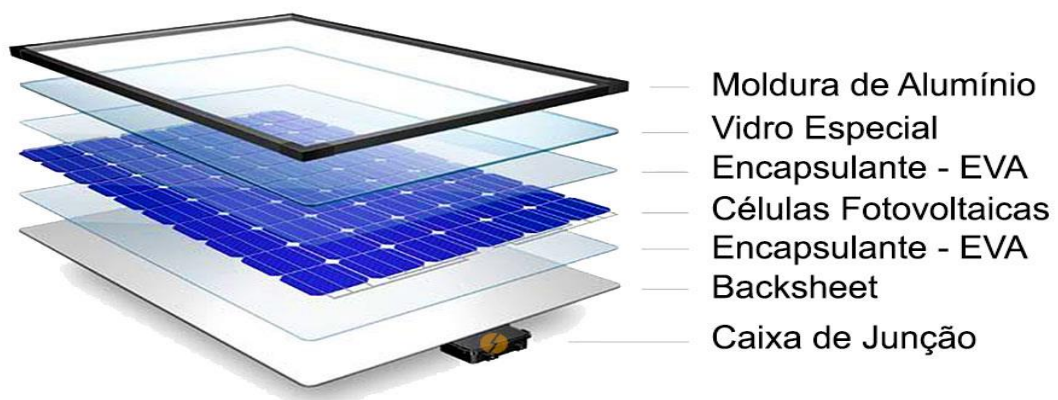


Fonte: (SOLAR, 2015)

### 2.3.5.3 Composição de um Módulo Fotovoltaico

A composição de um módulo fotovoltaico como ilustrada na figura 11, se dá por uma junção de componentes, que separa os componentes por camadas. Essa formação que compõe os módulos tem como objetivo aumentar sua resistência e facilidade na hora da instalação (ALVARENGA, 2014).

Figura 11 – Composição Módulo Fotovoltaico



Fonte: (PORTALSOLAR, 2018)

#### 2.3.5.4 Caixa de Junção (Junction Box)

O módulo fotovoltaico tem em sua composição uma caixa de junção apresentada na figura 12. A caixa também conhecida como gabinete, fica fixada na parte de baixo do módulo tem como finalidade interconectar as *instrings* em série. A caixa *Junction* possui dentro diodos de *by-pass* para garantir a segurança e o bom funcionamento do módulo fotovoltaico. A caixa de junção já vem com os cabos e conectores MC4 ou MC3 que são utilizados para interconectar os módulos fotovoltaicos. A caixa de junção representa aproximadamente 6% do custo de fabricação do painel solar (PORTALSOLAR, 2018).

Figura 12 - Caixa de Junção (Junction Box)



Fonte: (PORTALSOLAR, 2018)

#### 2.3.6 Características Elétricas dos Módulos Fotovoltaicos (ALVARENGA, 2014)

A potência dos módulos geralmente é dada pela potência de pico. A potência máxima de saída dos módulos fotovoltaicos é conhecida por watt pico (Wp). Tão importante quanto este parâmetro outras características elétricas que definem a funcionalidade dos módulos fotovoltaicos serão citadas a seguir:

- **Voltagem de Circuito Aberto (Voc):** Máxima tensão que um módulo é capaz de produzir quando exposto a irradiação solar e a temperatura quando seus terminais estão abertos. Não existindo corrente elétrica, a potência elétrica fornecida pelo módulo fotovoltaico é zero.
- **Corrente de Curto Circuito (Isc):** Máxima corrente que um módulo fotovoltaico é capaz de produzir quando exposto a irradiação e temperatura quando seus terminais são curto-circuitados. Não existindo tensão elétrica, a potência elétrica fornecida pelo módulo fotovoltaico é zero.

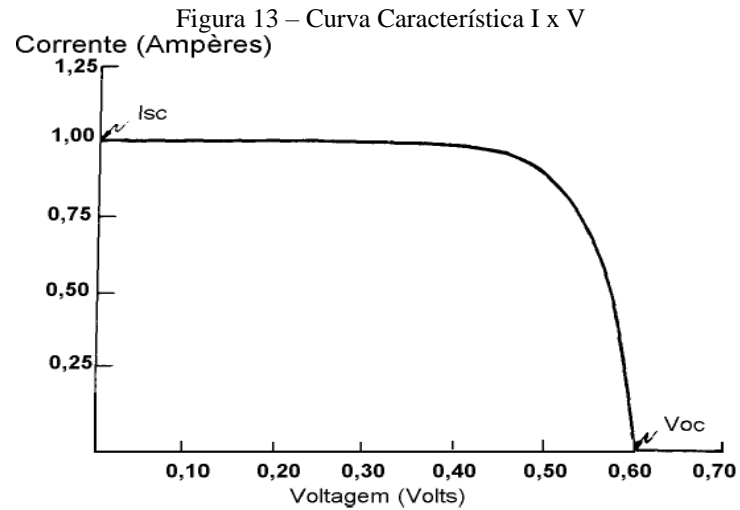
- Potência Máxima ( $P_{max}$ ): Máxima potência elétrica que um módulo fotovoltaico é capaz de gerar quando exposto a irradiação e temperatura. O produto da corrente de potência máxima, pela tensão de potência máxima. Este ponto caracteriza o joelho da curva.
- Voltagem de Potência Máxima ( $V_{mp}$ ): É a tensão elétrica que um módulo fotovoltaico é capaz de fornecer em seu pico máximo de potência quando exposto a irradiação solar.
- Corrente de Potência Máxima ( $I_{mp}$ ): Máxima corrente que um módulo fotovoltaico fornece quanto ao seu ponto de potência máxima, assim sendo considerada a corrente nominal de um módulo fotovoltaico.

A condição padrão para obter as curvas características dos módulos é definida para radiação de  $1000 \text{ w/m}^2$  (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia), e temperatura de  $25^\circ\text{C}$  na célula (a eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura) (CRESESB, 2006).

#### 2.3.6.1 Curva Característica I x V

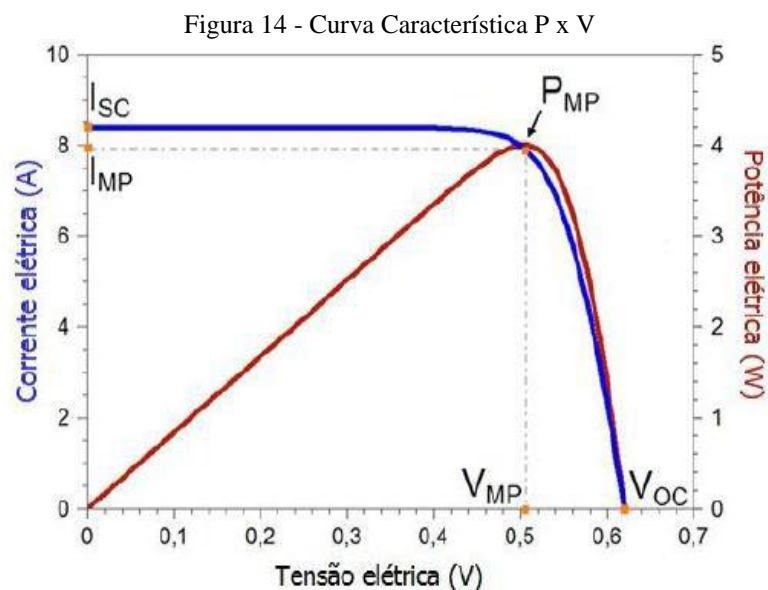
A característica corrente-tensão de saída de um dispositivo fotovoltaico é denominada pela curva corrente-tensão. A corrente de saída mantém-se constante dentro da amplitude de tensão de funcionamento, portanto seu dispositivo pode ser considerado uma fonte de corrente constante para esse ambiente. A corrente e a tensão em cada ponto da curva são representadas pela potência gerada, que o dispositivo fotovoltaico opera em condições determinadas pela radiação solar incidente, pela temperatura ambiente, e pelas características da carga conectadas ao mesmo como a figura 13 mostra. Essa curva também pode caracterizar o fator de forma e a eficiência do módulo fotovoltaico (ZILLES, et al., 2012).





### 2.3.6.2 Curva Característica P x V

A característica curva de potência-tensão como vista na figura 14, é influenciada de acordo com a temperatura e a irradiação solar. O produto da corrente pela tensão da célula ou do módulo fotovoltaico em cada ponto na curva I x V, este ponto gera a curva da potência-tensão. Existe somente um ponto da curva onde os valores da tensão,  $V_{MP}$ , e o da corrente,  $I_{MP}$ , correspondem à potência máxima que pode ser extraída de uma célula fotovoltaica, chamado ponto de máxima potência MPP (*Maximum Power Point*). A potência no MPP,  $P_{MP}$ , é dada pelo produto da tensão  $V_{MP}$  pela corrente  $I_{MP}$ . Os valores de MPP,  $V_{MP}$ ,  $I_{MP}$ ,  $V_{OC}$  e  $I_{SC}$  determinam as características da célula ou painel fotovoltaico (ZILLES, et al., 2012).



### 2.3.6.3 Eficiência do Módulo fotovoltaico

A eficiência é uma das maneiras de se avaliar a qualidade de um módulo fotovoltaico, entre outras características importantes ao ser avaliada. A eficiência definida pela relação entre a quantidade de energia elétrica que é produzida no ponto de máxima potência (W) e a qualidade de energia que chega ao módulo se dá pela equação [1] a seguir: (W/m<sup>2</sup>) (ALVARENGA, 2014).

$$n_{\text{módulos}} = \frac{P_{\text{max}}}{(\text{radiação solar})} \quad [1]$$

### 2.3.6.4 Fator de Forma (FF)

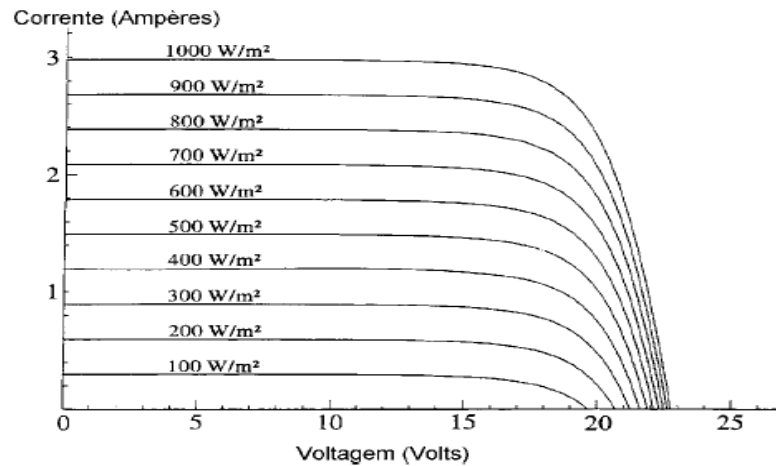
Esta forma de avaliar a qualidade das células de um módulo fotovoltaico, quanto, mas a curva se aproxima da forma retangular, melhor vai ser a qualidade se sua célula fotovoltaica. Assim podemos definir o fator de forma pela relação da área entre os retângulos P x I e P x V, é definida pela equação [2] (ALVARENGA, 2014).

$$\text{fator de forma} = \frac{I_{mp} * V_{mp}}{I_{sc} * V_{oc}} \quad [2]$$

### 2.3.6.5 Fatores que Alteram as Características dos Módulos Fotovoltaicos

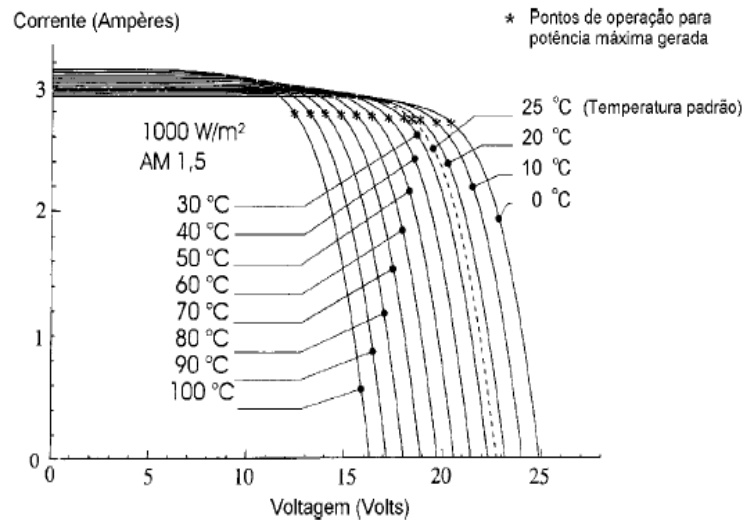
Os principais fatores que alteram as características elétricas de um painel fotovoltaico são a Intensidade Luminosa e a Temperatura das Células como visto na figura 15. A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da Intensidade luminosa e a irradiação solar. Por outro lado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia abaixando assim os pontos de operação para potência máxima gerada como vista na figura 16 (CRESESB, 2006).

Figura 15 – Efeito causado pela variação de intensidade luminosa



Fonte: (CRESESB, 2006)

Figura 16 – Efeito causado pela temperatura na célula



Fonte: (CRESESB, 2006)

### 2.3.7 Inversor ou Conversor CC-CA

Os módulos fotovoltaicos geram energia em corrente contínua. Assim com esta configuração se faz necessário o uso de um equipamento eletrônico conhecido como inversor, este dispositivo converte CC-CA, para que se obtenha uma tensão em corrente alternada com características de frequência, conteúdo de harmônicos, forma de onda etc., quais são necessárias para satisfazer as condições regidas pelas concessionárias, que controlam a rede elétrica. Assim atendida essas necessidades, a energia gerada pode ser conectada à rede. (RUTHER, 2004 p. 30).

Atualmente, existem basicamente dois tipos de inversores no mercado:

- Os inversores chamados de *off grid* são utilizados em sistemas autônomos, desconectados da rede elétrica como em alguns sítios, *motorhome* e embarcações. Nesse tipo de sistema é necessária a utilização de um banco de baterias para armazenamento da energia gerada. Os painéis fotovoltaicos são conectados em um controlador de carga que faz o gerenciamento da corrente elétrica que alimenta a bateria e o inversor (ECYCLE, 2013).
- Os inversores *grid tie* ou *string inverters* é normalmente utilizada em sistemas de microgeração e minigeração, em sistemas diversificados de quilowatts, conectados à rede elétrica. Dependendo do tamanho do sistema podem ser utilizados vários inversores ligados em paralelo para conseguir a potência desejada do sistema, normalmente encontram no mercado inversor de até 25 Kw (ECYCLE 2013).

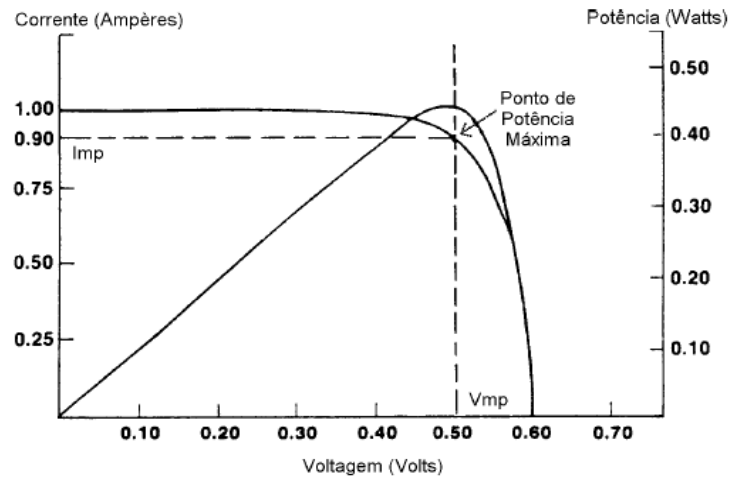
#### 2.3.7.1 Eficiência dos Inversores

Muito importante na hora de dimensionar um sistema fotovoltaico é o chamado rastreamento do ponto de máxima potência (*MPPT – Maximum Power Point Tracking*) como pode ser observado na figura 17. O MPPT assegura que instantaneamente o inversor extraia máxima potência dos módulos fotovoltaicos, a variante do valor de tensão de operação até o ponto que se dá pelo resultado da multiplicação da tensão e a corrente que são responsáveis por fornecer a maior potência naquele determinado momento (RESENDE, 2017).

Acontece em muitas instalações aparecerem problemas do tipo de sombreamento nos painéis fotovoltaicos, este problema afeta diretamente a eficiência de produção de energia, assim como o método MPPT e da geração de energia de toda *string* (GOETZBERGER, et al., 2005 p. 88).

Em sistemas voltados para orientação diferentes o que normalmente acontece, um conjunto de placas instaladas em águas de orientações diferentes, como por exemplo, um para o telhado leste e outra para o telhado oeste, deve-se evitar conectar os módulos das diferentes águas em um mesmo MPPT. Para contornar essas situações temos inversores, principalmente *grid tie*, possuem duas entradas de MPPT, que assim possibilita arrumar os módulos de diferentes orientações, uma em cada MPPT, otimizando a produção de energia (GOETZBERGER, et al., 2005 p. 89).

Figura 17 - Curva IV com ponto de máxima potência MPPT



Fonte: (ZILLES, et al., 2012)

### 2.3.8 Tipos de sistemas solar fotovoltaicos

#### *Off-GRID*

- São aqueles sistemas autônomos, independentes da rede de distribuição de energia elétrica, que se sustenta através de baterias, que são seus dispositivos de armazenamento como ilustrado na figura 18:

Figura 18 - Sistema *OFF-GRID*



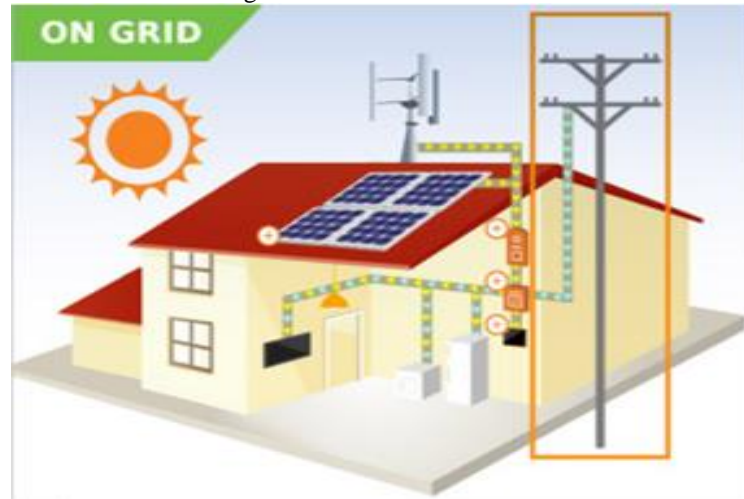
Fonte: (COOPESOLAR)

#### *ON-GRID*

- Também chamados de *grid-tie*, este tipo de sistema fotovoltaico precisa, necessariamente, estar conectado à rede de distribuição de energia. São mais eficientes

que os sistemas *off-grid* e dispensam a utilização das baterias e dos controladores de carga, o que faz com que seu quite tenha um preço mais baixo. No caso de sistemas *on-grid*, os inversores terão, além da função tradicional de converter a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), a função de sincronizar o sistema com à rede pública como ilustrado na figura 19: (ECYCLE, 2013).

Figura 19 - Sistema *ON-GRID*



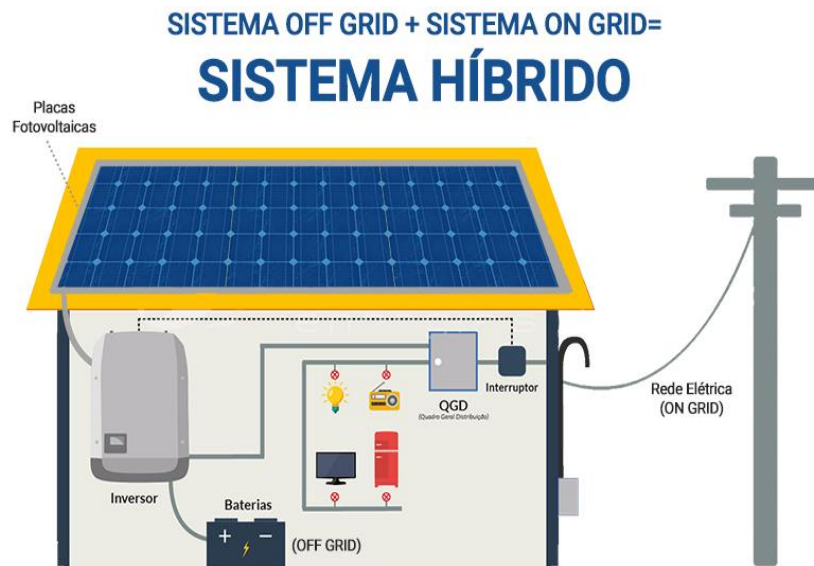
Fonte: (COOPESOLAR)

## HÍBRIDO

- Este sistema basicamente tem seu funcionamento como o sistema *on-grid* acrescentando apelas baterias como ilustrado na figura 20.

É um sistema de geração fotovoltaica, inteligente, ou seja, conectado à rede elétrica (*ON GRID*) e isolado (*OFF GRID*), que além da economia, armazena energia dando maior confiabilidade para as cargas prioritárias, suprindo na falta de energia local, quanto na falta de energia fotovoltaica, com a energia armazenada (SOLAR VIDA, 2017).

Figura 20 – Sistema Híbrido



Fonte: (SOLAR VIDA, 2017)

### 2.3.8.1 Vantagens e Desvantagens Sistemas *OFF-GRID* – *ON-GRID*

As vantagens e desvantagem dos sistemas são citados na tabela 2, como podemos ver a seguir:

Tabela 2 – Vantagens e Desvantagens sistemas *off-grid* e *on-grid*

Sistema	Vantagens	Desvantagens
<i>OFF-GRID</i>	Pode ser utilizada em regiões remotas, por ser independente da rede de distribuição de energia	Necessidade da utilização de baterias e controladores de carga
	não há necessidade de pagar conta de luz	Custo mais elevado
	possui sistema de armazenamento	Menos eficiente
<i>ON-GRID</i>	Dispensa utilização de baterias e controladores de carga	Necessita do acesso a rede de distribuição
	possibilita ao consumidor adquirir créditos de energia	Não há sistemas de armazenar
	Créditos podem ser usados em outras unidades consumidoras do mesmo proprietário	Necessidade de pagar conta de luz quando a demanda for maior que a produção e não houverem créditos disponíveis
	Mais eficiente	

Fonte: (ECYCLE, 2013)

### 2.3.9 Geração Distribuída

Vêm acontecendo ao longo dos anos uma grande evolução, quando se trata de energia solar fotovoltaica, em ambiente nacional e internacional, tendo esporadicamente baixas em

valores dos equipamentos que compõem um sistema fotovoltaico, está deixando para traz a barreira econômica, que havia na visão de quem tem vontade de investir em um sistema de geração própria de energia solar. Por esta razão, de cada vez mais pessoas estarem adquirindo ao sistema solar conectado à rede de energia elétrica, tornasse crítico a situação do Brasil por não estar preparado para aproveitar a essa oportunidade, avançando desde já na revisão da regulamentação da pequena geração distribuída, tendo em vista objetivo para que o avanço não prejudique a operação das redes de distribuição (COGEN, 2012).

## 2.4 Regulamentação

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular e fiscalizar o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Estabelece as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, ao sistema de distribuição, não abrangendo as Demais Instalações de Transmissão – DIT, e definir os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessos bem como aos existentes (PRODIST, 2017).

Os Procedimentos de Distribuição - PRODIST são documentos e elaborados pela ANEEL que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2018).

A ANEEL iniciou suas atividades em dezembro de 1997, tendo como principais atribuições:

- Regular a geração (produção), transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica (ANEEL, 2018);
- Fiscalizar, diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica (ANEEL, 2018);
- Programar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos (ANEEL, 2018);
- Estabelecer e regulamentar tarifas;
- Dirimir as divergências, na esfera administrativa, entre os agentes e entre esses agentes e os consumidores;



- Promover as atividades de outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica, por delegação do Governo Federal (ANEEL, 2018).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em sua plenitude rege a distribuição de energia elétrica, a ANEEL elaborou o PRODIST que são regulamentações de procedimentos de distribuição de energia elétrica, com a participação de outras entidades ligadas ao setor elétrico nacional. O PRODIST é dividido em 11 módulos que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas elétricos.

Segundo o (PRODIST - Módulos 3) regulamentam o Sistema de Distribuição Nacional, a partir da quarta revisão, inclui as diretrizes para acesso ao sistema de micro e minigeração distribuída. Essa revisão ocorreu após a publicação da Resolução Normativa nº 482 em de 17 de abril de 2012. A Resolução Normativa nº 482 rege as devidas regras para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição e o sistema de compensação de energia elétrica, tendo em vista estabelecer condições a serem seguidas para a geração e inserção de energia em pequena escala na rede de distribuição. Essa resolução sofreu atualizações em seu texto a partir da resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015.

#### 2.4.3 Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012 (PRODIST, 2012)

No ano de 2012 a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – determinou as diretrizes para a regulamentação da microgeração e minigeração distribuída no Brasil. A Resolução Normativa nº 482 ofereceu condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia, foram estabelecidas regras para a instalação de sistema distribuído conectadas à rede de distribuição.

A metodologia de trabalho conforme o estudo da própria Resolução e dos documentos oficiais que precederam a sua elaboração e os que a retificaram após sua divulgação. As conclusões apontaram o fato de que a edição da Resolução Normativa nº 482 inaugurou um novo modelo para o sistema elétrico brasileiro, criando as condições para que as distribuidoras de energia aceitem a instalação e operação de sistemas de energia em paralelo a suas redes de distribuição, visando reduzir as barreiras regulatórias existentes para conexão de geração de pequeno porte na rede de distribuição.

Contudo, análise da legislação indica inúmeras dificuldades à implantação de sistemas dessa natureza, pois apesar de configurar um panorama no qual se permite a adoção da microgeração e da minigeração distribuída, essa permissão não é acompanhada de qualquer incentivo que mobilize cidadãos comuns a adquirirem tais sistemas, no entanto essa resolução sofreu atualizações em seu texto a partir da resolução normativa nº 687, de 24 de Novembro de 2015, a partir de então, a geração distribuída de energia acompanham a está nova resolução.

#### 2.4.4 Resolução Normativa nº 687, 24 de Novembro de 2015 (PRODIST, 2015)

A Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

A ANEEL em Novembro de 2015 apresentou a Resolução Normativa nº 687 que atualiza as leis energia solar. O maior impacto da Resolução Normativa nº 687 aconteceu sobre o mercado, que passou a contar com mais possibilidades de utilização para a energia gerada. A partir desta resolução a geração distribuída no Brasil é classificada da seguinte forma dentre os termos relevantes para a finalidade de geração fotovoltaica:

- Microgeração distribuída: central geradora, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- Minigeração distribuída: central geradora, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

Potência do sistema difere entre grupos de consumidores para o dimensionamento da potência instalada das centrais geradoras, definiu-se que para os consumidores do grupo A (alta tensão), atendidos em tensão igual ou superior a 2,3 kV ou por sistema subterrâneo de distribuição, caracterizado pela tarifa binômica (aplicada ao consumo e à demanda faturável), a potência total da central geradora fica limitada à demanda contratada presente na conta de energia elétrica da unidade consumidora. Para os consumidores do grupo B (baixa tensão), que são atendidos por tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômio (aplicável apenas ao consumo), a potência das centrais limita-se à carga instalada da unidade.

- Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;
- Melhoria: instalação, substituição ou reforma de equipamentos em instalações de distribuição existentes, ou a adequação destas instalações, visando manter a prestação de serviço adequado de energia elétrica;
- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagens aéreas ou subterrâneas e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento;
- Geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;
- O consumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, 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.

Foram introduzidas as modalidades de geração para cooperativa e condomínios que foi um marco importante para o setor, que a partir desta resolução facilitou a implantação de novos sistemas, diminuindo a parte burocrática assim incentivando o aquecimento do mercado de geração distribuída.

Outra mudança importante foi a ampliação do prazo para a utilização da energia gerada e injetada na rede pública. Anteriormente o consumidor tinha apenas três anos para usufruir dos créditos energéticos. Agora é possível recuperar a energia excedente em até cinco anos.

É evidente que a geração de energia por parte do consumidor veio para ficar. Os processos, normas e leis continuam evoluindo para que mais benefícios sejam criados para os que decidem gerar a sua própria energia. Cada vez mais veremos os sistemas fotovoltaicos invadindo os telhados brasileiros.

#### 2.4.5 Celesc Acesso a Microgeração Distribuída (CELESC, 2017)

A Celesc distribuidora é uma empresa de Santa Catarina instituída em 2006, é a subsidiária responsável pelo fornecimento de energia elétrica para cerca de 2,8 milhões de unidades consumidoras, é uma das maiores instituições de distribuição de energia elétrica do país (CELESC, 2018).

A Celesc Distribuidora fornece as diretrizes para estabelecer os requisitos mínimos necessários para a conexão de agentes classificados como micro ou minigeração de energia elétrica ao sistema da Celesc, em baixa tensão (BT) e em média tensão (MT). Sistemas de Microgeração e minigeração distribuída com paralelismo permanente, visando os aspectos de proteção, operação e segurança, de forma a atender a todas as Resoluções Normativas nº 482/12 e 687/15 da ANEEL. As seções posteriores apresentam os requisitos do projeto determinados pela CELESC Distribuidora S.A. Essas exigências estão coerentes de acordo com as regulamentações oferecidas de acordo com os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional –PRODIST – ANEEL.

Microgeração distribuída com geração central conectada à rede de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (CELESC, 2017).

O relacionamento operacional do procedimento seguido pelo documento emitido pela Celesc Distribuição que descreve e define todas as atribuições, responsabilidades e procedimentos que serão necessários para o relacionamento técnico-operacional, para microgeradores. Que deve contar com uma análise técnica observando o sistema elétrico onde será implantado se referindo de Média Tensão (MT), e toda e qualquer parte do sistema elétrico que esteja operando nas tensões nominais de 13.800, 23.000 ou 34.500 Volts e em Baixa Tensão (BT), que esteja operando nas tensões nominais de 380/220 ou 440/220 Volts.

Pra a definição de tensão de conexão, deve ser considerada a potência na unidade consumidora conforme tabela 3.

Tabela 3 – Níveis de Tensão Considerados para Conexão de Micro e Minicentrais Geradoras

Potência Instalada	Nível de Tensão da Conexão
Até 15 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
Acima de 15 kW até 25 kW	Baixa tensão (bifásico ou trifásico)
Acima de 25 kW até 75 kW	Baixa tensão (trifásico)
Acima de 75 kW até 5.000 kW (3.000) kW para sistemas com fontes hidráulicas	Media Tensão (trifásico)

Fonte (CELESC, 2018)

Dos procedimentos a serem seguidos para o acesso ao sistema elétrico da Celesc Distribuidora S.A. Santa Catarina deve seguir as seguintes etapas sequenciais e formulários assim como a anotações de responsabilidade técnicas citadas a seguir:

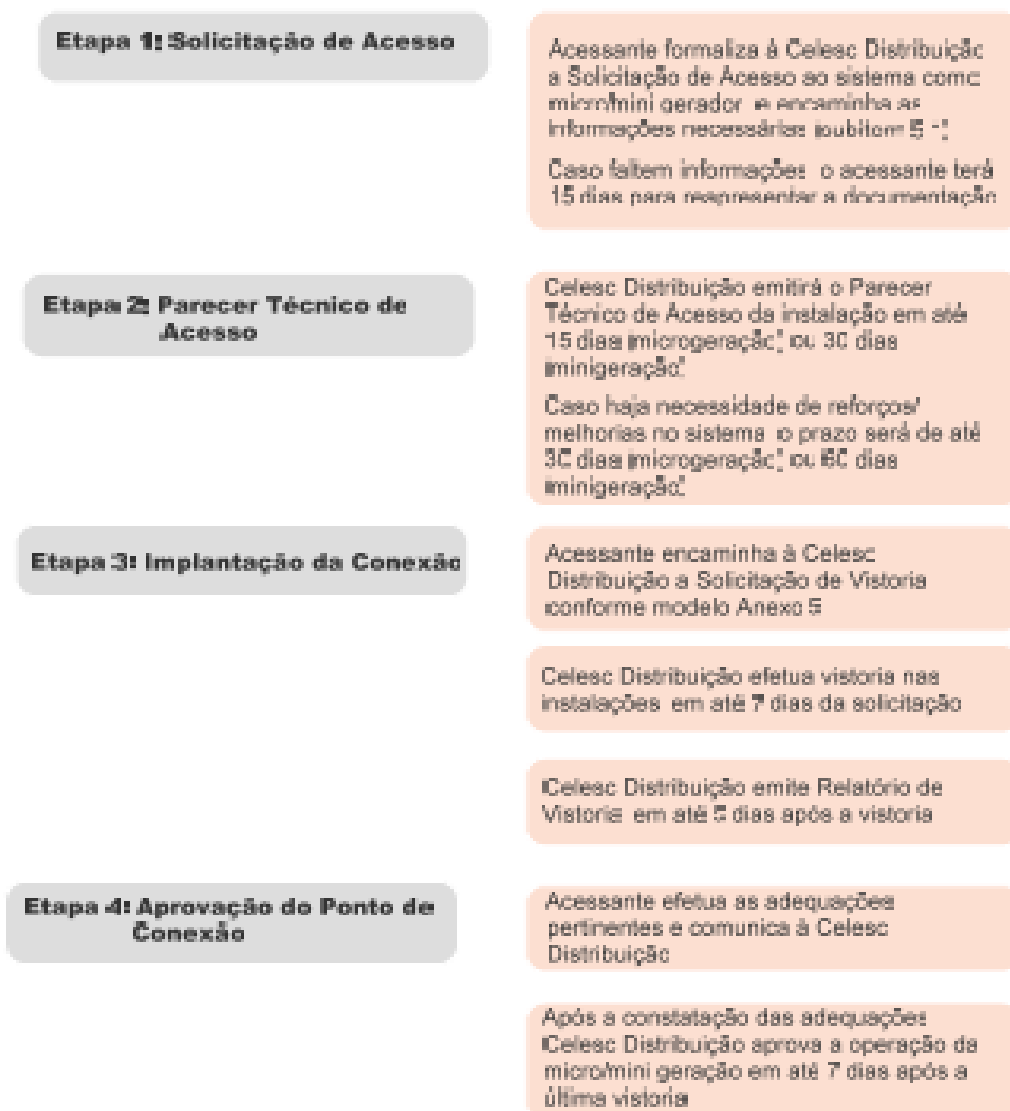
- Etapas para visualização de acesso;
- Solicitação de acesso;
- Formulário de solicitação de acesso;
- ART do profissional técnico responsável pelo projeto;
- Memorial descritivo;
- Diagrama unifilar;
- Estudos operacionais necessários à conexão, quando se tratar de minigeração.

A Celesc em sua plataforma avaliará a documentação do projeto que será de responsabilidade do requerente da geração distribuída. A documentação acima deverá ser encaminhada pela internet, através da plataforma PEP Web, no endereço eletrônico <http://pep.celesc.com.br/> sendo assim indispensável à anexação de todos os documentos solicitados pela distribuidora. O prazo para o parecer de acesso é de 15 dias para a solicitação de acesso a microgeração distribuída entre outros prazos que estarão mais bem especificados no fluxograma na figura 21.

Figura 21 – Fluxograma Etapas para Viabilização do Acesso



## Processo de Acesso da Micro e Mini Geração Distribuída



Fonte: (CELESC, 2017)

### **3 ESTUDO DE CASO**

#### **3.1 Apresentação**

O estudo teve como objetivo a implantação de um sistema de microgeração solar em um condomínio residencial localizado na cidade de São Joaquim, Santa Catarina, o condomínio conta com cinco residências como mostra a imagem de satélite na figura 22, com um valor médio de 408 kWh/mês cada residência como podemos observar na tabela - 7. Defendendo assim a viabilidade para a execução do projeto. Com o resultado do estudo será apresentado em reunião com os moradores do condomínio uma proposta e o projeto para que possa ser feita uma negociação do valor pago a executante.

Como visto no capítulo anterior a implantação do projeto levará em consideração as normas da ANEEL e da CELESC.

#### **3.2 Análise do Local de Instalação**

O projeto analisado tem como objetivo gerar energia elétrica para um condomínio residencial localizado no município de São Joaquim – SC, Rua Lauro Brighenti, Loteamento Martorano.

O condomínio Brighenti tem suas coordenadas geográficas os valores de latitude - 28.289006° Sul e longitude -49.932148° Oeste. Na imagem obtida através do Google Earth ilustrada na figura 22, podemos ver a localização exata de onde será instalado sistema.

Figura 22 – Imagem superior do condomínio Brighenti



Fonte: (GOOGLE EARTH, 2018)

Na imagem podemos ver que a área onde vai ser alocados os módulos, é livre de vegetação alta, e sem sombras que poderiam ocasionar perdas de eficiência.

O local onde será implantado o sistema foi decidido mediante pedido dos condôminos que realçaram intenção de fazer a implantação em solo, onde o recurso de irradiação é pleno sem complicações do tipo de sombreamento. O sistema ficará em conjunto com os condôminos, sendo determinado um percentual predefinido de créditos por residência, que foi determinado no projeto.

### 3.3 Orientação dos Módulos Fotovoltaicos

Para a definição da inclinação e a orientação dos módulos, não existe um consenso geral sobre o melhor método de escolher o ângulo para a implantação. O ângulo para módulos não deve ser menor do que  $10^\circ$  graus para evitar acúmulos de poeira (GRADELA VILLALVA, et al., 2014).

Para saber o ângulo recomendado para diversas faixas de latitudes geográficas a tabela 4 a seguir sugere ângulos a serem adotados:



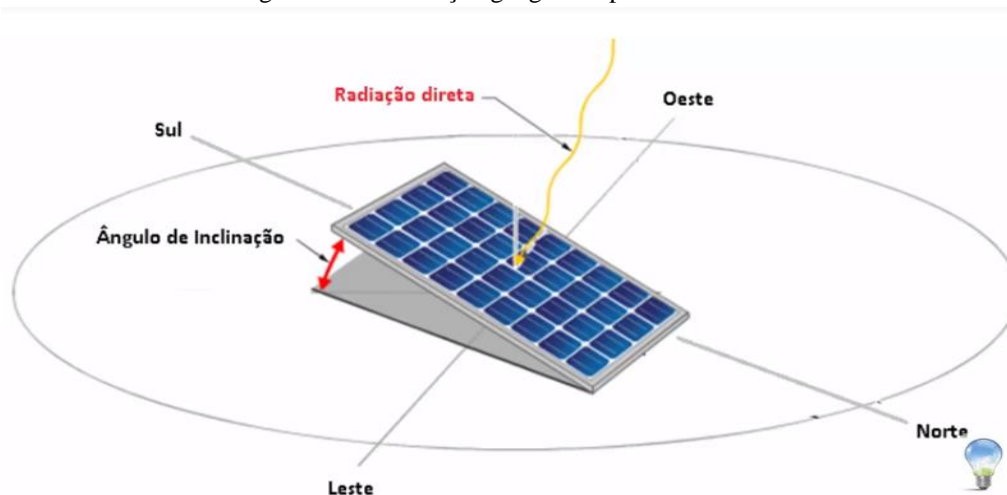
Tabela 4 – Recomendação de Ângulos para Inclinação dos Módulos

Latitude Geográfica do Local	Ângulo de Indicação Recomendada
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{Latitude}$
21 a 30°	$\alpha = \text{Latitude}$
31° a 40°	$\alpha = \text{Latitude} + 5^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{Latitude} + 10^\circ$

Fonte: (GRADELA VILLALVA, et al., 2014)

A melhor orientação é voltada para a linha do equador e a inclinação dos módulos para maior produção é aquela onde a luz incide o mais perpendicular possível ao plano dos módulos fotovoltaicos como ilustrado na figura 23 a seguir:

Figura 23 – Orientação geográfica para os módulos



Fonte: (GRADELA VILLALVA, et al., 2014)

### 3.4 Avaliação do Recurso Solar

Foram avaliados os recursos de irradiação solar para o dimensionamento dos módulos solares.

O programa *SunData* destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. A primeira versão do programa foi elaborada em 1995 com a finalidade de auxiliar o dimensionamento dos sistemas nas diversas fases do PRODEEM e foi adaptado, no ano seguinte, para consulta via *web* (CRESESB, 2014).

Como podemos observar na tabela 5 a seguir, são fornecidos dados para três diferentes ângulos de inclinação em relação ao plano horizontal.

- o ângulo igual à latitude;

- o ângulo que fornece o maior valor médio diário anual de irradiação solar;
- o ângulo que fornece o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar.

Destas indicações sugeridas pelo site da CRECESB, será usado aquele que melhor referencie a eficiência para o projeto, em geral, o valor da latitude local é usado como ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico (GRADELA VILLALVA, et al., 2014).

Os conjuntos de valores mostram as irradiações diárias médias mensais para as três inclinações: Latitude, Maior Média e Maior Mínimo, sendo que se aplicam as seguintes observações:

Os ângulos de inclinações são arredondados para valores inteiros de graus, em função da precisão dos instrumentos de medição da inclinação usados para instalação de sistemas fotovoltaicos em campo, chamados de goniômetro, que costumam apresentar erros da ordem de alguns graus (CRESESB, 2014);

- O valor mínimo de inclinação admitido é de 10°, pois o CEPTEL não recomenda a instalação de painéis fotovoltaicos com inclinação inferior a esta para evitar o acúmulo de água e sujeira;
- O ângulo de inclinação B, buscado por cada um dos critérios de Latitude, Maior Média e Maior Mínimo, é calculado no intervalo de:  $\text{Latitude} - 20 \leq B \leq \text{Latitude} + 20$ , com passo de um grau (CRESESB, 2014); .
- As orientações dos módulos fotovoltaicos são também dadas, sendo admitidas somente orientação na direção Norte (indicado por N) ou na direção Sul (indicado por S) (GRADELA VILLALVA, et al., 2014).

Tabela 5 – Irradiação solar para condomínio Brighenti

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m2.dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,85	5,49	4,79	3,93	3,01	2,61	2,88	3,67	3,91	4,88	6,09	6,4	4,46	3,79
Ângulo igual a latitude	28° N	5,23	5,25	5,03	4,65	3,96	3,63	3,93	4,57	4,25	4,8	5,53	5,6	4,7	1,97
Maior média anual	23° N	5,4	5,36	5,05	4,58	3,84	3,49	3,79	4,47	4,24	4,87	5,7	5,81	4,72	2,32
Maior mínimo mensal	48° N	4,34	4,56	4,68	4,67	4,2	3,95	4,24	4,71	4,05	4,27	4,62	4,56	4,4	0,76

Fonte: (CRECESB 2017)

O valor adotado para cálculo do HSP equivale aproximadamente ao valor do ângulo igual a latitude, onde a inclinação se aproxima da desejável. O valor utilizado para o dimensionamento do projeto tem sua média de irradiância oferecida pela CRECESB de 4,7 kWh/m<sup>2</sup>/dia.

Segundo o CRESESB, a taxa diária de insolação média anual para o local a ser instalado o sistema é 4,7 kW/m<sup>2</sup>. Ainda de acordo com a tabela - 6 de perdas típicas, este valor recebe uma variação, a quantidade de radiação recebida diária o HSP (irradiação diária), é equivalente a um dia que tem 4,47 horas de incidência solar a 1000 W/m<sup>2</sup> (máxima radiação solar) obtida na equação [3]. A partir das informações obtidas no estudo, os módulos fotovoltaicos ficarão orientados para o Norte com a inclinação igual à da latitude, portanto com 28°, como ficou exemplificado na tabela – 4, 5 e ilustrado na figura 23.

Tabela 6 – Perdas Típicas para Sistemas Solar

<b>Perda</b>	<b>Valor Considerado (Porcentual conc.%)</b>	<b>Varição Mínima a Máxima da Perda</b>
Desvio no rendimento nominal do módulo (dados de placas) e da irradiação de 1000W/ m <sup>2</sup>	5 %	-5 % a 10 %

Fonte: (VALINA, 2010)

$$HSP = (1 - P_{conc} \% / 100) * I_{diario} \quad [3]$$

$$HSP = 4,47 \text{ horas de sol dia}$$

O HSP para o local de instalação do sistema fica determinado em 4,47 h/dia como determinado na equação [3].

### 3.5 Avaliação do Consumo de Energia Elétrica

Para estimar o consumo de cada uma das quatro residências, foram retirados valores da fatura de energia, onde consta o histórico dos últimos treze meses, onde foi feita a média entre treze meses, o valor obtido se refere ao consumo total das residências pertencentes ao condomínio, como podemos ver na tabela 7.

Tabela 7 – Média mensal do Consumo de Energia

	Residência 1	Residência 2	Residência 3	Residência 4	Residência 5
Mês	kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês
out/18	320	370	260	480	500
set/18	430	430	450	450	530
ago/18	400	450	390	400	480
jul/18	380	420	330	470	420
jun/18	450	500	420	380	400
mai/18	450	370	289	370	380
abr/18	400	380	290	460	400
mar/18	390	370	350	420	430
fev/17	420	370	310	430	430
jan/17	380	390	340	450	460
dez/17	430	370	320	470	510
nov/17	440	410	460	450	490
out/17	420	380	360	450	500
Media kWh/Mês	408,5	400,8	351,5	473,2	456,2
Valor Total kWh/mês	2090				

Fonte – Autoria própria

### 3.6 Dimensionamento Fotovoltaico

Para dimensionar o sistema fotovoltaico primeiramente foi verificado quais componentes estão sendo comercializados, que tenham disponibilidade, pois uma vez apresentado a propostas, e fechada, terá que ser executada conforme o que que foi apresentado na proposta. Um fator relevante na hora da escolha dos equipamentos é verificar se possuem selo do IMETRO.

No estudo foi usado equipamentos que já vêm sendo utilizado pela empresa executante há quatro anos, tais equipamentos são de ótima procedência que contam com experiencia no ramo, com um valor adequado para tal eficiência.

#### 3.6.1 Módulo Fotovoltaicos

O módulo solar fotovoltaico de 330Wp da Canadian Solar, empresa de origem alemã, para energia solar residencial. Conta com um excelente desempenho, confiabilidade para o sistema. Passam por testes de qualidade rigorosos e possuem certificado IMETRO classe A.

O módulo solar Canadian de 72 células sua potência máxima ( $P_{max}$ ) 330W, possui ótima resistência a névoa, sal, areia e entre outras periferias climáticas. O módulo conta com uma

garantia de 10 anos contra defeito de fabricação e 25 anos para perda de eficiência maior que 20% conforme anexo A (CANADIANSOLAR, 2018) como podemos ver o módulo na figura 24, e suas especificações na tabela 8 e no anexo A.



Fonte: Datasheet Canadian Solar

Tabela 8 – Operacional do Módulo Canadian Solar 330P

<i>Módulo CS6U</i>	330 P
<i>Nominal Max. Power (Pmax)</i>	330 W
<i>Opt. Operation Voltage (Vmp)</i>	37,2 V
<i>Opt. Operation Current (Imp)</i>	8,88 A
<i>Open Circuit Voltage (Vco)</i>	45,6 V
<i>Short circuit (Isc)</i>	9,45 A
<i>Modulo Efficiency</i>	16,97%
<i>Operating Temperature</i>	-40 a 85 °C
<i>Max. Series Fuse Rating</i>	15 A
<i>Application Classification</i>	Classe A
<i>Power Tolerance</i>	0 ~ +5 W

Fonte: Datasheet Canadian Solar

### 3.6.2 Dimensionamento para Geração

Conforme acima citado foram escolhidos a potência dos módulos a serem utilizados para dimensionar o sistema fotovoltaico, será determinado através de equações a potência necessária de geração e a potência mínima em inversores a serem conectados à rede elétrica. Para isso será levado em consideração alguns fatores relevantes a seguir:

## a) Perda Considerável

Conforme visto acima na tabela 6 de Perdas Típicas para Sistemas Solar, ficou adotado o valor de 5% de perda para esse sistema.

## b) Valor Taxa Mínima Faturável

Valor Taxa Mínima Faturável Deve ser considerado para o dimensionamento a taxa mínima cobrada pela concessionária, que é o custo de disponibilidade de energia elétrica. Conforme o art. 98 da Resolução 414/2011 da ANEEL, é o valor mínimo faturável, aplicável ao faturamento de unidades consumidoras do Grupo “B”, de acordo com os limites fixados por tipo de ligação (CELESC, 2018).

- monofásica: valor em moeda corrente equivalente a 30kW/h;
- bifásica: valor em moeda corrente equivalente a 50kW/h;
- trifásica: valor em moeda corrente equivalente a 100kWh.

Os valores mínimos serão aplicados sempre que o consumo medido médio for inferior aos citados acima.

Tabela 9 - Valor Taxa Mínima Faturável

Taxa Mínima Faturável			
Grupo B	Monofásico 30 kW/h	Bifásico 50 kW/h	Trifásico 100 kW/h
Residência 1			X
Residência 2			X
Residência 3			X
Residência 4			X
Residência 5			X
Padrão do Condomínio			X
<b>Total</b>			<b>600 kWh/mês</b>

Fonte – Autoria Própria

## c) Necessidade de geração

Conforme a tabela 7 Média Consumo de Energia, será necessário para supri a necessidade do condômino o valor total da média mensal que será abatido a taxa mínima conforme a tabela 9, Taxa Mínima Faturável, que será mostrada na equação [4] a seguir:

$$N_{Geração} = C_{Energia} - t_{minima} \quad [4]$$

$$\text{Necessidade de Geração} = 1490,2 \text{ kWh/mês}$$

d) Média de Dias por Mês

A média mensal é realizada com base nos meses corrido do ano, estes meses variam entre dias, porém a equação [5] a seguir mostra a média de dias por mês:

$$\bar{X}_{Dias\ por\ mês} = \frac{365}{12} \quad [5]$$

$$\text{Média de dias por mês} = 30,4 \text{ dias/mês}$$

e) Necessidade de Geração por Dia

A de geração diária para supri a necessidade das residências se dá pela equação [6] a seguir:

$$G_{Diária} = \frac{N_{geração}}{\bar{X}_{Dias\ por\ mês}} \quad [6]$$

$$\text{Geração diária} = 49,0 \text{ kWh/dia}$$

f) Eficiência Global

A eficiência dos diversos componentes e perdas para o sistema, painéis, inversores, cabos, sombreamentos. Neste estudo, será estipulada uma eficiência global de 85%.

g) Horas de Sol Pleno por Dia (HSP)

Conforme foi definido na equação [3]. O HSP para o local de instalação do sistema ficou determinado em 4,47kWh/dia.

h) Potência Necessária

A potência necessária de geração para o sistema fica determinado conforme a equação [7], os dados para dimensionamento da potência necessária, foram retirada do (CRESESB, 2006).

$$P_{necessária} = N_{geração} / n. \text{ global} / HSP \quad [7]$$

$$\text{Potência necessária} = 12,90 \text{ kWp}$$

i) Potência Escolhida

A partir da equação [7] obtivemos a potência necessária, porém em muitos dos casos não a desejável, por inúmeros fatores entre eles a otimização do inversor e a otimização da estrutura metálica. Por esses fatores ficou determinado a potência escolhida levando em consideração a implantação de 42 módulos fotovoltaicos, retirados da equação a seguir:

$$P_{escolhida} = (P_{módulo} * N.módulos)/100 \quad [8]$$

Potência Escolhida = 13,20 kWp

j) Média de Geração por Dia

A média que o sistema irá gerar por dia ficara determinado a partir da equação [9].

$$\bar{X}_{ger/dia} = P_{escolhida} * HSP * n.global \quad [9]$$

Média de Geração por Dia = 50,10 kWh/dia

k) Média de Geração Mensal

A média de geração por dia fica determinada através da equação a seguir:

$$\bar{X}_{ger/mês} = \bar{X}_{ger/dia} * \bar{X}_{Dias\ por\ mês} \quad [10]$$

Média de Geração Mensal = 1523 kWh/mês

Com os resultados encontrados, obtivemos valores a serem adotados para geração fotovoltaica, para serem implantados no condomínio, como podemos ver na tabela 10 a seguir:

Tabela 10 - Análise de Geração

Análise de Geração		
Perda considerada	5%	
Taxa mínima	600	kWh/mês
Necessidade de geração Mês	1490,2	kWh/mês
Média de dias por mês	30,4	
Necessidade de geração Dia	49,0	kWh/dia
Eficiência global	85,0%	
Horas de sol por dia	4,47	Horas
Potência necessária	12,90	kWp
<b>Potência escolhida</b>	<b>13,20</b>	<b>kWp</b>
Média de geração dia	50,10	kWh/dia
Média de geração mensal	1523	kWh/mês

Fonte: Autoria Própria

### 3.7 Escolha do Inversor GRID-TIE

Como visto anteriormente, o inversor é responsável pela conversão de energia elétrica CC em CA.



Para o dimensionamento do sistema foi escolhido o inversor da marca Fronius, o qual já vem sendo utilizado a quatro anos pela executante do projeto, que credita total confiabilidade no equipamento. Precisamos de um inversor que atenda a necessidade da potência escolhida dos módulos que é de 13,20 kWp.

- A tensão nominal de entrada do inversor não deve ser maior que a tensão de circuito aberto:  $V_{oc} 20 * 45,6V = 912 V$
- A corrente nominal de entrada do inversor deve ser maior do que a soma da corrente de curto circuito de cada *string*:  $2 * 9,45 = 18.9$
- Deve ter no mínimo duas entradas MPPT, sendo duas *strings* de 20 módulos cada
- Deve ter potência para supri a necessidade de 13,20 kWp

A partir das informações anteriores, foi determinado o inversor da marca Fronius, modelo SYMO 12,5-3M, suas principais características na tabela 25 a seguir e no Anexo B:

Figura 25 – Inversor Fronius



Fonte: *Datasheet* Inversor Fronius

Tabela 11 – Operacional Inversor Fronius

Fronius Symo 12.5-3 M	
<b>Dados de entrada</b>	
Max. Corrente de entrada	27,0A/16,5A
Max. Corrente de entrada total	43,5A
Max corrente de conjunto curto circuito MPP1 MPP2	40,5A/24,8A
Min. Tensão de entrada	200V
tensão de alimentação	200V
Max. Tensão de entrada	1000V
faixa de tensão MPP	320-800
Número de rastreadores MPP	2
Número de entradas DC	3+3
Potência Max. Dos módulos	18,8 W pico
<b>Dados de Saída</b>	
Saída nominal AC	12,500W
Max. Potência de saída	12,500VA
Max. Corrente de saída	20A
Conexão de rede	380V
Faixa de frequência (Min/Max)	45-60Hz
Min. Tensão de saída	150V
Max. Tensão de saída	275V
Frequência	60Hz
Distorção harmônica total	<2%
fator de potência	0-1 ind /cap

Fonte: Datasheet Inversor Fronius

O inversor escolhido com potência de saída nominal AC 12,500 W suporta sobre carga de até 50% para sua eficiência como mostra o datasheet  $P_{cc\ max}$ , ficando assim determinado no sistema uma sobre carga de 10%. Sua tensão de saída padrão trifásica, não sendo necessário o diodo de bloqueio, pois o inversor é capaz de identificar corrente reversa. Obtida em especificações técnicas de boas práticas de engenharia e no anexo B.

### 3.8 Caixa de Conexão

A caixa de conexão, conhecida por *string box*, ilustrada na figura 26, é a responsável no sistema pelas conexões entre os arranjos dos módulos com o inversor. A caixa de conexão apresentada, foi escolhida para compor os equipamentos do projeto, suprimindo a necessidade de entrada dos MPPT'S, e das proteções para manter a integridade dos equipamentos. A *string box* da Ecosolys já vem sendo utilizada pela executante do projeto.

- Quadro elétrico dentro das normas IEC 61439 e/ou ABNT NBR IEC 60439;
- Índice de Proteção: IP66;
- Suporta até 02 entradas e 01 saídas.
- 02 Fusíveis de 25 A
- Disjuntor em Corrente continua
- Corrente nominal mínima: 32 A
- Tensão nominal mínima: 1000VDC
- DPS
- Capacidade: 1000V / 40kA

Figura 26 – Caixa de Conexão



Fonte: (SOLAR, 2018)

### 3.9 Instalação Sistema FV

A instalação levará em consideração as seguintes informações para ser executada, as informações auxiliarão ao técnico responsável e aos eletricitistas e demais pessoas que participarão da execução.

Em conversa com os residentes do condomínio ficou acordado a instalação dos painéis em área livre, no solo e o inversor ficará protegido por uma cobertura somente o mesmo. E todo o crédito gerado será injetado no padrão do condomínio, sem compensação imediata.

- Principais características:

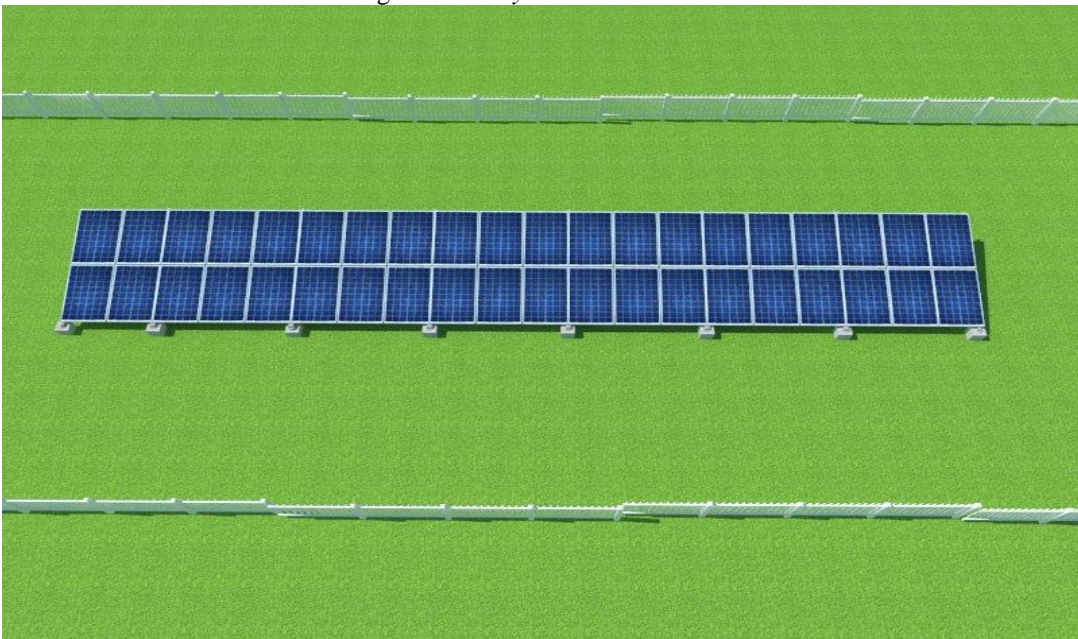
Tabela 12 – Características do Sistema FV

Principais Características	
Potência do Sistema	13,20 kW <sub>p</sub>
Quantidade de Módulos	40
Potência do Inversor	12,5 KW
Número de Arranjos	2 x 20
Estrutura	Solo
Sombreamento	Não possui
Coordenadas	28.289006°, 49.932148°
Inclinação dos painéis	28°
Radiação (HSP)	4,47
Tensão	220/380 V

Fonte: Autorial Própria

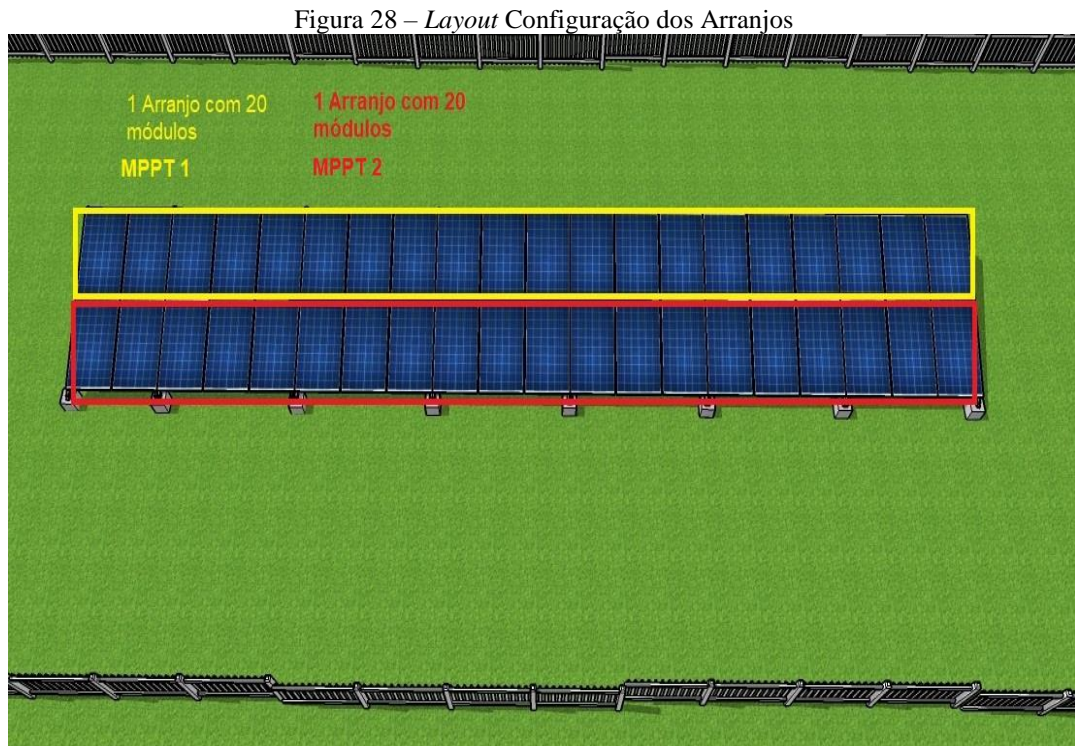
- Layout dos painéis:

Figura 27 – Layout do Painel Solar



Fonte: Autorial Própria

- *Layout* com a configuração dos arranjos para a *String Box*:



Fonte: Autoria Própria

- Diagrama Unifilar

O diagrama unifilar, deverá ser seguido para instalação elétrica dos módulos fotovoltaicos, junto aos arranjos da *String Box* com o inversor, o apêndice A deixa claro o proceder em relação aos dimensionamentos dos cabos e as proteções para manter a integridade dos equipamentos, conforme boas práticas de engenharia, para que os instaladores executem conforme o projeto.

### 3.10 Investimento Financeiro

O valor determinado para o investimento do sistema fotovoltaico, fica incluso todos os custos referentes aos equipamentos utilizados, assim como também a estrutura que será posta em solo, todos os gastos com a parte de projeto e burocráticos, fica incluso no valor final todos os custos com a implantação. Assim o cliente condomínio Brighenti fica livre de quaisquer custos eventuais fora do valor da proposta.

Na tabela 13 fica estipulado o valor a ser pago pelos moradores que acordaram com o estudo para viabilidade econômica.

Tabela 13 – Orçamentaria

Tabela de Preços Finais		
Preço Painei	42,00%	R\$29.676,36
Preço Inversor	25,00%	R\$17.664,50
Preço Suporte	10,00%	R\$7.065,80
Preço Mat. Elétrico	7,00%	R\$4.946,06
Preço Projeto Instalação	16,00%	R\$11.305,28
<b>Preço Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>R\$70.658,00</b>

Fonte: Autoria Própria

Formas de pagamentos, que a empresa oferece ao cliente podemos ver na tabela 4 a seguir:

Tabela 14 – Formas de Pagamento

Formas de Pagamentos		
Sinal no ato de 10% + 30% em 30 dias + 30% em 60 dias + 30% em 90 dias	50 % de entrada + 6 parcelas sem juros de R\$ 5.888,17	Financiado 100%  Finame BNDS/ Acréscimos

Fonte: Autoria Própria

O rateio do custo de investimento entre os integrantes beneficiados pelo sistema fotovoltaico, que fica determinado através da tabela 15 a seguir:

Tabela 15 – Percentual Orçamentário por Residência

UC's	Percentual Predefinido	Valor por Residência
Residência 1	20%	R\$ 14.131,60
Residência 2	19%	R\$ 13.425,02
Residência 3	16%	R\$ 11.305,28
Residência 4	23%	R\$ 16.251,34
Residência 5	22%	R\$ 15.544,76
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>R\$ 70.658,00</b>

Fonte: Autoria Própria

### 3.11 Viabilidade Econômica

Para determinar a viabilidade econômica do projeto foi calculado a necessidade de geração para o condomínio, feito assim um valor predefinido de geração e custo do investimento para cada uma das residências.

O estudo apresenta o tempo de *PayBack* no fluxo financeiro acumulado para cada uma das residências.

Ficou estabelecido entre os condôminos, o rateio entre o valor da taxa mínima do padrão do condomínio, o qual não tem valor excedente da taxa, o padrão fica em função da iluminação noturna do condomínio. Iluminação que se refere ao embelezamento das áreas em comum.

Fica assim definido o percentual de cada residência como mostra a tabela 16 a seguir:

Tabela 16 - Percentual de Geração por Residência

Percentual de Geração por Residência				
	UC	Taxa Mín.	Média de Consumo kWh/mês	Percentual Predefinido
Residência 1	Trifásico	100	309	20%
Residência 2	Trifásico	100	301	19%
Residência 3	Trifásico	100	252	16%
Residência 4	Trifásico	100	373	23%
Residência 5	Trifásico	100	356	22%
Padão do Cond.	Trifásico	100	100	0%
Valor Total		600	1691	100%

Fonte: Autoria Própria

Para determinar a viabilidade econômica da implantação do sistema foi calculado o tempo de retorno do investimento, onde foi comparado o valor de investimento de cada residência, e a economia gerada ao longo de 25 anos, o período o qual estimasse a vida útil do sistema.

Foi considerado nos cálculos algumas variáveis que influenciam diretamente, por exemplo, a variação da tarifa de energia, a variação da taxa SELIC, e eventuais que atualmente equivale a 10 %.

- *PayBack*: é um tipo de indicador usado para determinar o tempo de retorno do projeto, neste projeto referente a residência 5, temos o tempo de amortização do investimento calculado em 5,6 (cinco anos e seis meses).
- VLP (valor presente líquido) é também um indicador para análise de investimentos em projetos, é usado para calcular o valor presente do fluxo de caixa durante a vida útil do

sistema fotovoltaico que é de 25 anos. Quanto maior é o VLP, mais favorável para o investimento.

- TIR: é a taxa de desconto que irá igualar o VLZ a zero. É um indicador também muito usado para análise de investimentos sendo assim normalmente analisado no sentido de qual maior for a diferença entre a TIR e a taxa de desconto, melhor será o investimento.

### 3.12 Viabilidade Econômica por Residência

Ainda para um melhor entendimento de cada proprietário do condomínio, foi realizado cálculos de viabilidade independente para cada residência, como podemos ver a seguir:

#### a) Residência 1

Tabela 17 – Dados de Energia e Economia do Sistema Residência 1

<b>Dados de Energia e Economia gerada pelo Sistema Solar Fotovoltaico</b>	
Energia Gerada	209 kWh/mês
Consumo de energia	309 kWh/mês
Aumento do Valor da Energia	10% a.a
Economia Mensal em R\$	R\$ 153,62
Economia Anual em R\$	R\$ 1.843,38
Valor da Tarifa kWh	R\$ 7,15
Valor da Taxa Mínima	R\$ 71,50
Valor da Conta de Energia	R\$ 220,94
Valor da Economia mensal de energia	R\$ 149,43
VLP (Valor Presente Líquido)	R\$ 7.717,23
TIR (Taxa Interna de Retorno)	26,2% a.a.

Fonte: Autoria Própria



Tabela 18 – Resumo do Retorno do Investimento Residência 1

Resumo do Retorno sobre Investimento		
Investimento	-R\$ 14.131,60	
	Economia mês	Economia acumulada
Economia c/ energia no 1º ano	R\$ 1.793,22	R\$ 1.793,22
Economia c/ energia no 2º ano	R\$ 1.956,76	R\$ 3.749,98
Economia c/ energia no 3º ano	R\$ 2.135,22	R\$ 5.885,20
Economia c/ energia no 4º ano	R\$ 2.329,95	R\$ 8.215,15
Economia c/ energia no 5º ano	R\$ 2.542,44	R\$ 10.757,59
Economia c/ energia no 6º ano	R\$ 2.774,31	R\$ 13.531,90
Economia c/ energia no 7º ano	R\$ 3.027,33	R\$ 16.559,23
Economia c/ energia no 8º ano	R\$ 3.303,42	R\$ 19.862,66
Economia c/ energia no 9º ano	R\$ 3.604,69	R\$ 23.467,35
Economia c/ energia no 10º ano	R\$ 3.933,44	R\$ 27.400,79
Economia c/ energia no 11º ano	R\$ 4.292,17	R\$ 31.692,97
Economia c/ energia no 12º ano	R\$ 4.683,62	R\$ 36.376,58
Economia c/ energia no 13º ano	R\$ 5.110,76	R\$ 41.487,35
Economia c/ energia no 14º ano	R\$ 5.576,87	R\$ 47.064,21
Economia c/ energia no 15º ano	R\$ 6.085,48	R\$ 53.149,69
Economia c/ energia no 16º ano	R\$ 6.640,47	R\$ 59.790,16
Economia c/ energia no 17º ano	R\$ 7.246,08	R\$ 67.036,24
Economia c/ energia no 18º ano	R\$ 7.906,93	R\$ 74.943,17
Economia c/ energia no 19º ano	R\$ 8.628,04	R\$ 83.571,21
Economia c/ energia no 20º ano	R\$ 9.414,91	R\$ 92.986,12
Economia c/ energia no 21º ano	R\$ 10.273,55	R\$ 103.259,68
Economia c/ energia no 22º ano	R\$ 11.210,50	R\$ 114.470,18
Economia c/ energia no 23º ano	R\$ 12.232,90	R\$ 126.703,08
Economia c/ energia no 24º ano	R\$ 13.348,54	R\$ 140.051,62
Economia c/ energia no 25º ano	R\$ 14.565,93	R\$ 154.617,55

Fonte: Autoria Própria

Gráfico 1 - Fluxo Financeiro Acumulado Residência 1



Fonte: Autoria Própria

## b) Residência 2

Tabela 19 – Dados de Energia e Economia do Sistema Residência 2

<b>Dados de Energia e Economia gerada pelo Sistema Solar Fotovoltaico</b>		
Energia Gerada		201 kWh/mês
Consumo de energia		301 kWh/mês
Aumento do Valor da Energia		10% a.a
Economia Mensal em R\$	R\$	143,72
Economia Anual em R\$	R\$	1.724,58
Valor da Tarifa kWh	R\$	7,15
Valor da Taxa Mínima	R\$	71,50
Valor da Conta de Energia	R\$	215,21
VLP (Valor Presente Líquido)	R\$	7.352,23
TIR (Taxa Interna de Retorno)		26,4% a.a.

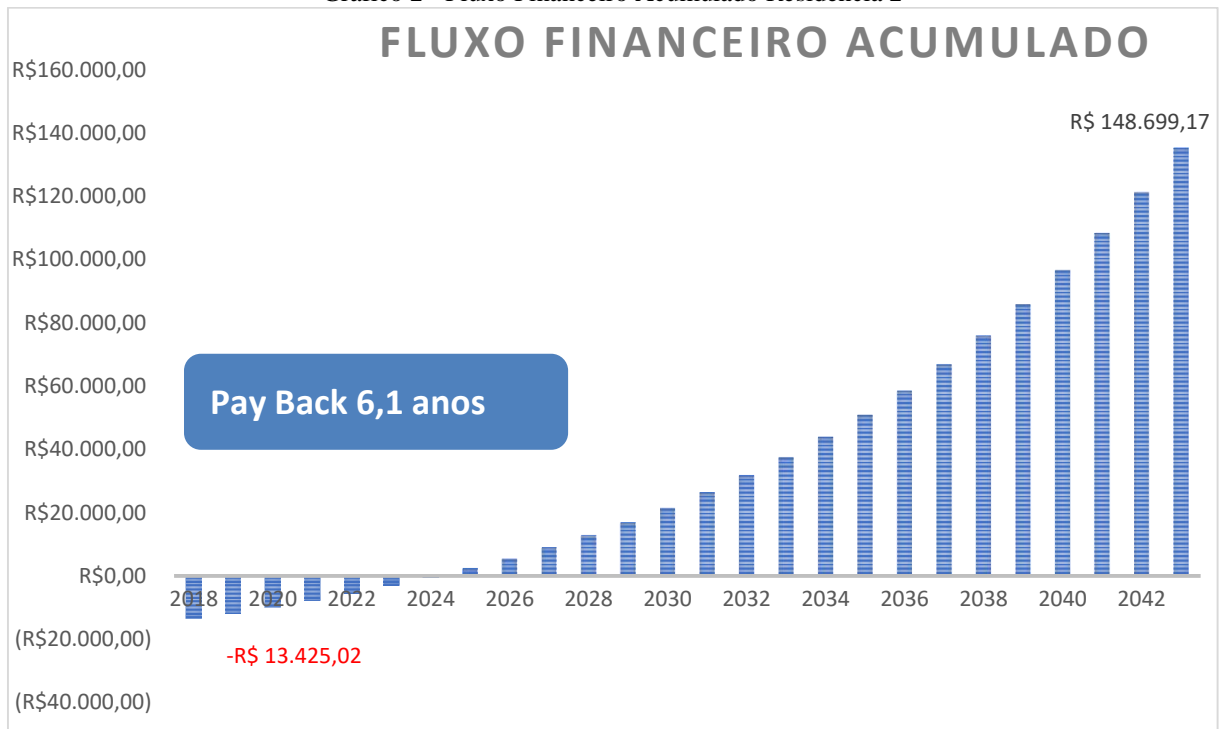
Fonte: Autoria Própria

Tabela 20 – Resumo do Retorno do Investimento Residência 2

<b>Resumo e Retorno sobre Investimento</b>		
Investimento	<b>-R\$ 13.425,02</b>	
	Economia mês	Economia acumulada
Economia c/ energia no 1º ano	R\$ 1.724,58	R\$ 1.724,58
Economia c/ energia no 2º ano	R\$ 1.881,86	R\$ 3.606,44
Economia c/ energia no 3º ano	R\$ 2.053,49	R\$ 5.659,93
Economia c/ energia no 4º ano	R\$ 2.240,77	R\$ 7.900,69
Economia c/ energia no 5º ano	R\$ 2.445,12	R\$ 10.345,82
Economia c/ energia no 6º ano	R\$ 2.668,12	R\$ 13.013,94
Economia c/ energia no 7º ano	R\$ 2.911,45	R\$ 15.925,39
Economia c/ energia no 8º ano	R\$ 3.176,98	R\$ 19.102,36
Economia c/ energia no 9º ano	R\$ 3.466,72	R\$ 22.569,08
Economia c/ energia no 10º ano	R\$ 3.782,88	R\$ 26.351,96
Economia c/ energia no 11º ano	R\$ 4.127,88	R\$ 30.479,84
Economia c/ energia no 12º ano	R\$ 4.504,34	R\$ 34.984,18
Economia c/ energia no 13º ano	R\$ 4.915,14	R\$ 39.899,32
Economia c/ energia no 14º ano	R\$ 5.363,40	R\$ 45.262,71
Economia c/ energia no 15º ano	R\$ 5.852,54	R\$ 51.115,25
Economia c/ energia no 16º ano	R\$ 6.386,29	R\$ 57.501,54
Economia c/ energia no 17º ano	R\$ 6.968,72	R\$ 64.470,26
Economia c/ energia no 18º ano	R\$ 7.604,27	R\$ 72.074,53
Economia c/ energia no 19º ano	R\$ 8.297,78	R\$ 80.372,31
Economia c/ energia no 20º ano	R\$ 9.054,53	R\$ 89.426,84
Economia c/ energia no 21º ano	R\$ 9.880,31	R\$ 99.307,15
Economia c/ energia no 22º ano	R\$ 10.781,39	R\$ 110.088,54
Economia c/ energia no 23º ano	R\$ 11.764,66	R\$ 121.853,20
Economia c/ energia no 24º ano	R\$ 12.837,59	R\$ 134.690,79
Economia c/ energia no 25º ano	R\$ 14.008,38	R\$ 148.699,17

Fonte: Autoria Própria

Gráfico 2 - Fluxo Financeiro Acumulado Residência 2



Fonte: Autoria Própria

## c) Residência 3

Tabela 21 – Dados de Energia e Economia do Sistema Residência 3

<b>Dados de Energia e Economia gerada pelo Sistema Solar Fotovoltaico</b>	
Energia Gerada	152 kWh/mês
Consumo de energia	252 kWh/mês
Aumento do Valor da Energia	10% a.a
Economia Mensal em R\$	R\$ 108,68
Economia Anual em R\$	R\$ 1.304,16
Valor da Tarifa kWh	R\$ 7,15
Valor da Taxa Mínima	R\$ 71,50
Valor da Conta de Energia	R\$ 180,18
VLP (Valor Presente Líquido)	R\$ 6.041,01
TIR (Taxa Interna de Retorno)	24,8% a.a.

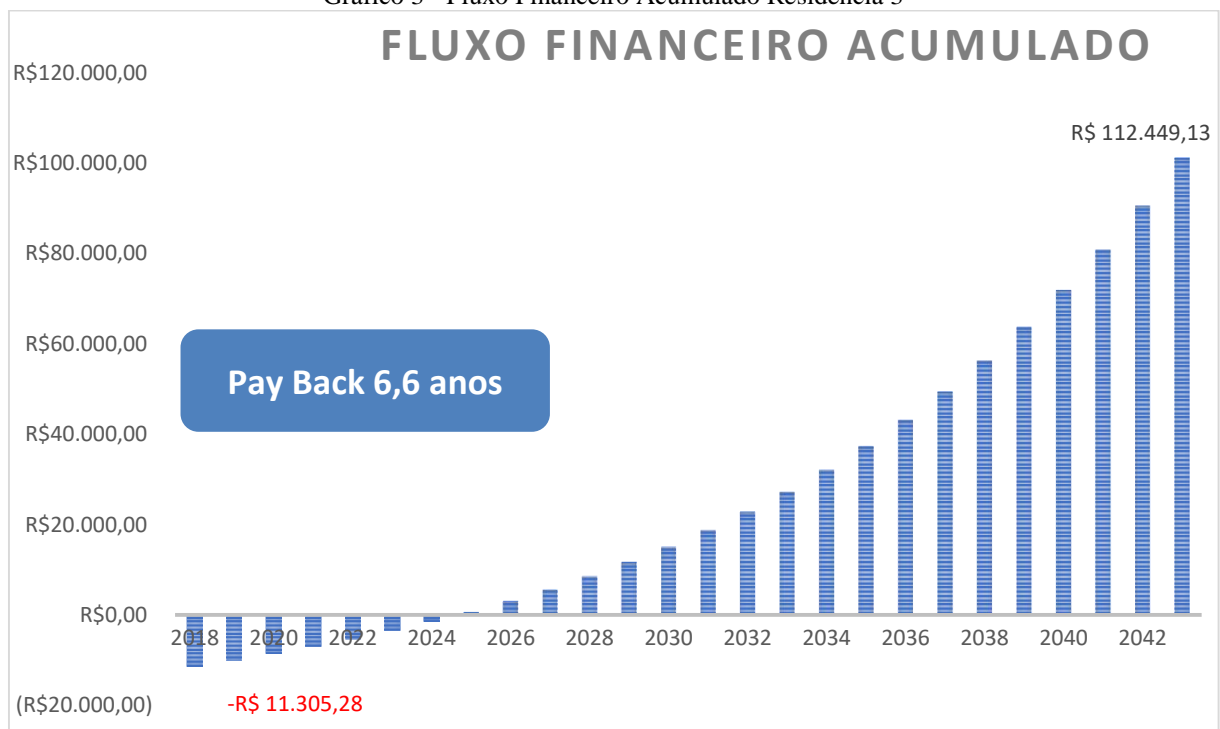
Fonte: Autoria Própria

Tabela 22 – Resumo do Retorno do Investimento Residência 3

Resumo e Retorno sobre Investimento		
Investimento	-R\$ 11.305,28	
	Economia mês	Economia acumulada
Economia c/ energia no 1º ano	R\$ 1.304,16	R\$ 1.304,16
Economia c/ energia no 2º ano	R\$ 1.423,10	R\$ 2.727,26
Economia c/ energia no 3º ano	R\$ 1.552,89	R\$ 4.280,15
Economia c/ energia no 4º ano	R\$ 1.694,51	R\$ 5.974,65
Economia c/ energia no 5º ano	R\$ 1.849,05	R\$ 7.823,70
Economia c/ energia no 6º ano	R\$ 2.017,68	R\$ 9.841,38
Economia c/ energia no 7º ano	R\$ 2.201,69	R\$ 12.043,08
Economia c/ energia no 8º ano	R\$ 2.402,49	R\$ 14.445,57
Economia c/ energia no 9º ano	R\$ 2.621,60	R\$ 17.067,16
Economia c/ energia no 10º ano	R\$ 2.860,69	R\$ 19.927,85
Economia c/ energia no 11º ano	R\$ 3.121,58	R\$ 23.049,43
Economia c/ energia no 12º ano	R\$ 3.406,27	R\$ 26.455,70
Economia c/ energia no 13º ano	R\$ 3.716,92	R\$ 30.172,62
Economia c/ energia no 14º ano	R\$ 4.055,90	R\$ 34.228,52
Economia c/ energia no 15º ano	R\$ 4.425,80	R\$ 38.654,32
Economia c/ energia no 16º ano	R\$ 4.829,43	R\$ 43.483,75
Economia c/ energia no 17º ano	R\$ 5.269,88	R\$ 48.753,63
Economia c/ energia no 18º ano	R\$ 5.750,49	R\$ 54.504,12
Economia c/ energia no 19º ano	R\$ 6.274,94	R\$ 60.779,06
Economia c/ energia no 20º ano	R\$ 6.847,21	R\$ 67.626,27
Economia c/ energia no 21º ano	R\$ 7.471,68	R\$ 75.097,95
Economia c/ energia no 22º ano	R\$ 8.153,09	R\$ 83.251,04
Economia c/ energia no 23º ano	R\$ 8.896,65	R\$ 92.147,69
Economia c/ energia no 24º ano	R\$ 9.708,03	R\$ 101.855,72
Economia c/ energia no 25º ano	R\$ 10.593,40	R\$ 112.449,13

Fonte: Autoria Própria

Gráfico 3 - Fluxo Financeiro Acumulado Residência 3



Fonte: Autoria Própria

## d) Residência 4

Tabela 23 – Dados de Energia e Economia do Sistema Residência 4

<b>Dados de Energia e Economia gerada pelo Sistema Solar Fotovoltaico</b>		
Energia Gerada		273 kWh/mês
Consumo de energia		373 kWh/mês
Aumento do Valor da Energia		10% a.a
Economia Mensal em R\$	R\$	195,20
Economia Anual em R\$	R\$	2.342,34
Valor da Tarifa kWh	R\$	7,15
Valor da Taxa Mínima	R\$	71,50
Valor da Conta de Energia	R\$	266,66
VLP (Valor Presente Líquido)	R\$	9.160,02
TIR (Taxa Interna de Retorno)		28,2% a.a.

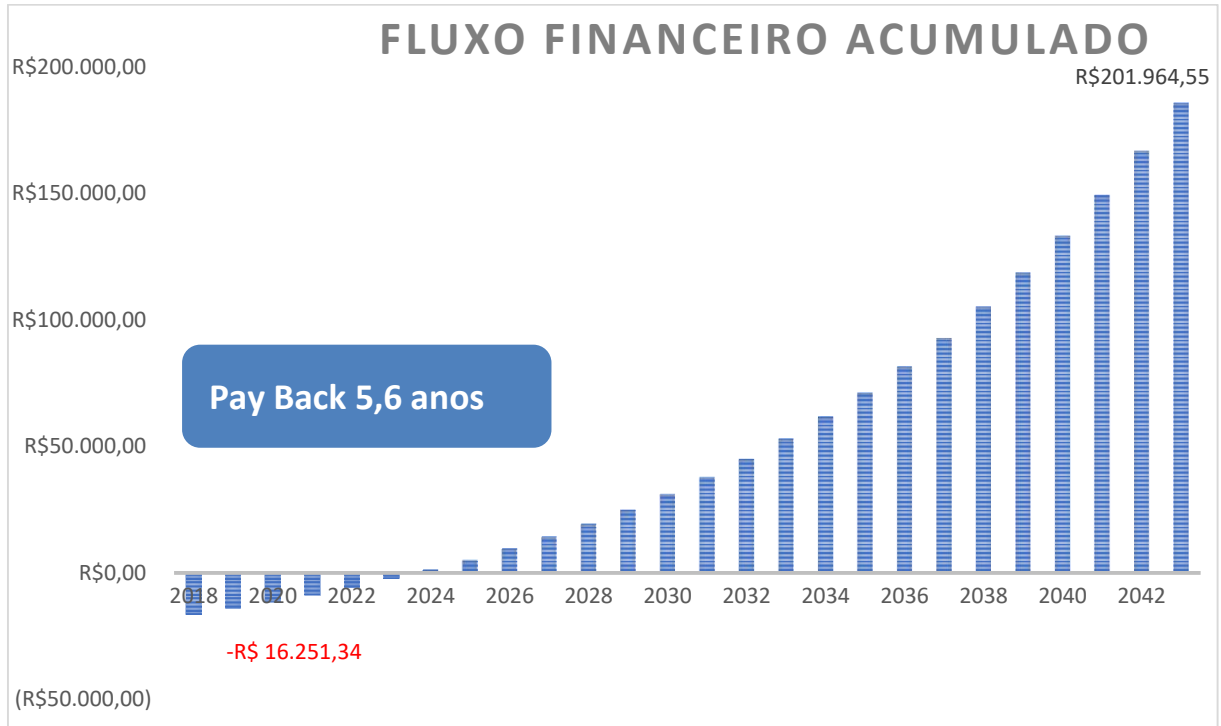
Fonte: Autoria Própria

Tabela 24 – Resumo do Retorno do Investimento Residência 4

<b>Resumo e Retorno sobre Investimento</b>		
Investimento	<b>-R\$16.251,34</b>	
	<b>Economia mês</b>	<b>Economia acumulada</b>
Economia c/ energia no 1º ano	R\$ 2.342,34	R\$ 2.342,34
Economia c/ energia no 2º ano	R\$ 2.555,96	R\$ 4.898,30
Economia c/ energia no 3º ano	R\$ 2.789,07	R\$ 7.687,37
Economia c/ energia no 4º ano	R\$ 3.043,43	R\$ 10.730,79
Economia c/ energia no 5º ano	R\$ 3.320,99	R\$ 14.051,78
Economia c/ energia no 6º ano	R\$ 3.623,86	R\$ 17.675,65
Economia c/ energia no 7º ano	R\$ 3.954,36	R\$ 21.630,00
Economia c/ energia no 8º ano	R\$ 4.315,00	R\$ 25.945,00
Economia c/ energia no 9º ano	R\$ 4.708,52	R\$ 30.653,52
Economia c/ energia no 10º ano	R\$ 5.137,94	R\$ 35.791,47
Economia c/ energia no 11º ano	R\$ 5.606,52	R\$ 41.397,99
Economia c/ energia no 12º ano	R\$ 6.117,84	R\$ 47.515,82
Economia c/ energia no 13º ano	R\$ 6.675,78	R\$ 54.191,61
Economia c/ energia no 14º ano	R\$ 7.284,61	R\$ 61.476,22
Economia c/ energia no 15º ano	R\$ 7.948,97	R\$ 69.425,19
Economia c/ energia no 16º ano	R\$ 8.673,92	R\$ 78.099,11
Economia c/ energia no 17º ano	R\$ 9.464,98	R\$ 87.564,09
Economia c/ energia no 18º ano	R\$ 10.328,19	R\$ 97.892,28
Economia c/ energia no 19º ano	R\$ 11.270,12	R\$ 109.162,39
Economia c/ energia no 20º ano	R\$ 12.297,95	R\$ 121.460,34
Economia c/ energia no 21º ano	R\$ 13.419,52	R\$ 134.879,86
Economia c/ energia no 22º ano	R\$ 14.643,38	R\$ 149.523,25
Economia c/ energia no 23º ano	R\$ 15.978,86	R\$ 165.502,11
Economia c/ energia no 24º ano	R\$ 17.436,13	R\$ 182.938,24
Economia c/ energia no 25º ano	R\$ 19.026,31	R\$ 201.964,55

Fonte: Autoria Própria

Gráfico 4 - Fluxo Financeiro Acumulado Residência 4



Fonte: Autoria Própria

## e) Residência 5

Tabela 25 – Dados de Energia e Economia do Sistema Residência 5

<b>Dados de Energia e Economia gerada pelo Sistema Solar Fotovoltaico</b>	
Energia Gerada	256
Consumo de energia	356
Aumento do Valor da Energia	10% a.a
Economia Mensal em R\$	R\$ 183,04
Economia Anual em R\$	R\$ 2.196,48
Valor da Tarifa kWh	R\$ 7,15
Valor da Taxa Mínima	R\$ 71,50
Valor da Conta de Energia	R\$ 254,54
VLP (Valor Presente Líquido)	R\$ 8.716,94
TIR (Taxa Interna de Retorno)	27,9% a.a.

Fonte: Autoria Própria

Tabela 26 – Resumo do Retorno do Investimento Residência 5

Resumo e Retorno sobre Investimento		
Investimento	<b>-R\$15.544,76</b>	
	Economia mês	Economia acumulada
Economia c/ energia no 1º ano	R\$ 2.196,48	R\$ 2.196,48
Economia c/ energia no 2º ano	R\$ 2.396,80	R\$ 4.593,28
Economia c/ energia no 3º ano	R\$ 2.615,39	R\$ 7.208,67
Economia c/ energia no 4º ano	R\$ 2.853,91	R\$ 10.062,58
Economia c/ energia no 5º ano	R\$ 3.114,19	R\$ 13.176,76
Economia c/ energia no 6º ano	R\$ 3.398,20	R\$ 16.574,96
Economia c/ energia no 7º ano	R\$ 3.708,12	R\$ 20.283,08
Economia c/ energia no 8º ano	R\$ 4.046,30	R\$ 24.329,38
Economia c/ energia no 9º ano	R\$ 4.415,32	R\$ 28.744,70
Economia c/ energia no 10º ano	R\$ 4.818,00	R\$ 33.562,69
Economia c/ energia no 11º ano	R\$ 5.257,40	R\$ 38.820,09
Economia c/ energia no 12º ano	R\$ 5.736,87	R\$ 44.556,96
Economia c/ energia no 13º ano	R\$ 6.260,08	R\$ 50.817,04
Economia c/ energia no 14º ano	R\$ 6.830,99	R\$ 57.648,03
Economia c/ energia no 15º ano	R\$ 7.453,98	R\$ 65.102,01
Economia c/ energia no 16º ano	R\$ 8.133,78	R\$ 73.235,80
Economia c/ energia no 17º ano	R\$ 8.875,58	R\$ 82.111,38
Economia c/ energia no 18º ano	R\$ 9.685,04	R\$ 91.796,42
Economia c/ energia no 19º ano	R\$ 10.568,31	R\$ 102.364,73
Economia c/ energia no 20º ano	R\$ 11.532,14	R\$ 113.896,88
Economia c/ energia no 21º ano	R\$ 12.583,88	R\$ 126.480,75
Economia c/ energia no 22º ano	R\$ 13.731,52	R\$ 140.212,28
Economia c/ energia no 23º ano	R\$ 14.983,84	R\$ 155.196,12
Economia c/ energia no 24º ano	R\$ 16.350,37	R\$ 171.546,48
Economia c/ energia no 25º ano	R\$ 17.841,52	R\$ 189.388,00

Fonte: Autoria Própria

Gráfico 5 - Fluxo Financeiro Acumulado Residência 5



Fonte: Autoria Própria

## 4 CONCLUSÃO

A geração de energia elétrica FV integrada à rede elétrica é de suma importância para o desenvolvimento de Geração Distribuída limpa e sustentável, além de dar conforto em relação a crise hídrica no mundo.

Com o que foi apresentado, pode-se afirmar que sistemas solar fotovoltaicos estão atualmente em grande ascensão devido ao seu custo de implantação ter reduzido bastante na última década, incentivos governamentais vêm contribuindo para essa nova tendência, que é ter a possibilidade de gerar nossa própria energia limpa e sustentável, nos beneficiando financeiramente e contribuindo com o apelo ambiental, com a redução de poluentes que são gerados pelo consumo de energias não renováveis.

No trabalho foi abordado metodologias para o desenvolvimento do dimensionamento do sistema a ser implantado no condomínio, foi analisado através de imagens, tabelas e equações para melhor detalhamento do projeto, utilizando ainda boas práticas em engenharia elétrica na área de energia solar. Com o estudo de caso possibilitou a exemplificação da viabilidade do processo.

Verificou-se no estudo, a viabilidade da implantação do sistema FV, baseado na análise de custo benefício em longo prazo, e que a rentabilidade resultará numa vasta margem de benefícios financeiros futuro, tendo em vista a produtividade de energia solar, apesar da região estar geograficamente em uma localização não tão favorável quando comparada ao cenário nacional, mas em vista do cenário de irradiação solar mundial tendo sua irradiação de 4,47 kWh/m<sup>2</sup>, porém ainda assim ficando muito acima da média de irradiação solar da China onde hoje é a maior em geração de energia solar com 46% da geração de todo o mundo.

Em análise do capítulo 3, foi obtido conclusões que permitem abordar o assunto de viabilidade econômica com o cliente Condomínio Brighenti. O qual houve resultado positivo na rentabilidade de cada uma das cinco residências do condomínio, com o valor médio de *Payback* em 6 anos. Através do tempo de amortização do investimento, foi determinado o valor acumulado de economia ao longo de 25 anos, o qual ficou exemplificado na tabela de resumo do retorno do investimento para cada residência.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ALVARENGA, CARLSO ALBERTO.** O módulo Fotovoltaico Para Gerador Solar de Eletricidade. *Solenerg Engenharia*. 2014. Disponível em <<http://www.solenerg.com.br/files/Modulo-Fotovoltaico-Solenerg.pdf> > Acessado em: 05 outubro 2018.

**ANEEL.** Agencia Nacional de Energia Elétrica. *ANEEL*. 2018. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/a-aneel>> Acessado em: 05 de junho de 2018.

**BNDS.** Banco Nacional do Desenvolvimento . *BNDS*. 05 de 06 de 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-muda-regra-e-pessoas-fisicas-podem-investir-em-energia-solar>>. Acessado em: 15 de setembro de 2018.

**BNDS.** Banco Nacional do Desenvolvimento. *BNDS*. 5 de 06 de 2018. Disponível em<<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-muda-regra-e-pessoas-fisicas-podem-investir-em-energia-solar>> Acessado em 15 de setembro 2018.

**CALAFERRO, LUIS.** Energia Solar no Brasil . *BlueSol Energia Solar*. 2018. Disponível em<<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>>.Acessado em: 05 de Maio de 2018.

**CANADIANSOLAR.** Canadian Solar.2018. Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com/solar-panels/maxpower.html>. Acessado em: 05 de Novembro de 2018.

**CARNEIRO, JOAQUIM.** Eletromagnetismo B Módulos Fotovoltaicos. *Repositorium Uminho*.2010. Disponível em: <[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos\\_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf). Acessado em: 01 de Novembro de 2018.

**CELESC.** *Celesc Distribuidora S.A.*2018. Disponível em<<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/celesc-distribuicao>> Acessado em: 08 de Setembro de 2018.

**CELESC.** *Requisitos para a conexão de micro ou min I*. 2017. p. 4. Disponível em: <<http://novportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/normativa%20micro-mini%20gerao.pdf>> Acessado em 09 de Setembro de 2018

**COGEN.** *Inserção da Energia Solar no Brasil* .2012, p. 62.

**COOPESOLAR.** *Instalação e Diferença de Ambos Sistemas* 2018. Disponível em: < <https://coopesar.wordpress.com/on-grid/>.> Acessado em: 05 de Maio de 2018.

**CRESESB.** Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. *Energia Solar Principios e Aplicações*. Rio de Janeiro.2006. Disponível em: < [http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf) > Acessado em: 25 de agosto de 2018

**CRESESB.** Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito Radiação Solar. 2014. Disponível em: < [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=301](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301).> Acessado em: 20 de Agosto de 2018

**ECYCLE.** Tipos de sistemas fotovoltaicos: *on-grid e off-grid*.. 2013. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/3483-sistema-fotovoltaico-painel-solar-estrutura-suporte-inversor-controlador-carga-cabos-baterias-captacao-armazenamento-kit-geracao-energia-eletrica-eletricidade-vantagens-desvantagens-fonte>.> Acessado em 15 de Agosto de 2018.

**EPE.** Empresa de Pesquisa Energetica. Balanço Energetico Nacional, 2017. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/default.aspx?anoColeta=2017>.> Acessado em: 07 de Outubro de 2018.

**FRAUNHOFER.** INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS. 2013. Disponível em: < <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2013/world-record-solar-cellwith>> Acessado em: 12 de julho de 2018.

**GOETZBERGER, A. e HOFFMANN, V.U.** *Geração de Energia Fotovoltaica* . Berlin Heidelberg New York : Springer , 2005.

**GRADELA VILLALVA, MARCELO e GAZALI, JONAS RAFAEL.** *Energia Solar Fotovoltaico*. São Paulo - SP : Grupo Saraiva, 2014.

**GREENPRO.** *Energia Fotovoltaica*. Unial Europeia : ALTENER , 2004.

**HAMILTON.** O Sol. 1997. Disponível em: < <https://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/sun.htm>.> Acessado em: 10 de Agosto de 2018.

**HELIOTÉRMICA, ENERGIA.** Radiação Difusa . *Energia Heliotermica*, 2018. Disponível em< <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/glossario/radiacao-difusa>.> Acessado em 07 de Setembro de 2018.

**IBGE.** IBGE. *Cidades*. 2018. Disponível em; < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/saojoaquim>.> Acessado em; 29 de Julho de 2018.

**LINDER, LARISSA.** Energia Solar Avança em Santa Catarina. *dc.clicrbs*.2018. Disponível em: < <http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2018/03/energia-solar-avanca-em-santa-catarina-10198052.html>.> Acessado em: 21 de Julho de 2018.

**MACHADO GRAZIERA, MARIA LUIZA e REI, FERNANDO.** *Energia e Meio Ambiente* . Santos : Universitária Leopoldianum, 2015.

**MINAS E ENERGIA.** Governo prepara salto da energia solar em residências e empresas. *minas e Energia*. 2015. Disponível em: < [http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=%2F&\\_101\\_asSetEntryId=2304409&\\_101\\_type=content&\\_101\\_urlTitle=governo](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_asSetEntryId=2304409&_101_type=content&_101_urlTitle=governo).> Acessado em: 15 de julho de 2018.

**MINISTERIO DA FAZENDA, CONFAZ .** CONVÊNIO ICMS 101/97. *Concelho Nacional de Política Fazendaria* . Governo Federal, 2016. Disponível em: < [https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/1997/CV101\\_97](https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/1997/CV101_97).> Acessado em: 26 de Setembro de 2018.

**MMA.** MMA. *Ministério do Meio Ambiente*. 2017. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>.> Acessado em: 24 de Setembro de 2018.

**PERLIN.** John. *The Silicon Solar Cell Turns 50*. Califórnia, 2004.

**PORTALSOLAR.** Gerador Solar Fotovoltaico . *Portal Solar* 2018. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/>> Acessado em: 01 de Setembro de 2018.

**PRODIST.** Agência Nacional de Energia Elétrica. *ANEEL 2012*. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acessado em: 17 de Agosto de 2018

**PRODIST.** AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema elétrico Nacional*. 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-3>> Acessado em: 10 de Agosto de 2018.

**PRODIST.** RESOLUÇÃO NORMATIVA N 687, de 24 de Novembro de 2015. *AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL*. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acessado em: 3 de Agosto de 2018.

**PRODIST.** RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. *AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL*. 2012. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acessado em: 03 de Agosto de 2018.

**RESENDE, CARLOS.** Inversor e sua função para o sistema fotovoltaico . *shareenergy*. 2017. Disponível em: <<http://shareenergy.com.br/o-que-e-o-inversor-e-como-ele-funciona/>> Acessado em: 03 de outubro de 2018.

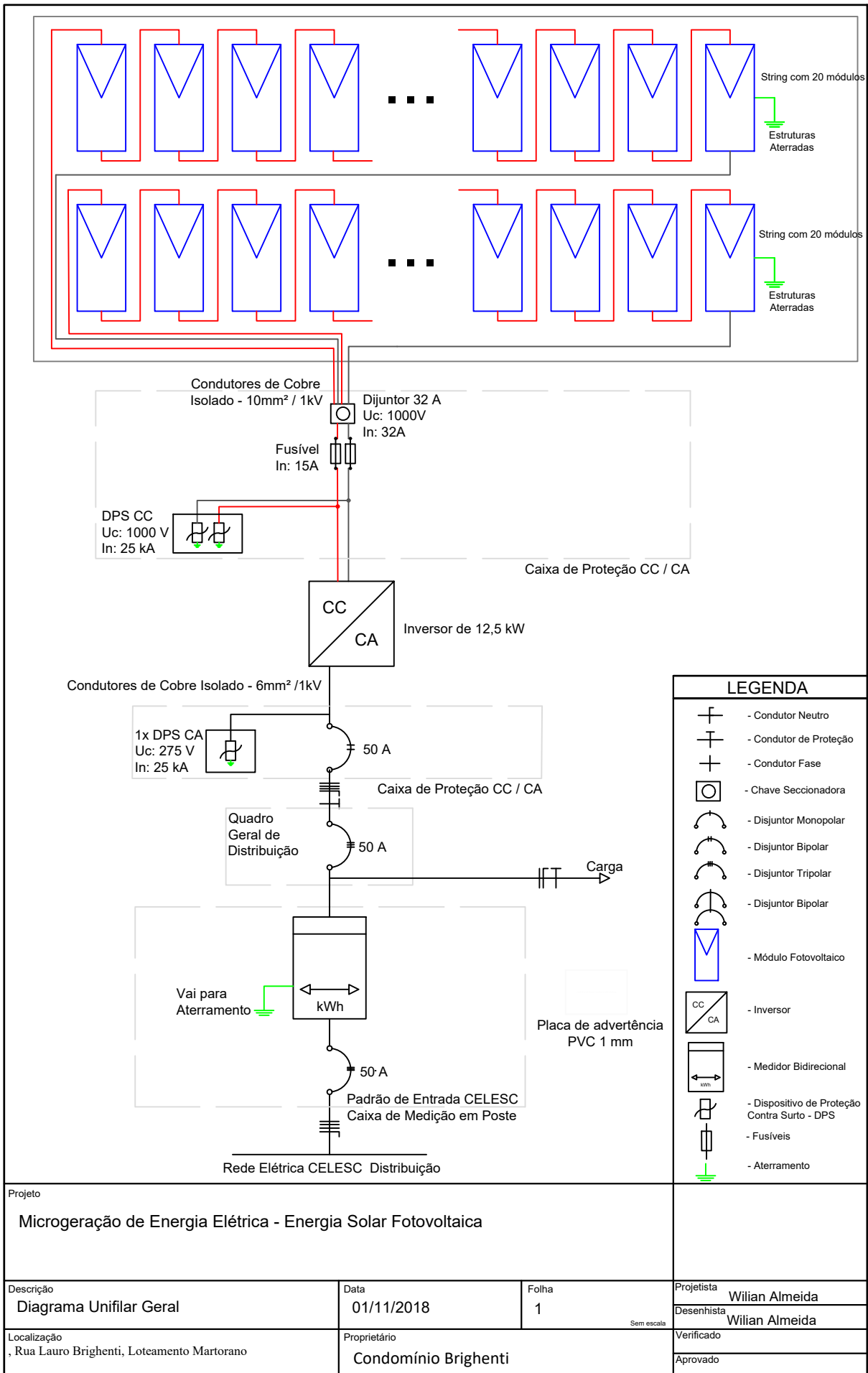
**RUTHER, RICARDO.** *Edifício Solares Fotovoltaicos* . Florianopolis - SC : UFSC LABSOLAR, 2004.

**SOLAR VIDA.** Híbrido. *Esv Solar Vida*. Talmidim Design, 2017. Disponível em: <<http://esvsolarvida.com.br/hibrido/>> Acessado em: 07 de Setembro de 2018.

**SOLAR, ALDO.** *ALDO SOLAR 2018*. Disponível em: <<http://www.aldo.com.br/AldoMarketing/LandingPage/Aldo>> Acessado em: 2 de Novembro de 2018.

**SOLAR, JARDIM.** Módulos Monocristalino policristalino. *Jardin Solar* . René Bijloo, 2015. Disponível em: <<http://jardin-solar.blogspot.com/2015/03/monocristalino-o-policristalino.html>> Acessado em: 05 de Maio de 2018.

**ZILLES, et al.** *Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica* . São Paulo : Oficina de Textos , 2012.



LEGENDA	
	- Condutor Neutro
	- Condutor de Proteção
	- Condutor Fase
	- Chave Seccionadora
	- Disjuntor Monopolar
	- Disjuntor Bipolar
	- Disjuntor Tripolar
	- Disjuntor Bipolar
	- Módulo Fotovoltaico
	- Inversor
	- Medidor Bidirecional
	- Dispositivo de Proteção Contra Surto - DPS
	- Fusíveis
	- Aterramento







Projeto			
Microgeração de Energia Elétrica - Energia Solar Fotovoltaica			
Descrição	Data	Folha	Projetoista
Diagrama Unifilar Geral	01/11/2018	1	Wilian Almeida
Localização	Proprietário	Sem escala	Desenhista
, Rua Lauro Brighenti, Loteamento Martorano	Condomínio Brighenti		Wilian Almeida
			Verificado
			Aprovado



## MAXPOWER (1500 V) CS6U-325 | 330 | 335 | 340M

Canadian Solar's new 1500 V module is a product for high voltage systems, which can increase the string length of solar systems by up to 50%, saving BOS costs.

### KEY FEATURES

-  **1500 V** Designed for high voltage systems of up to 1500 V<sub>DC</sub>, saving on BoS costs
-  Cell efficiency of up to 20.0 %
-  Outstanding low irradiance performance: 96.5 %
-  **No. 1 PTC** High PTC rating of up to 91.7 %
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

 **25 years** linear power output warranty

 **10 years** product warranty on materials and workmanship

### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2008 / Quality management system  
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE  
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)  
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / Take-e-way



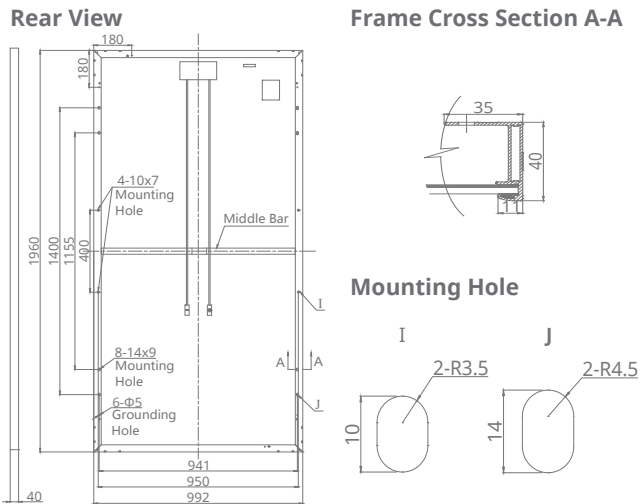
\* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 15 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

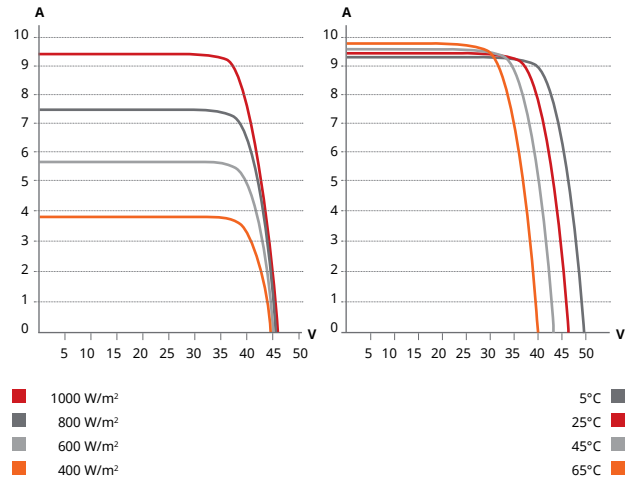
### CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

## ENGINEERING DRAWING (mm)



## CS6U-335M / I-V CURVES



### ELECTRICAL DATA | STC\*

CS6U	325M	330M	335M	340M
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W	340 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.4 V	37.5 V	37.8 V	37.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.69 A	8.80 A	8.87 A	8.97 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.8 V	45.9 V	46.1 V	46.2 V
Short Circuit Current (Isc)	9.21 A	9.31 A	9.41 A	9.48 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%	17.49%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1500 V (IEC) or 1500 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 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.

### ELECTRICAL DATA | NOCT\*

CS6U	325M	330M	335M	340M
Nominal Max. Power (Pmax)	235 W	238 W	242 W	245 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.1 V	34.2 V	34.5 V	34.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.88 A	6.96 A	7.01 A	7.10 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.0 V	42.1 V	42.3 V	42.4 V
Short Circuit Current (Isc)	7.46 A	7.54 A	7.62 A	7.67 A

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

### PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.5 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 40 mm (77.2 × 39.1 × 1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	PV1500DC-F1 4 mm² (IEC) & 12 AWG 2000 V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)
Per container (40' HQ)	624 pieces

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

### PARTNER SECTION





SHIFTING THE LIMITS

# FRONIUS SYMO



/ Field serviceable



/ SnapINverter mounting system



/ Wireless monitoring



/ Design flexibility



/ Arc Fault Circuit Interruption



Boasting power categories from 10 to 24 kW, the transformerless Fronius Symo is the ideal compact three-phase inverter for commercial applications. Its dual maximum power point tracking, high maximum system voltage, wide input voltage range and unrestricted use indoors and out, ensures maximum flexibility in PV system design. As a member of the new SnapINverter family, the Fronius Symo features the SnapINverter mounting system, allowing for secure and convenient installation and field servicing.

Industry-leading features now come standard with the Fronius Symo, including: arc fault protection, integrated wireless monitoring, and SunSpec Modbus interfaces for seamless monitoring and datalogging via Fronius' online and mobile platform, Fronius Solar.web. This makes the Fronius Symo one of the most communicative, efficient and streamlined inverters on the market.

## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO, ALL SIZES

GENERAL DATA	STANDARD WITH ALL FRONIUS SYMO MODELS
Dimensions (width x height x depth)	20.1 x 28.5 x 8.9 in. / 51.1 x 72.4 x 22.6 cm
Degree of protection	NEMA 4X
Night time consumption	< 1 W
Inverter topology	Transformerless
Cooling	Variable speed fan
Installation	Indoor and outdoor installation
Ambient operating temperature range	-40 F to 140 F (-40 to 60 C)
Permitted humidity	0 - 100 % (non-condensing)
DC connection terminals	6 x DC+ and 6 x DC- screw terminals for copper (solid / stranded / fine stranded) or aluminum (solid / stranded)
AC connection terminals	Screw terminals 14-6 AWG
Certificates and compliance with standards (Except Symo 15.0 208 V)	UL 1741-2010, UL1998 (for functions: AFCI and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC Article 690, C22. 2 No. 107.1-01 (September 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013
Certificates and compliance with standards (Symo 15.0 208 V)	UL 1741-2015, UL1998 (for functions: AFCI, RCMU and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC 2014 Article 690, C22. 2 No. 107.1-01 (September 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013

PROTECTIVE DEVICES	STANDARD WITH ALL FRONIUS SYMO MODELS
AFCI & 2014 NEC Compliant	Yes
DC disconnect	Yes
DC reverse polarity protection	Yes
Ground Fault Protection with Isolation Monitor Interrupter	Yes

INTERFACES	AVAILABILITY	AVAILABLE WITH ALL FRONIUS SYMO MODELS
USB (A socket)	Standard	Datalogging and inverter update via USB
2 x RS422 (RJ45 socket)	Standard	Fronius Solar Net, interface protocol
Wi-Fi/Ethernet/Serial/ Datalogger and webserver	Optional	Wireless standard 802.11 b/g/n / Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSON / SunSpec Modbus RTU
6 inputs and 4 digital I/Os	Optional	Load management; signaling, multipurpose I/O



## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (10.0-3 208/240, 12.0-3 208/240, 10.0-3 480, 12.5-3 480, 15.0-3 208)

GENERAL DATA	10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	10.0-3 480	12.5-3 480	15.0-3 208
Weight	91.9 lbs. / 41.7 kg		76.7 lbs. / 34.8 kg		78.3 lbs. / 35.5 kg

INPUT DATA	10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	10.0-3 480	12.5-3 480	15.0-3 208
Max. permitted PV power	15.00 kW	18.00 kW	15.00 kW	18.75 kW	22.50 kW
Max. usable input current (MPPT 1/MPPT 2)	25.0 A / 16.5 A				50.0 A
Max. usable input current total (MPPT 1 + MPPT 2)	41.5 A				50.0 A
Max. admissible input current (MPPT 1/MPPT 2)	37.5 A / 24.8 A				75.0 A
Max. admissible input current total (MPPT 1 + MPPT 2)	62.2 A	62.2 A	62.2 A	62.2 A	75.0 A (1 MPPT)
Integrated DC string fuse holders <i>Must be specified when ordering</i>	None	None	None	None	Integrated: 6- and 6+
MPP voltage range	300 - 500 V		300 - 800 V	350 - 800 V	325 - 850 V
Operating voltage range	200 - 600 V		200 - 1,000 V		325 - 1,000 V
Max. input voltage	600 V			1,000 V	
Nominal input voltage	208 V	350 V	350 V	N/A	N/A
	240 V	370 V	370 V	N/A	N/A
	480 V	N/A	N/A	675 V	685 V
Admissible conductor size DC	AWG 14 - AWG 6 copper direct, AWG 6 aluminium direct, AWG 4 copper or aluminium with input combiner				
Number of MPPT	2				1

OUTPUT DATA	10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	10.0-3 480	12.5-3 480	15.0-3 208
Max. output power	208 V 9,995 VA	11,995 VA	N/A	N/A	15,000 VA
	240 V 9,995 VA	11,995 VA	N/A	N/A	N/A
	480 V N/A	N/A	9,995 VA	12,495 VA	N/A
Max. output fault current / Duration	43.1 A RMS / 158.4 ms	43.1 A RMS / 158.4 ms	43.1 A RMS / 158.4 ms	43.1 A RMS / 158.4 ms	67.7 A RMS / 153.0 ms
Max. continuous output current	208 V 27.7 A	33.3 A	N/A	N/A	41.6 A
	240 V 24.0 A	28.9 A	N/A	N/A	N/A
	480 V N/A	N/A	12.0 A	15.0 A	N/A
Recommended OCPD/AC breaker size	208 V 35 A	45 A	N/A	N/A	60 A
	240 V 30 A	40 A	N/A	N/A	N/A
	480 V N/A	N/A	15 A	20 A	N/A
Max. efficiency	97.0 %		98.1 %	98.1 %	97.3 %
CEC efficiency	208 V 96.5 %	96.5 %	N/A	N/A	96.5 %
	240 V 96.5 %	96.5 %	N/A	N/A	N/A
	480 V N/A	N/A	96.5 %	97.0 %	N/A
Admissible conductor size AC	AWG 14 - AWG 6				
Grid connection	208 / 240 V	208 / 240 V	480 V Delta +N**		208 V
Frequency	60 Hz				
Total harmonic distortion	< 1.75 %				< 3.5%
Power factor	0 - 1 ind./cap.				

\*\*+N for sensing purposes - no current carrying conductor.

## TECHNICAL DATA FRONIUS SYMO (15.0-3 480, 17.5-3 480, 20.0-3 480, 22.7-3 480, 24.0-3 480)

GENERAL DATA		15.0-3 480	17.5-3 480	20.0-3 480	22.7-3 480	24.0-3 480
Weight		95.7 lbs. / 43.4 kg				
INPUT DATA		15.0-3 480	17.5-3 480	20.0-3 480	22.7-3 480	24.0-3 480
Max. permitted PV power		22.50 kW	26.25 kW	30.00 kW	34.09 kW	36.00 kW
Max. usable input current (MPPT 1/MPPT 2)		33.0 A / 25.0 A				
Max. usable input current total (MPPT 1 + MPPT 2)		51 A				
Max. admissible input current (MPPT 1/MPPT 2)		49.5 A / 37.5 A				
Max. admissible input current total (MPPT 1 + MPPT 2)		76.5 A	76.5 A	76.5 A	76.5 A	76.5 A
Integrated DC string fuse holders <i>Must be specified when ordering</i>		Optional: 6- and 6+	Optional: 6- and 6+	Optional: 6- and 6+	Optional: 6- and 6+	Optional: 6- and 6+
MPP voltage range		350 - 800 V	400 - 800 V	450 - 800 V	500 - 800 V	500 - 800 V
Operating voltage range		200 - 1,000 V				
Max. input voltage		1,000 V				
Nominal input voltage		208 V	N/A	N/A	N/A	N/A
		240 V	N/A	N/A	N/A	N/A
		480 V	685 V	695 V	710 V	720 V
Admissible conductor size DC		AWG 14 - AWG 6 copper direct, AWG 6 aluminium direct, AWG 4 copper or aluminium with input combiner				
Number of MPPT		2				
OUTPUT DATA		15.0-3 480	17.5-3 480	20.0-3 480	22.7-3 480	24.0-3 480
Max. output power		208 V	N/A	N/A	N/A	N/A
		240 V	N/A	N/A	N/A	N/A
		480 V	14,995 VA	17,495 VA	19,995 VA	23,995 VA
Max. output fault current / Duration		30.9 A RMS / 150.4 ms	30.9 A RMS / 150.4 ms	30.9 A RMS / 150.4 ms	30.9 A RMS / 150.4 ms	30.9 A RMS / 150.4 ms
Max. continuous output current		208 V	N/A	N/A	N/A	N/A
		240 V	N/A	N/A	N/A	N/A
		480 V	18.0 A	21.0 A	24.0 A	28.9 A
Recommended OCPD/AC breaker size		208 V	N/A	N/A	N/A	N/A
		240 V	N/A	N/A	N/A	N/A
		480 V	25 A	30 A	30 A	40 A
Max. efficiency		98.0 %		98.0 %		
CEC efficiency		208 V	N/A	N/A	N/A	N/A
		240 V	N/A	N/A	N/A	N/A
		480 V	97.0 %	97.5 %	97.5 %	97.5 %
Admissible conductor size AC		AWG 14 - AWG 6				
Grid connection		480 V Delta +N**				
Frequency		60 Hz				
Total harmonic distortion		< 1.75 %				
Power factor		0 - 1 ind./cap.				

\*\*+N for sensing purposes - no current carrying conductor.

# E-HOUSING SOLUTIONS FOR COMMERCIAL PV SYSTEMS

Anvil Crawler manufactures pre-fabricated inverter rooms that ship directly to site and can be customized to meet system requirements. They come equipped with 250 kw or 500 kw of Fronius inverters pre-wired to a terminal strip located on the outside of the container. In addition, ventilation, lighting, receptacles, and heating are included.

**This is the most cost effective way to install a large quantity of string inverters - they are connected, pre-tested, commissioned and ready to energize as soon as the array installation is complete!**

Using a pre-fabricated e-house saves you money by:

- trimming required engineering and on-site consultation as e-housings are ESA approved, and ready for grid connection upon completion of array installation
- eliminating on-site handling and storage costs for goods with single shipment of the inverter room
- eliminating risks of weather-related delays
- cutting hotel, fuel and labour costs for electrical tradespersons.



## 250 KW E-HOUSE

- Dimension: 8' wide x 20' long x 9.5' tall
- Includes: lighting, heating, ventilation, receptacles and a smoke detector roughed in
- 11 x Fronius Symo 22.7 kW inverters
- 1 x Fronius weather station and monitoring (modem is customer supplied)
- 1 x 400 amp AC recombinder panel
- 1 x 400 amp non-fuseable disconnect switch with visi-window
- 1 x metering cabinet
- 1 x 400 amp fuseable disconnect switch, outdoor rated with visi-window
- 1 x transformer (10 kva) and a lighting panel
- Utility / commercial SCADA solutions available



(Top) Inside a finished Anvil Crawler inverter house. (Bottom left) Pre-installed and wired Fronius weather station and monitoring. (Bottom right) Pre-wired inverter DC terminal strip.



## 500 KW E-HOUSE

- Dimensions: 8' wide x 40' long x 9.5' tall
- Includes: lighting, heating, ventilation, receptacles and a smoke detector roughed in
- 22 x Fronius Symo 22.7 kW inverters
- 1 x Fronius weather station and monitoring (modem is customer supplied)
- 1 x 800 amp AC recombinder panel
- 1 x 800 amp non-fuseable disconnect switch with visi-window
- 1 x metering cabinet
- 1 x 800 amp fuseable disconnect switch, outdoor rated with visi-window
- 1 x transformer (10 kva) and a lighting panel
- Utility / commercial SCADA solutions available