

Universidade de Brasília – UnB
Campus Gama – FGA
Engenharia de Energia

**Estudo de Microgeração Solar Para Uso em
Estabelecimento Comercial em Santa Maria - DF**

TÁLLTON CHALACO LACERDA SANTOS

Orientadora: Dra. JOSIANE DO SOCORRO AGUIAR DE SOUZA

Brasília, DF

2016



TÁLLTON CHALACO LACERDA SANTOS

Estudo de Microgeração Solar Para Uso em Estabelecimento Comercial em Santa Maria - DF

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Josiane do Socorro Aguiar de souza

Brasília, DF

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, TÁLLTON CHALACO LACERDA

Estudo de Microgeração Solar Para Uso em Estabelecimento Comercial em Santa Maria - DF

80p., 210 × 297 mm (FGA/UnB Gama, Engenharia de Energia, 2016)

Trabalho de graduação em Engenharia de Energia

Universidade de Brasília, Campus Gama – FGA/UnB

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. Energia Solar | 2. Microgeração Solar |
| 3. Microgeração Residencial | I. Souza, Josiane do Socorro Aguiar de. |
| II. FGA UnB/UnB. | III. Estudo de Microgeração Solar. |

REFERÊNCIA

SANTOS, TÁLLTON CHALACO LACERDA (2016). Estudo de Microgeração Solar Para Uso em Estabelecimento Comercial em Santa Maria - DF. Dissertação de graduação em Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Campus Gama, DF, 80p.

FGA/UnB – Universidade de Brasília, Campus Gama

**Estudo de Microgeração Solar Para Uso em Estabelecimento
Comercial em Santa Maria - DF**

Tállton Chalaco Lacerda Santos

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

APROVADA POR:

Prof^ª. Dra. Josiane do Socorro Aguiar de Souza
(Orientadora)

Prof^ª. Dra. Maria Vitória Duarte Ferrari
(Examinador interno)

Prof. Dr. Augusto César de Mendonça Brasil
(Examinador interno)

Prof. Dra. Paula Meyer Soares
(Examinador interno)

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os professores que colaboraram no desenvolvimento desse trabalho.

Professor Augusto César Brasil,

Professor Jorge Cormane,

Professora Maria Vitória Ferrari,

Professora Paula Meyer Soares,

Professor Rhander Viana,

Professor Ricardo Matos Chaim.

E um agradecimento em especial para a Professora Josiane do Socorro Aguiar de Souza, que esteve presente em grande parte da minha graduação, além de estar presente durante esse ano de monografia também me orientou durante meu intercâmbio.

A vocês, meu muito obrigado!

*"There is no knowledge
that is not power"*

(Ralph Waldo Emerson)

Resumo

Esse trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade técnica e financeira de uma micro-central geradora para uso em estabelecimento comercial em Santa Maria, DF. Para isso o projeto físico da central de geração será dimensionado em conformidade com os requisitos de demanda do comércio e em conformidade com a política normativa do acesso à geração distribuída, em conjunto com a validação das etapas de montagem, operação e manutenção e seus respectivos desafios técnicos. A metodologia utilizada foi análise bibliográfica e a pesquisa experimental, empregando uma abordagem quantitativa na análise das variáveis, com a comparação direta de performance para os componentes em laboratório. Dentre os resultados encontrados estão cálculos relacionados ao potencial, dimensionamento físico, manual de materiais com etapas para a montagem de uma placa solar, esquemático das instalações e os dados econômicos do projeto. Destaca-se também a análise de viabilidade econômica e a construção da placa solar. Esse estudo busca validar o acesso a microgeração distribuída como um investimento válido na região como um método de redução de custos de consumo de energia.

Palavras-chave: Microgeração, Energia Solar, Sustentabilidade.

Abstract

This work has as objective to verify the economic and technical viability of a micro-generation central for a commercial property in the area of Santa Maria, DF. The physical project of the generation central will be scaled in accordance to the building's power demand altogether with the legal provision for the distributed energy generation access, jointly with the validation of the steps for assembly, operation and maintenance, and technical challenges. The methodology used was literature review and experimental research, with a quantitative approach in the variables analysis, summing up with direct comparison between components in the laboratory. Among the found results are the accounts related to the potential, physical dimension, materials manual with assembly steps of a solar panel, schematics for the electric installations and financial data related to the project. This study seeks to validate the access to distributed micro-generation as a valid investment in the region as a method to reduce energy consumption costs.

Keywords: Micro-generation, Solar Energy, Sustainability

SUMÁRIO

1	Introdução	11
1.1	Contextualização e Problemática	11
1.2	Objetivos	13
1.2.1	Objetivos Gerais	13
1.2.2	Objetivos Específicos	13
1.3	Justificativa	13
1.4	Passos Metodológicos	15
1.5	Estrutura da Dissertação	17
2	Referencial Teórico	18
2.1	Energia solar	18
2.1.1	Diferentes células solares:	20
2.1.2	Cenário do Aproveitamento Solar no Brasil	20
2.2	Demanda Energética	21
2.2.1	Demanda da Matriz Energética e do Consumidor	21
2.3	Política Normativa	23
2.3.1	Passo a Passo para Regularização no Sistema de Compensação.	24
2.4	Fundamentação Econômica	26
2.5	Impacto de microgeração em redes de Distribuição de Energia	28
2.5.1	Harmônicos na Rede de Distribuição	30
3	A Viabilidade de Microgeração Solar.	32
3.1	Localidade e Justificativa da fonte	32
3.1.1	Localidade	32
3.1.2	Fontes Energéticas e suas potencialidades	33
3.2	Análise de Viabilidade Econômica	35
3.3	Orientação Solar e Inclinação das Placas	37
3.3.1	Sombreamento e manutenção	40
4	Resultados	42
4.1	Implementação de Microgeração em Comércio	42
4.1.1	Iniciando o Projeto	42
4.1.2	Desenvolvimento da Metodologia de Cálculo	43
4.2	Manufatura da Placa	47
4.2.1	Lista de Equipamentos e Procedimentos de Escolha	47
4.2.2	Processo de Fabricação	50
4.2.3	Descrição da Instalação	56
4.3	Custos e Encargos	59
4.4	Comentários Finais	61
	Apêndice - Manual de Montagem	66
	Anexos	79

LISTA DE FIGURAS

1.1	Gráfico Sistema Cantareira - Setembro de 2015.	14
1.2	Metodologia.	16
2.1	Esquemático do Fluxo solar na atmosfera terrestre.	18
2.2	Radiação Global Média.	19
2.3	Distribuição do Consumo Energético do Brasil em 2012.	22
2.4	Demonstrativo do Valor Presente Líquido	26
2.5	Curva Normal.	28
2.6	Estrutura simplificada de um sistema interligado com micro e minigeração distribuída.	29
3.1	Delimitação da Região Central de Santa Maria.	32
3.2	Fluxo de Potência Eólica Anual.	33
3.3	Radiação Solar no Plano Inclinado Média Anual.	34
3.4	Incidência Solar ao longo das horas no Solstício de Inverno	38
3.5	Representação Lateral do Telhado	39
3.6	Esquema da Proteção por Diodos	41
4.1	Gráfico de Consumo de Energia Elétrica do Comércio Estudado.	42
4.2	Gráfico de Consumo de Energia Elétrica do Comércio Estudado ao longo de duas semanas.	43
4.3	Configuração elétrica entre as placas solares.	47
4.4	Diagrama de Blocos do Sistema	48
4.5	Célula Solar Policristalina.	49
4.6	Diferença entre onda senoidal pura e modificada.	50
4.7	Células Soldadas	51
4.8	Perfil "U".	52
4.9	Estrutura Final.	52
4.10	Armadura Lateral da Placa.	53
4.11	Placa Finalizada.	55
4.12	Vista Superior e Isométrica do Local de Montagem dos Painéis.	56
4.13	Requerimento Elétrico da CEB.	58
4.14	Descrição Elétrica.	58
4.15	Comparação de Aplicação e Investimento em Energia Solar Fotovoltaica	61
16	Mapa de Ângulos de Correção para o Norte Geográfico.	79
17	Dados Técnicos do Inversor. Modelo selecionado PHB1500-SS.	80

LISTA DE TABELAS

3.1	Estimativa de Custos do Projeto.	35
3.2	Previsão de fluxo de Caixa nos Primeiros 15 Anos.	36
3.3	Tabela de Probabilidades.	36
3.4	Comparação de Aplicação em Poupança contra investimento em P.V. . . .	37
4.1	Horário de Nascer e Pôr do Sol Em Santa Maria - DF	44
4.2	Diferença Entre Célula Monocristalina e Policristalina.	48
4.3	Custo Final do Projeto	60
4.4	Fluxo Caixa Total para o Investimento	60

LISTA DE QUADROS

2.1	Passos a Serem Seguidos Para o Acesso à Microgeração Distribuída.	25
4.1	Avaliação dos Materiais para Construção da Placa.	54
4.2	Custos Reais para Construção de 1 painel	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA

A utilização da energia elétrica é uma despesa fixa na vida de todos os Brasileiros, as tarifas de eletrificação comprometem uma parte significativa do orçamento das famílias, afetando com mais intensidade o orçamento das famílias de baixa renda. A exemplo, a pesquisa¹ por amostra de domicílios mostrou que nas residências com rendimento até 2 salários mínimos localizados nas comunidades do Rio de Janeiro o comprometimento da renda com a despesa de energia elétrica foi de 17% em média, enquanto na região metropolitana do Rio de Janeiro, essa porcentagem gira em torno dos 11%. Além de verificar casos extremos, como a comunidade do Lixão, aonde até 24% da renda é comprometida em gastos com energia elétrica, resultando com que 43% das casas consultadas ignorem o uso de medidores e faça prática de "gatos"[1].

A Lei 10.438/2002 sancionada no Governo Federal, no mandato de Fernando H. Cardoso, estabeleceu a tarifa social e o programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (PROINFA), o Proinfa (descrito no Decreto nº 5.205, de 2004), regulamentado pelo Ministério de Minas e Energia, instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no Sistema Interligado Nacional [2], essa busca por diversificação na Matriz Energética Brasileira tem por consequência a valorização das potencialidades específicas de cada região do Brasil. Entretanto, os empreendimentos participantes do Proinfa são geradoras com valores de potência instalada alta, geralmente entre 5,000 kW até 30,000 kW [3]. Tais valores de potência estão longe da faixa de consumo de residências isoladas, como resultado, um consumidor interessado em gerar sua própria energia não está enquadrado nas diretrizes do Proinfa. Mas ao incentivar a expansão da Matriz Energética Brasileira por meio de energias ditas como limpas, o Proinfa pode ser visto como um primeiro passo para o que levou à criação da Resolução Normativa nº 482, em 17 de abril de 2012 que estabelece as diretrizes para o acesso ao sistema de compensação de energia elétrica.

O sistema de compensação de energia elétrica oferece a possibilidade de o consumidor gerar energia elétrica e emprestar a energia à distribuidora local a título de crédito, que oferece abatimento nas unidades consumidoras de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados [4]. Para tal, o consumidor é livre para escolher a fonte de geração, conforme regulamentação da ANEEL, facilitando o acesso ao consumidor que pode definir a fonte que melhor se encaixa nas características de sua

¹pesquisa realizada pela LIGHT em parceria com a COPPE/UFRJ, a PUC-RJ e a UFF, no ano de 2007 (Nadaud, 2012, p. 45).

localidade. Ao se popularizar o sistema de compensação de energia elétrica, a rede de distribuição terá um conjunto vasto de pequenos geradores em um sistema interligado somado aos já existentes, cenário contrário ao atual, onde se tem poucos grandes geradores centralizados (96,28%) e geradores menores são quase inexistentes [5].

Apesar da necessidade de planejamento e do custo inicial, a participação no sistema de compensação de energia elétrica é importante pois irá gerar redução no valor pago pela energia elétrica, irá descentralizar a geração de energia elétrica no Brasil e irá ampliar a Matriz Energética Brasileira.

Como todo sistema financiado exclusivamente pelo consumidor, algum retorno é esperado, no caso do sistema de compensação de energia elétrica, se supõe que o retorno para o acessante será financeiro. Entretanto, a falta de incentivo do governo e o alto custo das tecnologias emergentes torna a equação de custo x benefício complexa, é necessário ir além da falácia das empresas que vendem esse sistema e verificar se há realmente um retorno para o consumidor, se a redução na conta de energia elétrica será suficiente para pagar o investimento em um tempo satisfatório, e dado o tempo de vida do sistema instalado, determinar um tempo satisfatório de retorno.

O consumidor unitário que participar do sistema de compensação de energia elétrica continuará com a potência disponível da mesma forma, mas o sistema de distribuição terá uma grande diferença em sua potência a ofertar assim que o número de unidades acessantes for alta. Essa alteração na organização dos pontos alimentadores da rede irá gerar a necessidade de se repensar nas relações entre a geração e a distribuição de energia no sistema interligado nacional, qualificando vantagens e desvantagens da descentralização da geração de energia elétrica para rede distribuidora.

O Brasil, conhecido pelo seu imenso potencial hídrico, não tem diversificação na matriz energética, isso pode ser constatado por 65% dos empreendimentos geradores atuais do Brasil serem de fonte hidrelétrica, uma clara concentração em um único tipo de fonte [5]. Variações na disponibilidade dessa fonte ao longo do ano fazem com que o preço da energia elétrica flutue e seja diretamente proporcional à sua disponibilidade, a ampliação da matriz energética a partir das fontes estabelecidas pela REN 482 podem suavizar as variações ocorridas já que fontes de energia podem sofrer efeitos inversos, denominada complementaridade, ela é a soma da disponibilidade das fontes considerando a diferença entre os períodos em que cada uma está disponível [6]. Outros problemas que ainda não são adequadamente contabilizados também aparecem quando se usa a energia hidráulica em larga escala, como o alagamento de áreas cultiváveis ao redor da represa e o esgotamento da capacidade de geração hidroelétrica das principais bacias hidrográficas nos epicentros de consumo do Brasil [7]. Devido a isso, métodos para injeção de outras fontes precisam de mais destaque na Matriz Energética Brasileira.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Gerais

O principal objetivo desse trabalho é estudar a viabilidade técnica e econômica de uma microcentral geradora em um comércio de alimentos em Santa Maria, DF. O projeto seguirá as diretrizes estabelecidas na Legislação Brasileira, portanto a fonte e a dimensão da microcentral serão determinados em conformidade com a Resolução Normativa referente (REN 482).

1.2.2 Objetivos Específicos

Fazer um projeto físico de instalação elétrica com microcentral geradora. Ele seguirá as diretrizes estabelecidas na Legislação Brasileira, portanto, a fonte e a dimensão da microcentral serão determinados em conformidade com a resolução normativa referente (REN 482, vide 2.3).

Avaliar os benefícios técnicos e econômicos da instalação. Utilizar a microcentral geradora como complemento às necessidades energéticas para funcionamento normal das máquinas do comércio. A fonte é escolhida a partir de análise de potencial disponível para a região. A microcentral geradora deverá ser projetada de maneira que os créditos gerados ao longo de sua vida útil sejam ao menos equivalentes ao seu valor de investimento, a ser definido pela análise econômica.

Verificar se o espaço e as instalações estão em conformidade com as exigências previstas na resolução normativa n° 482 e as exigências específicas da Companhia Energética de Brasília (CEB-D) apresentadas em 4.13. Para a verificação técnica também entram os cálculos relacionados ao potencial e a disponibilidade das possíveis fontes para a demanda calculada. Por fim o projeto visa validar as instalações do sistema.

Levantar os custos do projeto, o ganho que o projeto trará e o tempo que levará para o investimento ser quitado, fazer a análise financeira terá também o objetivo de validar a microcentral geradora como um investimento rentável.

1.3 JUSTIFICATIVA

A Resolução Normativa n° (REN 482) possui 3 anos, e os projetos de consumidores que participam do sistema de compensação ainda estão em fase de catalogação pela ANEEL, não possuindo no momento valor exato da quantidade de pontos de acesso, dificultando a avaliação das consequências na rede de distribuição. Carecem de pesquisas no Brasil sobre o tema e o pouco material relacionado aos dados de microgeração disponibilizados pelo Governo possuem um apelo mais voltada ao marketing do que de análise

crítica ao sistema.

Entre 2014 e 2015 a tarifa de energia elétrica sofreu sucessivos reajustes, como por exemplo, a proposta de ajuste tarifário anual para a distribuidora de energia Energisa Borborema (presente na Paraíba e São Paulo) é de 33,71% [8]. A proposta de geração de energia em comércios irá dar suporte aos consumidores que almejam redução no valor pago pelo consumo de energia, gerando um retorno positivo aos consumidores, já que a economia pode ser refletida em novos investimentos por parte do consumidor em seu comércio.

Aliado a isso, o baixo nível dos vários mananciais hidrológicos do Brasil contribuem para o aumento na tarifa de energia por meio das bandeiras tarifárias [9], e esses níveis podem atingir valores críticos, como pode ser visto na Figura 1.1 para o sistema Cantareira. Nessa temática é necessário buscar um equilíbrio melhor na matriz energética do Brasil, e devido as disposições da REN 482, o uso de energia solar pode ser usado como fonte de energia complementar à matriz energética. Assim como o grau de desenvol-

Gráfico de volume do Sistema Cantareira em 24/09/2015

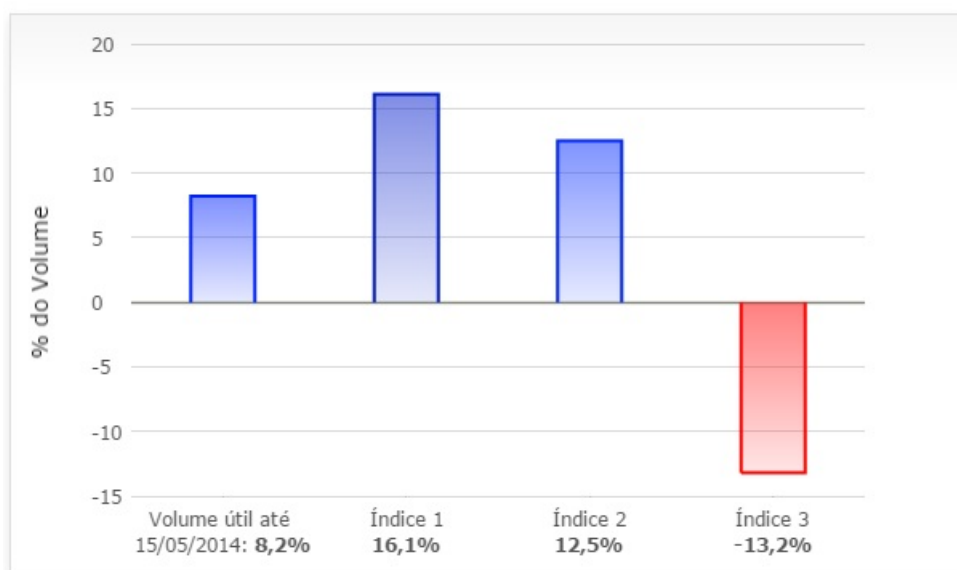


Gráfico 1.1. Gráfico Sistema Cantareira - Setembro de 2015.
Fonte: SABESP.

vimento de um país é constantemente associado ao seu consumo de energia, projeta-se que no Brasil o consumo de energia irá crescer. Estima-se que o consumo irá saltar de 496 TWh registrados em 2012 para 787 TWh ao fim do ano de 2022, sendo que 20,7% do consumo será comercial [10], logo explorar meios para que os comércios produzam sua própria energia contribui de maneira positiva para suprir a demanda do País.

A implementação do sistema tem um impacto ambiental e social positivo, pois para ser elegível à compensação a fonte necessita ser "limpa" [4], e com o crescimento da demanda energética, a implementação em larga escala de microgeradores se torna um

complemento aos centros geradores já existentes. Além de um melhor aproveitamento do espaço finito que se tem disponível no solo Brasileiro, que ao invés de se utilizar grandes áreas para empreendimentos em larga escala, tem-se a otimização do espaço urbano já ocupado. Junto com a otimização do espaço aparece uma redução nas perdas da transmissão (por efeito joule), devido aos microgeradores estarem localizados próximo aos centros de consumo, ao contrário da geração em larga escala que em geral se concentra fora dos centros urbanos.

1.4 PASSOS METODOLÓGICOS

Para exemplificar com mais clareza as etapas do processo de investigação, essa seção foi criada ordenando os procedimentos metodológicos e técnicos que foram usados.

Devido às diferenças no modo de se praticar a investigação científica por conta das várias perspectivas epistemológicas que se poderia seguir ou do caminho investigativo que se poderia tomar, o desenvolvimento do projeto se tentou seguir por motivos de coerência metodológica e técnica, um único tipo de pesquisa. Empregou-se ao máximo uma abordagem quantitativa na análise das variáveis e na construção dos processos de desenvolvimento do projeto. Mas também a pesquisa bibliográfica foi essencial em todos os momentos na construção das etapas metodológicas. Para a segunda etapa, a pesquisa experimental irá aparecer, pois a coleta de dados irá focar nos valores obtidos no modelo real construído de maneira a verificar a confiabilidade entre o modelo quantitativo e o modelo real.

Essa seção foi elaborada em formato visual para facilitar a compreensão do leitor sobre os procedimentos metodológicos, assim evitar detalhamentos longos e exaustivos ao leitor. O organograma metodológico é apresentado na página a seguir, Figura 1.2.

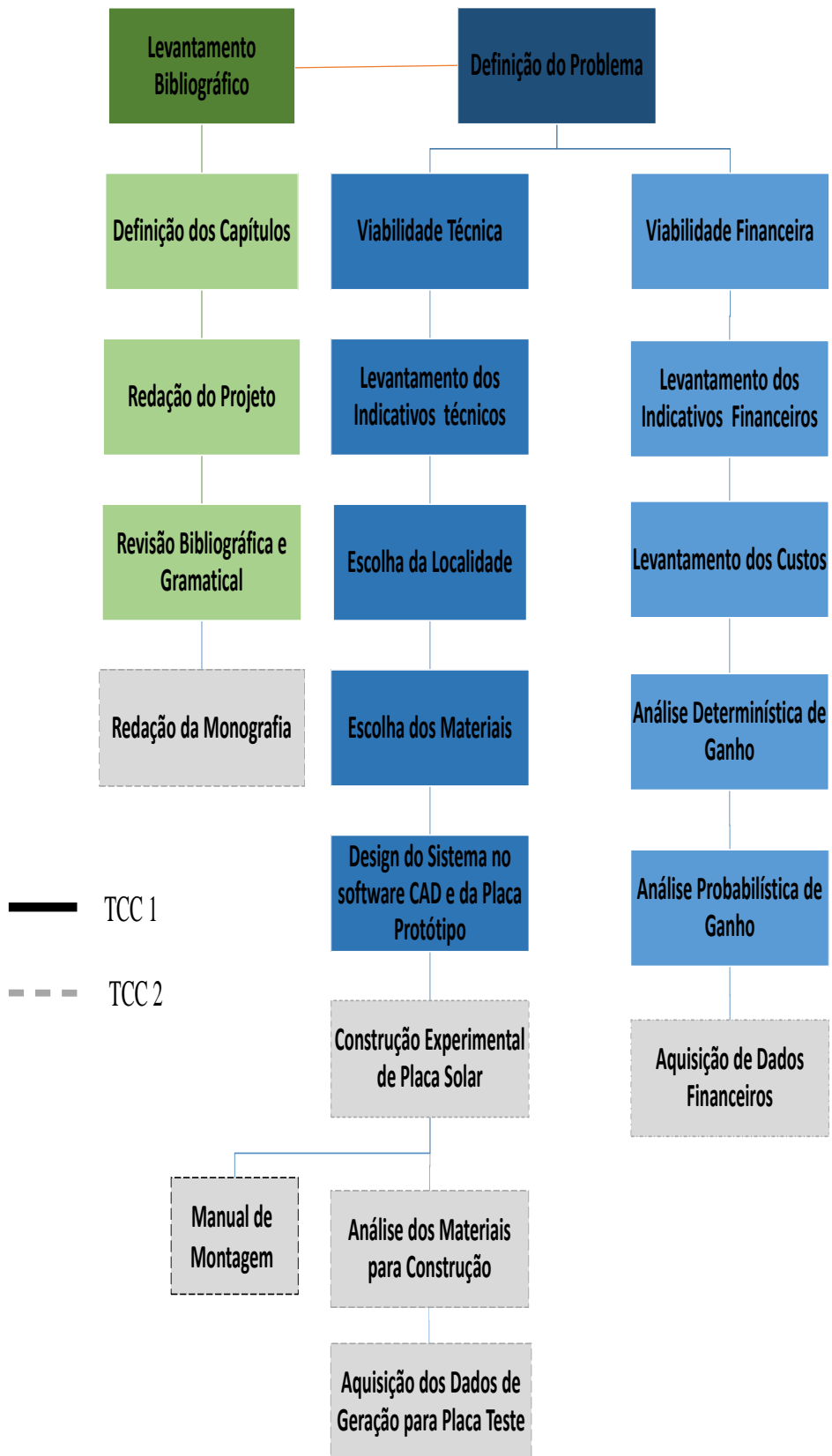


Figura 1.2. Metodologia.
 Fonte: Própria.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta seção apresenta o modelo de estruturação da dissertação.

O capítulo 1 introduz o objeto de estudo e apresenta a metodologia. Por alguns procedimentos metodológicos serem considerados como resultados, alguns procedimentos metodológicos podem aparecer ao longo dos capítulos 3 e 4.

O capítulo 2 apresenta as referências para o embasamento teórico, e características técnicas e financeiras relevantes. A introdução também introduz impactos que um sistema de microgeração solar terá na rede de distribuição.

O capítulo 3 apresenta os primeiros aspectos levantados pela revisão bibliográfica e os primeiros dados do projeto.

O capítulo 4 irá apresentar os resultados relacionados à construção da placa solar protótipo, da análise técnica e dos gastos financeiros obtidos no projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo expõe as referências bibliográficas em que esse trabalho se baseia para o andamento investigativo e para as etapas de análise e de implementação. Assim, as leis, resoluções e normas técnicas que dão base e regulam as instalações em área residencial são expostas. Como também os modelos que serão utilizados para os cálculos de energia solar e de projeção de custos, assim como a teoria envolvida nas instalações elétricas ligadas à rede.

2.1 ENERGIA SOLAR

A maior fonte de energia do nosso planeta é o Sol. Toda essa energia é a responsável por aquecer a superfície terrestre. Entretanto, o formato da terra tem um impacto na uniformidade do aquecimento terrestre, resultando que os raios solares atinjam a região tropical quase perpendicularmente à superfície, o que não ocorre nos polos, onde a incidência é mais oblíqua. Esse fator de incidência torna a potência por área que incide no equador ser superior à dos polos [11]. Assim que entra na atmosfera, a radiação solar sofre processos físicos de espelhamento e absorção com a superfície e gases da atmosfera do planeta [7], isso altera os valores relacionados ao fluxo de energia na superfície, logo não se pode considerar uma única incidência média para o Brasil. O Brasil tem uma extensão latitudinal considerável, com ocupação em áreas equatoriais até latitudes médias e isso faz com que diferentes regimes climáticos afetem as várias regiões do país [11]. Cerca de 30% da radiação que incide na parte superior da atmosfera é refletida pelas nuvens, os gases e particulados da atmosfera. O fluxo que penetra é absorvido produzindo aquecimento, e para manter o equilíbrio, a energia absorvida é posteriormente reemitida [7]. Conforme pode ser visto pela Figura 2.1.

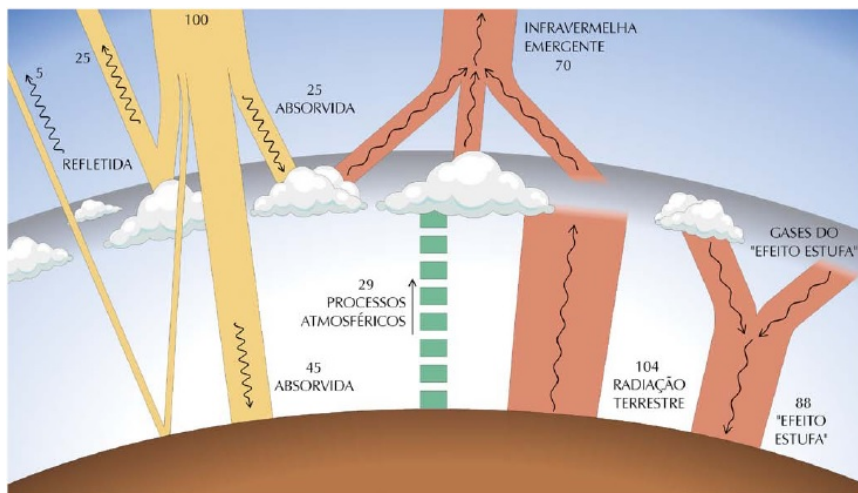


Figura 2.1. Esquemático do Fluxo solar na atmosfera terrestre. Retirado de [7].

O Atlas Brasileiro de Energia Solar utilizou dados coletados em estações da rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais para o setor de energia) e dados medidos em plataformas de coleta de dados (PCD) para compilar os dados de irradiação solar no território Brasileiro. A Figura 2.2 mostra o resultado obtido para a irradiação solar na região Centro-Oeste. O que se pode verificar na figura é que a região tem uma incidência solar inferior apenas à região Nordeste, tornando-a um dos melhores locais do Brasil para se possuir um sistema fotovoltaico. O potencial solar do Centro-Oeste é tão alto, que se compararmos com a região de maior incidência da Alemanha, país onde os sistemas fotovoltaicos são amplamente utilizados, obtemos um valor 69% superior para a região Centro-Oeste [12].

Esses dados são essenciais no estudo de disponibilidade da fonte e serão utilizados para os cálculos de planejamento de capacidade, além de que quando em funcionamento, a microcentral solar poderá utilizar tais dados para comparar com a sua geração real e estabelecer uma base da eficiência do seu sistema com relação a potência incidente solar.



Figura 2.2. Radiação Global Média. Retirado de [7].

2.1.1 Diferentes células solares:

O principal componente de uma placa solar é a célula solar, esse é o componente responsável pela conversão de energia solar em energia elétrica. Existem vários tipos de células solares, as principais podem ser classificadas em dois grandes grupos: as orgânicas e as inorgânicas.

As células orgânicas possuem a classe das OPV (organic photo-voltaic) e as DSSC (dye-sensitized solar cells) ou células solares sensibilizadas por corante, esse tipo de célula não é utilizado para geração de energia em residências. A classe utilizada em residências é a classe das inorgânicas.

As células inorgânicas representam 90% das células comercializadas, em especial as de silício, que podem ser monocristalinas ou policristinas (representando 85% do mercado) e as de filme fino, chamadas de silicone amorfa (representando 5% do mercado). As células de silício cristalino são baseadas em cristalização de silício purificado, há uma necessidade de aproximadamente 5 gramas de silício por watt de potência produzido, isso faz com que aproximadamente 25% do custo na produção das células solares sejam provenientes do silício. Entretanto o silício é o segundo material mais abundante na terra, depois apenas do oxigênio, não representando um risco para a tecnologia uma possível crise no seu insumo.

A maior diferença entre as placas monocristalinas e as policristalinas está na sua construção, as monocristalinas possuem as maiores eficiências já que são construídas com silicone de mais alta classe. O processo de construção das placas policristalinas é mais simples, utilizando silicone forjado mais barato, fazendo com que elas sejam mais baratas que as monocristalinas. A eficiência das placas atuais gira em torno de 14% a 20 %, essa baixa eficiência faz com que o custo da célula aumente em uma base por potência produzida, girando em torno de 1 \$USD/watt [13].

2.1.2 Cenário do Aproveitamento Solar no Brasil

O aproveitamento da energia solar fotovoltaica no Brasil é realizado quase que exclusivamente por pequenos sistemas isolados ou autônomos, geralmente instalados em regiões onde a rede elétrica não alcança. Esses locais não costumam ter o acesso das redes devido a questões geográficas ou onde a distribuição não é economicamente viável. Pouco pode-se citar sobre os incentivos à energia solar no Brasil, um exemplo de aplicação em solo Brasileiro foi o Programa Luz para Todos, que instalou sistemas de aquecimento de água por luz solar e geradores de energia fotovoltaicos em comunidades onde a instalação de linhas de transmissão feria o ambiente somado ao alto custo de investimento. O Programa Minha Casa Minha Vida do Governo Federal também investiu no mercado solar e instalou em Juazeiro, no sertão baiano, 9.144 placas fotovoltaicas nos telhados dos blocos, transformando a comunidade na maior miniusina de energia solar do País, com

potencial para produzir 2,1 MW, suficiente para abastecer 3,6 mil domicílios [14].

O número de sistemas fotovoltaicos com acesso ao sistema de compensação de energia vem crescendo no Brasil e espera-se um salto nos próximos anos, assim se considera um marco importante para a energia fotovoltaica no País o projeto "Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira", ele prevê a criação de usinas experimentais que se ligarão ao Sistema Interligado Nacional, somados se espera uma potência instalada de 25 MW [15]. A energia solar enfrenta ainda muitos obstáculos à sua democratização de acesso. Um exemplo foi quando o PROINFA foi criado pelo Governo Federal, que não incluiu a energia fotovoltaica, e a energia fotovoltaica também não está incluída no Plano Decenal de Energia até 2020 do Ministério de Minas e Energia, sendo incluído apenas recentemente para o plano até 2024. E como o uso da energia solar quase não é difundida pelo Brasil, a população desconhece essa possibilidade e a matriz energética sofre por esse potencial desperdiçado. Mas os maiores obstáculos são os econômicos, a falta de incentivo e crédito do governo para os pequenos e médios empreendedores da área solar, o alto custo da instrumentação no Brasil, e principalmente o número incrivelmente baixo de equipamentos na área solar regulamentados pelo Inmetro criam uma barreira ao acesso.

2.2 DEMANDA ENERGÉTICA

A demanda por energia solar pode ser tratada em duas vertentes: O ramo do potencial Brasileiro, em que a energia solar pode ser usada para suprir déficits na atual matriz energética Brasileira. E a demanda do consumidor, seja ele residencial ou comercial, que já possui uma potência instalada.

2.2.1 Demanda da Matriz Energética e do Consumidor

Quando se faz o levantamento da demanda energética do país, se levam em conta o consumo dos vários setores, sendo eles a indústria, o comércio, o consumo residencial e a soma de uma parcela de consumidores ditos como "outros". Com base nas projeções demográficas divulgadas pelo IBGE no Censo 2010, a EPE¹ ajustou os dados anuais relativos às variáveis energéticas, assim, estimou-se que o contingente populacional cresça em 13 milhões de pessoas no período de 2012 a 2022, representando um aumento médio de 0,6% ao ano. Isso somado a uma "tendência decrescente da relação do número de moradores por domicílio"[10], resulta em um aumento médio de 2,1% ao ano de residências (representante de um quarto do consumo do país no ano de 2012, como visto na Figura 2.3) no país . O maior segmento consumidor, como pode ser visto na Figura 2.3, é

¹Empresa de Pesquisa Energética, vinculada ao Ministério de Minas e Energia.

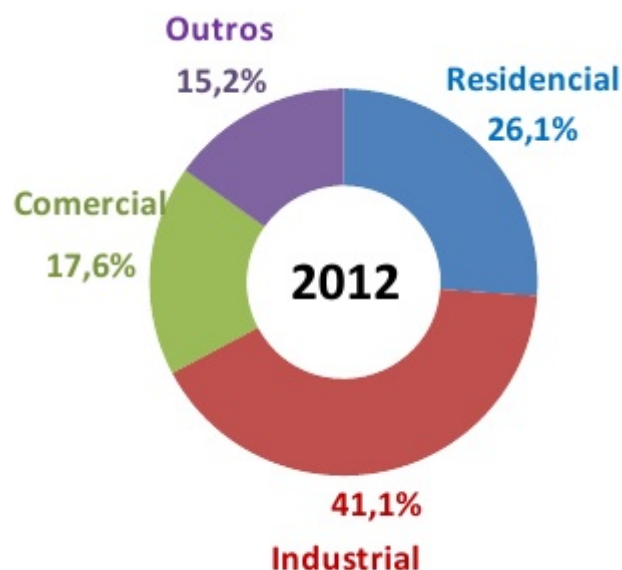


Figura 2.3. Distribuição do Consumo Energético do Brasil em 2012. Retirado de [10].

o industrial, em 2012 o grupo dos grandes consumidores industriais consumiu 100.412 GWh, com destaque para a indústria do alumínio, que sozinha consumiu 21.707 GWh [10]. Esse setor está com a previsão de crescimento médio de 3,6% ao ano, com um consumo previsto de 142.590 GWh para o ano de 2022.

Apesar da área urbana estar amplamente eletrificada e praticamente todas as residências terem disponibilidade de eletrificação, a demanda do consumidor não se resume apenas ao que a empresa elétrica pode oferecer, e sim ao equilíbrio entre um consumo sem racionamentos ou privações e um preço que o consumidor possa pagar. Entretanto, o que se viu nos últimos anos foi o aumento do consumo elétrico nas residências, em conjunto com o aumento da tarifa de energia elétrica [8], o que leva uma maior fatia da renda das famílias ser destinada a suprir necessidades energéticas. Assim, consumidores que almejam aumentar o seu consumo de energia sem comprometer sua renda, podem suprir essa demanda extra com a instalação de um sistema de geração solar ligado à rede, fazendo com que o retorno trazido pelo sistema de compensação seja revertido para suprir o gasto excessivo com a energia elétrica. Por exemplo, uma casa que deseja instalar um sistema de ar condicionado, considerando um valor de refrigeração médio (9.000 BTU) e um uso diário de 8 horas, o aumento na conta de luz ficaria em torno de 120 reais, o que representa um valor alto para boa parte das famílias de renda baixa e média.

Consumidores dispostos a investir a longo prazo também fazem parte da demanda por fontes de microgeração, a partir do momento que o sistema de compensação de energia se mostrar rentável, a tendência é que a demanda aumente, podendo se tornar até um item de projeto na construção civil e no planejamento urbano. Mas para se alcançar

esse nível de confiabilidade, muito trabalho precisa ser feito na divulgação dos resultados da participação no sistema de compensação de energia elétrica, e além da divulgação, a verificação da efetividade do sistema. Mas assim como itens de altíssimo consumo como freezers, condicionadores de ar, filtros de água, bombas para caixa d'água, etc. Formas alternativas para suprir essa demanda emergirão, e com as demandas energéticas crescendo a nível nacional, o consumidor individual tenderá a procurar métodos de assegurar que suas demandas serão atendidas [10]. Em nota oficial, a Companhia Energética de Brasília comunicou os reajustes tarifários para o ano de 2015 como sendo 24,1% na Revisão Tarifária Extraordinária (RTE), em março de 2015 e mais 18,36% para o Reajuste Tarifário Anual (RTA) em agosto de 2015, com isso, um consumidor que pagasse R\$ 100 em Janeiro de 2015, mantendo o consumo, pagará R\$ 146,88 no fim de setembro. Considerando o valor do salário mínimo nacional do período em R\$ 788, o consumidor que comprometia 12,7 % de sua renda em Janeiro, passará a comprometer 18,64 % da sua renda [16]. Esse tipo de acréscimo na tarifa e a redução no valor dos equipamentos fazem com que investimentos na área de autoprodução se tornem cada vez mais viáveis.

2.3 POLÍTICA NORMATIVA

A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, na Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 estabelece as condições gerais para o acesso a microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. As distribuidoras devem atender às solicitações de acesso para microgeradores e minigeradores distribuídos nos termos da seção 3.7 do módulo 3 do PRODIST. Ela também define o sistema de compensação de energia, um sistema de compensação onde a injeção na rede da energia gerada irá acumular créditos que serão posteriormente utilizados para amortizar o consumo da mesma unidade consumidora ou alguma outra da mesma titularidade da unidade geradora. Ela também define as categorias de geração, sendo elas a microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 100 kW. E a minigeração distribuída: potência instalada entre 101 kW e 1 MW. Para ambas, é imprescindível que a fonte seja de base hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL [4].

O consumidor interessado em participar do sistema de compensação deverá arcar com os custos referentes à instalação e à adequação do sistema de medição, entretanto, após a adequação do sistema de medição, as responsabilidades por manutenção e boa operação passam a ser encargo da distribuidora e isso inclui subsequente troca. A medição é feita por medidor bidirecional instalado pelo consumidor, e no caso da microgeração é possível fazer a medida usando-se dois medidores unidirecionais [4].

2.3.1 Passo a Passo para Regularização no Sistema de Compensação.

Existem vários passos a serem tomados no acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição, eles podem ser de responsabilidade da central geradora, da acessada ou responsabilidade bilateral. Para a central geradora classificada como microgeração, dimensão abordada nesse estudo, são necessárias duas etapas: A solicitação de acesso e o parecer de acesso. A solicitação de acesso é tratada no item 2.4 da seção 3.7 do PRODIST (revisão 5), seguido da seção que trata o parecer de acesso, com 5 itens cabíveis para microgeração. Outros critérios devem ser observados, eles são técnicos e operacionais, além de requisitos de projetos, de implantação de novas conexões, de manutenção e segurança. Vale destacar as exigências ao sistema de medição [17].

O sistema de medição para microgeração não difere muito do tradicional sistema de medição para o consumo de energia elétrica, ele requer os mesmos aspectos, acrescentando o fato da medição ser, necessariamente, bidirecional. Isso pode ser realizado utilizando dois medidores unidirecionais, um medindo a energia elétrica ativa injetada e o outro a consumida. O consumidor irá ressarcir a distribuidora pelos custos de adequação do sistema de medição.

Para os critérios técnicos estão a necessidade de projeto das instalações, que faz com que o consumidor interessado tenha que contratar uma empresa especializada ou caso tenha conhecimento técnico elaborar ele mesmo. Um memorial descritivo das instalações também é requisitado. A distribuidora também fica responsável por qualquer obra necessária no sistema de distribuição que se mostre necessária para permitir a conexão do ponto de microgeração distribuída.

O quadro 2.1 Apresenta os passos a serem seguidos e sua responsabilidade no acesso a microgeração.²

²Retirado da cartilha de acesso a microgeração da ANEEL

Quadro 2.1. Passos a Serem Seguidos Para o Acesso à Microgeração Distribuída.

Responsabilidades	Do Acessante	Da Acessada
Solicitação de acesso com prioridade de atendimento de acordo com a ordem cronológica de protocolo.	X	X
Coleta de informações da unidade geradora junto aos microgeradores distribuídos e envio dos dados à ANEEL.		X
Dispensado de certificado de registro.	X	
Projeto das instalações de conexão.	X	
Documentos e informações solicitados pela distribuidora.	X	
Disponibilizar em sua página a relação de informações necessárias na solicitação de acesso.		X
Emitir parecer de acesso contendo as informações de acesso (conexão e o uso, requisitos técnicos).		X
Características do ponto de entrega, acompanhada das estimativas dos respectivos custos, conclusões e justificativas.		X
Características do sistema de distribuição acessado, incluindo requisitos técnicos, tensão nominal de conexão, e padrões de desempenho.		X
Os cálculos relativos à participação financeira do consumidor.		X
A relação das obras de responsabilidade da acessada, com correspondente cronograma de implantação.		X
As informações gerais relacionadas ao ponto de conexão, como tipo de terreno, faixa de passagem, características mecânicas das instalações, sistemas de proteção, controle e telecomunicações disponíveis.		X
O modelo de Acordo Operativo ou de Relacionamento Operacional para participantes do sistema de compensação de energia elétrica ou os modelos dos contratos a serem celebrados, quando necessário.		X
Eventuais informações sobre equipamentos ou cargas susceptíveis de provocar distúrbios ou danos no sistema de distribuição acessado ou nas instalações de outros acessantes.	X	
Compete à distribuidora a realização de todos os estudos para a integração de microgeração distribuída, sem ônus ao acessante, devendo informar à central geradora os dados necessários para a elaboração dos estudos que devem ser apresentados quando da solicitação de acesso.		X
O parecer de acesso deve ser encaminhado em até 30 (trinta) dias após o recebimento da solicitação de acesso.		X
Os contratos necessários ao acesso devem ser celebrados entre as partes no prazo máximo de 90 (noventa) dias após a emissão do parecer de acesso, quando aplicável.	X	X
A inobservância deste prazo por responsabilidade do acessante incorre em perda da garantia do ponto e das condições de conexão estabelecidas no parecer de acesso, exceto se um novo prazo não for pactuado entre as partes.	X	

2.4 FUNDAMENTAÇÃO ECONÔMICA

O objetivo dessa análise é agregar fundamentação estatística das variáveis econômicas mais relevantes no momento da decisão sobre a viabilidade do projeto. Dois caminhos podem ser tomados: O determinístico, onde os dados de entrada são perfeitamente conhecidos. O probabilístico, onde há incerteza na escolha e incerteza nas variáveis básicas. O uso das duas irá mostrar se a geração poderá gerar retorno, e caso positivo, quanto de retorno e em quanto tempo [18].

Uma maneira eficaz de avaliar a performance financeira do sistema fotovoltaico é uma metodologia de fluxo de caixa, onde o valor presente líquido (VPL) pode ser determinado para o sistema considerando a inflação sobre os anos de uso do equipamento. Esse método é eficaz pois o projeto é de longa duração e ele irá ajudar a verificar os fluxos de caixa em um valor equivalente no presente ano. A equação padrão para o cálculo do valor presente líquido é:

$$VPL = \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_o \quad (2.1)$$

Onde:

- FC_t é o fluxo de caixa no tempo t .
- t é o ano.
- N é o tempo de vida do sistema.
- i é a taxa acumulada do ano no IPCA.
- I_o o investimento inicial do projeto.

Se o valor de VPL for positivo, o projeto irá gerar retornos para quem investiu [19].

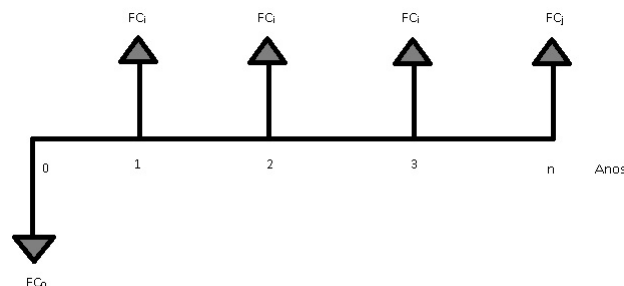


Figura 2.4. Demonstrativo do Valor Presente Líquido.

Fonte: Própria.

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto que iguala o VPL de um investimento a zero, em outras palavras, é a taxa de retorno para o investimento. Quando

se calcula a TIR de um projeto, ele será economicamente viável caso a taxa encontrada seja superior à taxa de retorno exigida pelo investidor, e inviável caso ela seja inferior. Quando se tem mais de um projeto disponível, o melhor será o que apresenta a maior TIR. Para se calcular a TIR, iguala-se a equação (2.1) a zero, chegando a:

$$I_o = \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (2.2)$$

A equação utilizada para calcular a TIR também é a mesma utilizada para calcular o PAYBACK, esse método consiste em determinar o tempo de recuperação do investimento, sabendo a taxa. O método do PAYBACK é utilizado em complemento do VPL e da TIR.

Os métodos mostrados acima são de natureza determinística, após essa primeira análise, pode-se introduzir a incerteza no processo, que seria a introdução de mais de um valor observável para um dado parâmetro do projeto e não se pode estimar as chances de cada valor ocorrer, esses valores observados na análise da incerteza muitas vezes são chamados de estados da natureza. Apesar de pouco se conhecer sobre os dados de entrada, algumas ferramentas estatísticas podem ser utilizadas para ajudar a validar o investimento. Os mais comuns são a média, variância e valor esperado. A variância em relação a média é calculada da seguinte forma:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2 \quad (2.3)$$

Com frequência se tira a raiz quadrada da variância para se obter o desvio padrão, uma grandeza na mesma unidade da média.

Quando se analisa um investimento sob condição de incerteza, varias alternativas surgem e se torna difícil opinar em uma. O retorno esperado de um ativo com risco representa a média dos vários resultados esperados com a sua devida ponderação pela probabilidade atribuída aos valores.

$$E(N) = \sum_{k=1}^N (P_k \times R_k) \quad (2.4)$$

Onde:

Em = Valores médios esperados relativos às várias estimativas no período N.

Pk = Probabilidade de m estimativas no período k.

Rk = Valores de m estimativas de cada contribuição em cada período n.

Assim, o uso da distribuição normal, representado na Figura 2.5, para termos a função densidade de probabilidade (DFP) e posteriormente verificar a probabilidade de ganho ou de perda. Fazendo uma padronização em função de Z, pode-se utilizar uma

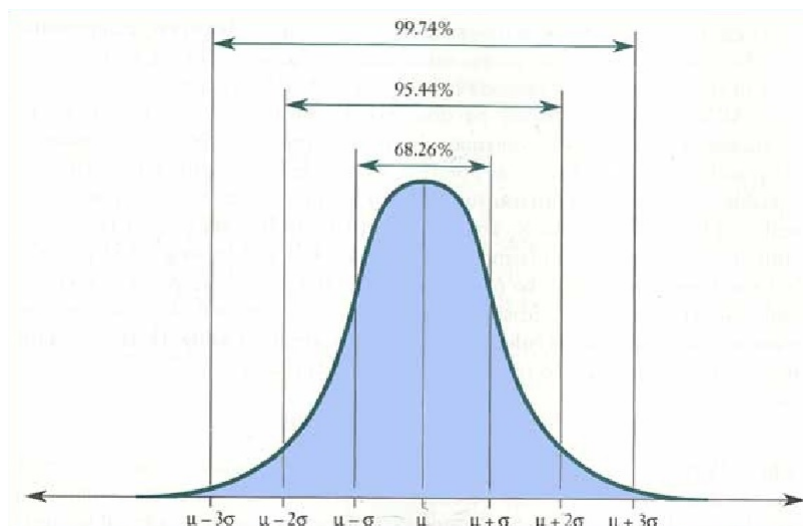


Figura 2.5. Curva Normal.
 Fonte: Probability & Statistics. Jay L. Devore.

tabela de áreas da curva normal padronizada, Z é calculado através da equação:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (2.5)$$

Onde:

X = Valor esperado.

μ = Média.

σ = Desvio Padrão.

2.5 IMPACTO DE MICROGERAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

No momento em que pequenas centrais geradoras dispersas começam a acessar as redes de distribuição, a central começa a perder em certo nível, o controle que ela tinha sobre o funcionamento da linha, um dos pontos cruciais para as distribuidoras é com relação a segurança da rede de distribuição. Algumas solicitações de natureza elétrica que os isoladores da linha de transmissão estão submetidos e devem resistir são os momentos de tensão mais elevada, esses momentos podem ser sobretensões em frequência industrial; surtos de sobretensão de manobra, que apesar de ser uma sobretensão controlada, podem chegar de 3 a 5 vezes a tensão normal de fase; e a mais imprevisível de todas, as sobretensões de origem atmosférica que apresentam um carácter variado e alcançam valores muito altos comparados a operação normal da linha [23]. A introdução de média e baixa tensão na geração distribuída traz consigo novas questões técnicas para a opera-

ção, elas incluem o controle da tensão, isoladores e componentes de proteção, níveis de curto-circuito, operação ilhada, entre outros [24].

A microgeração solar apresenta um caráter intrínseco de intermitência, sendo ele composto de uma parte previsível, seguindo o ciclo solar diário, e uma parte aleatória, que está relacionada com nuvens no local. Essa característica intermitente tem um efeito direto no controle de tensão, já que ela vai variar ao longo do dia. Para melhor entender o problema, a Figura 2.6 ilustra o fluxo de energia, que é dividido em vários níveis: Geração, linhas de interligação, rede de transmissão, rede de subtransmissão, rede de distribuição [23].

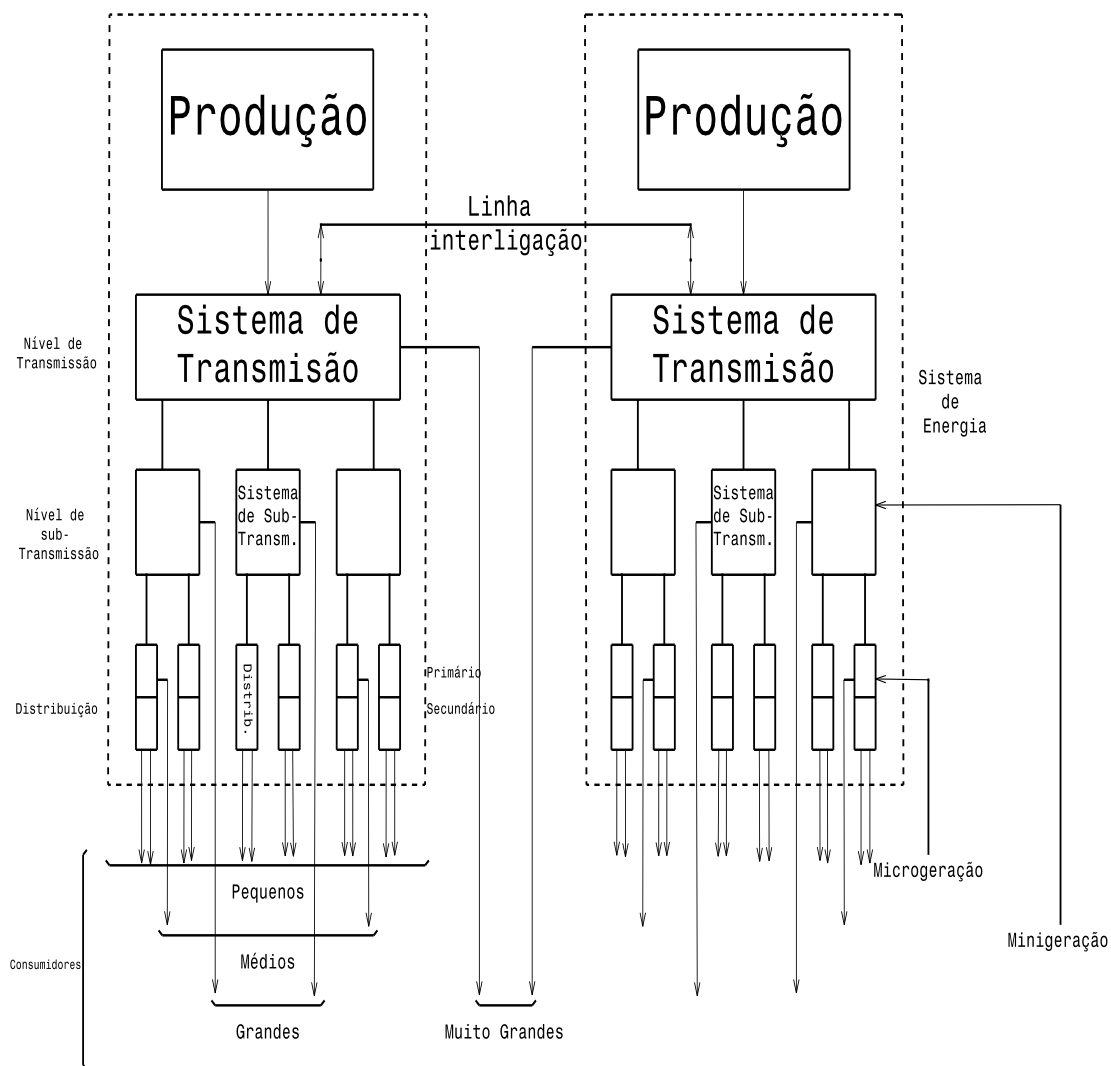


Figura 2.6. Estrutura simplificada de um sistema interligado com micro e minigeração distribuída. Adaptado de [23], pág. 4.

O fluxo de potência no nível de distribuição acontece da subestação para as cargas, sendo a tensão controlada por meio de reguladores de tensão nos vários pontos dos alimentadores. Assim nos pontos de geração distribuída, os momentos onde a fonte sofre surtos

de geração (em uma janela entre as 11 horas e 15 horas para o ciclo solar diário) a direção do fluxo de potência na rede pode seguir em sentido contrário [24]. Isso provoca variações na tensão do transmissor da rede, isso torna o método de controle usado atualmente menos eficaz, já que todos os pontos da rede precisam estar em um valor operacional, e não apenas os pontos de distribuição como é comum se ver. Isso necessita uma classe de reguladores de tensão mais sofisticados, que se adaptam a situação de intermitência. Esses sistemas também devem ser capazes de detectar ilhamentos, já que os níveis de corrente de defeito podem ser alteradas devido a geração distribuída, caso esse fato seja ignorado, as equipes de manutenção e a rede se tornam vulneráveis [24].

Mas as microcentrais geradoras também podem trazer benefício à rede, a redução nas perdas de energia ativa. Esse dado é explicado pelo fato de que quando se instalam microgeradores em locais próximos aonde se está consumindo a energia, a corrente que flui nos ramos da rede sofre diminuição, conhecido o fato que as perdas de energia ativa por efeito Joule são diretamente proporcionais ao quadrado da corrente que transita pelo condutor, quando se reduz a corrente, se reduz as perdas. Também é visto uma ligeira redução nas perdas de energia ativa para as redes de média tensão, mas inferior à de uma de baixa tensão nas mesmas condições, devido ao fato da rede de média tensão estar mais distante dos consumidores [25]. Com relação às perdas reativas, um cenário parecido acontece com as perdas ativas, entretanto, as perdas reativas alcancem maiores valores globais, assim, os valores das perdas reativas caem com o aumento da microgeração, esse fenômeno é explicado de maneira análoga às perdas ativas: a microgeração está localizada logo aonde a energia é consumida, causando um menor número de correntes circulando na rede [26]. O benefício trazido pela introdução da microgeração ganha um cenário inverso quando os valores de penetração se tornam elevados, aumentando a percentagem de carga nos ramos, os valores de penetração em que esse efeito se torna crítico não estão bem definidos e também variam de acordo com a linha e com a proximidade do barramento da microgeração com os ramos [26].

2.5.1 Harmônicos na Rede de Distribuição

Deformações nas formas de onda das tensões e correntes quando comparadas com uma onda senoidal de frequência fundamental são definidas como distorções harmônicas [17]. A seção 3.2 do PRODIST trata os critérios técnicos e operacionais mínimos que os projetos de acesso ao sistema de distribuição devem atender. Dentro dos critérios gerais, estão a tensão de conexão, fator de potência no ponto de conexão, forma de onda e amplitude da tensão e o sistema de proteção. Tomando foco na forma de onda e amplitude de tensão, o PRODIST determina que o acessante deve garantir que os valores de referência ficarão dentro dos estabelecidos em regulamentação para os seguintes parâmetros:

- a) distorções harmônicas;

- b) desequilíbrio de tensão;
- c) flutuação de tensão;
- d) variações de tensão de curta duração;

As distorções harmônicas totais para uma tensão nominal do barramento menor que 1 kV não deve ultrapassar 10% do valor da tensão fundamental, além de se obedecer valores das distorções harmônicas individuais [17].

A influência do desvio harmônico na rede de distribuição não é visível imediatamente, mas pode ter serias consequências no longo termo, a sobrecarga da instalação elétrica do acessante e dos elementos do sistema de potência devido às frequências de ordem elevadas; aumentar o aquecimento nos transformadores causados por harmônicas de ordem elevadas somado com efeitos de saturação no núcleo do transformador; e condições de ressonância nos bancos de capacitores [27]. O perfil harmônico da corrente pode indicar possíveis perigos à rede de distribuição causados pela geração distribuída, para o caso de uma planta de geração fotovoltaica, períodos de baixa geração elevam bruscamente os valores da distorção harmônica total de corrente, tendo o efeito contrário quando a potência produzida é alta, entretanto, essa mesma correlação não pode ser encontrada para harmônicos de voltagem [27]. Como a regulamentação do PRODIST não trata de efeitos harmônicos na corrente, esse fenômeno pode causar danos aos equipamentos como capacitores e transformadores, sendo necessário métodos mais eficazes de controle e verificação desse efeito pela distribuidora.

3 A VIABILIDADE DE MICROGERAÇÃO SOLAR.

Este capítulo está destinado a apresentar os resultados preliminares obtidos na primeira etapa de projeto físico e mostrar o caminho a se tomar para evoluir ao ponto de produto, assim como as suas técnicas de análise e como foi feito o design dos parâmetros iniciais do projeto e os instrumentos que foram utilizados para a finalização do projeto.

3.1 LOCALIDADE E JUSTIFICATIVA DA FONTE

3.1.1 Localidade

A região administrativa de Santa Maria foi criada em 04 de novembro de 1992, por meio da lei 348/92, e regulamentada pelo Decreto n°. 14.604/93, que a constituiu na XIII RA do DF. O número de domicílios urbanos estimados pela codeplan em 2011 foi de 30.464 e, considerando que a população urbana estimada é de 115.607 habitantes, a média de moradores por domicílio urbano é de 3,79 pessoas. Na região, 91,9% das construções são permanentes. O tipo de residência predominante na localidade é a casa, que corresponde a 93,1% do total das moradias e somente 6,2% a apartamentos [28]. Desde a efetivação da Resolução Normativa n° 482, dados da ANEEL não mostram a presença de nenhuma microcentral ou minicentral geradora ligado à rede na cidade, devido a predominância de casas na região, o uso da microgeração distribuída como um método de redução da tarifa de energia elétrica pode ser bastante explorado. A delimitação da região de estudo é mostrada na Figura 3.1.



Figura 3.1. Delimitação da região central de Santa Maria.
Fonte: Adaptado da ferramenta Google Maps.

3.1.2 Fontes Energéticas e suas potencialidades

Essa seção irá comentar sobre as diferenças de potencialidade entre as energias eólica e solar, durante o processo de pré-projeto essa seção foi a primeira a ser construída, a partir da sua análise que foi escolhida a fonte empregada na microcentral geradora como solar, os motivos são apresentados adiante.

Segundo a Resolução Normativa nº 482, para a implementação de microgeração distribuída é necessário a fonte ser de base hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. Devido a geografia da RA escolhida, fontes de base hidráulica estão presente apenas em pontos isolados, salvo casos específicos, essa fonte não é plena e logo descartada. Apesar dos processos de geração a partir de biodigestores e cogeração qualificada mostram alta eficiência e confiabilidade, a Resolução Normativa nº 235/2006 que estabelece as diretrizes para cogeração qualificada determina que para a solicitação de qualificação é necessário uma série de requisitos técnicos assinados por um engenheiro responsável, essa exigência encarece os custos e no universo de microgeração para pequenos comerciantes, a opção não se torna viável. Ao observar o Atlas do Potencial Eólico do Brasil, Figura 3.2, é possível ver que o Centro-Oeste está entre as áreas com baixa velocidade média de ventos, esse fator é diretamente proporcional à eficiência de turbinas, o que dificulta a rentabilidade do sistema além da dificuldade de erguer as torres para a turbina em meio residencial, onde a alocação das casas não cria grandes espaços entre elas.

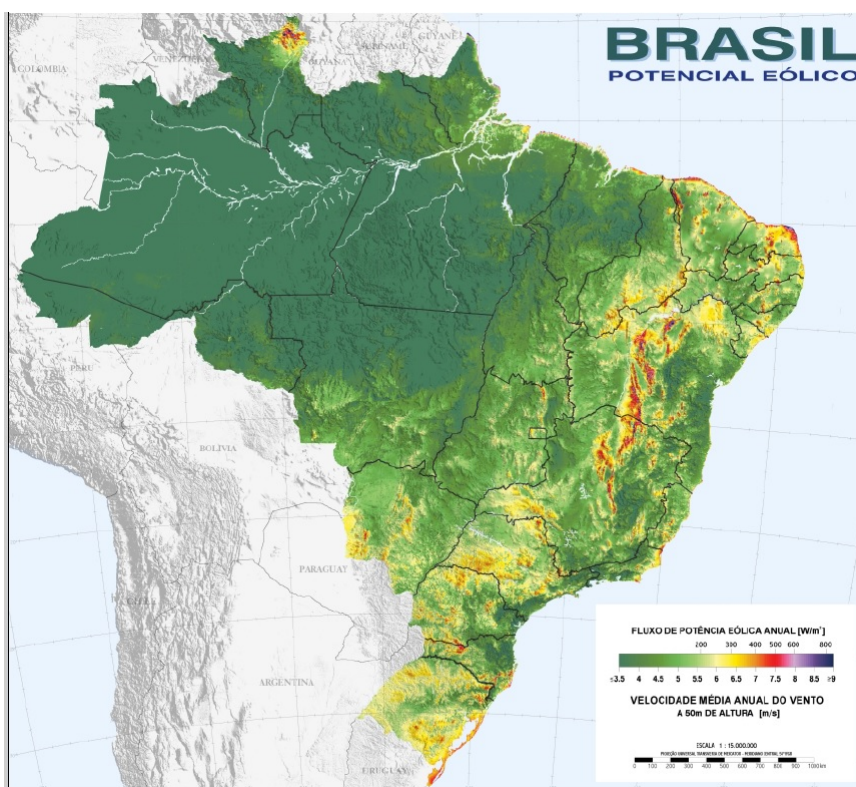


Figura 3.2. Fluxo de Potência Eólica Anual. Retirado de [29].

A base para a análise solar de uma região é o mapa de incidência solar. A partir

dos dados obtidos no atlas do potencial solar Brasileiro, é possível ver que o Centro-Oeste é uma área com uma alta radiação média, com disponibilidades inferiores apenas à região nordeste do país. Como descrito nas Figuras 3.3 e 2.2 somado ao fato da região administrativa de Santa Maria ser constituída majoritariamente por residências, a cidade apresenta as condições ideais para a instalação de painéis fotovoltaicos ligados à rede como um método para redução da tarifa paga pela energia elétrica.

A Figura 3.3 mostra que o centro-oeste está em uma área com uma alta incidência solar ao longo do ano, e somado ao fato que a variabilidade média anual de incidência solar no DF apresenta valores em torno de 25%, o que é um bom indicador da constância de incidência ao longo do ano para o Centro-Oeste, assim como a variabilidade interanual, que ao contrário da região Sul que apresenta uma alta variabilidade, a região Centro-Oeste mostrou baixa variabilidade interanual [7].

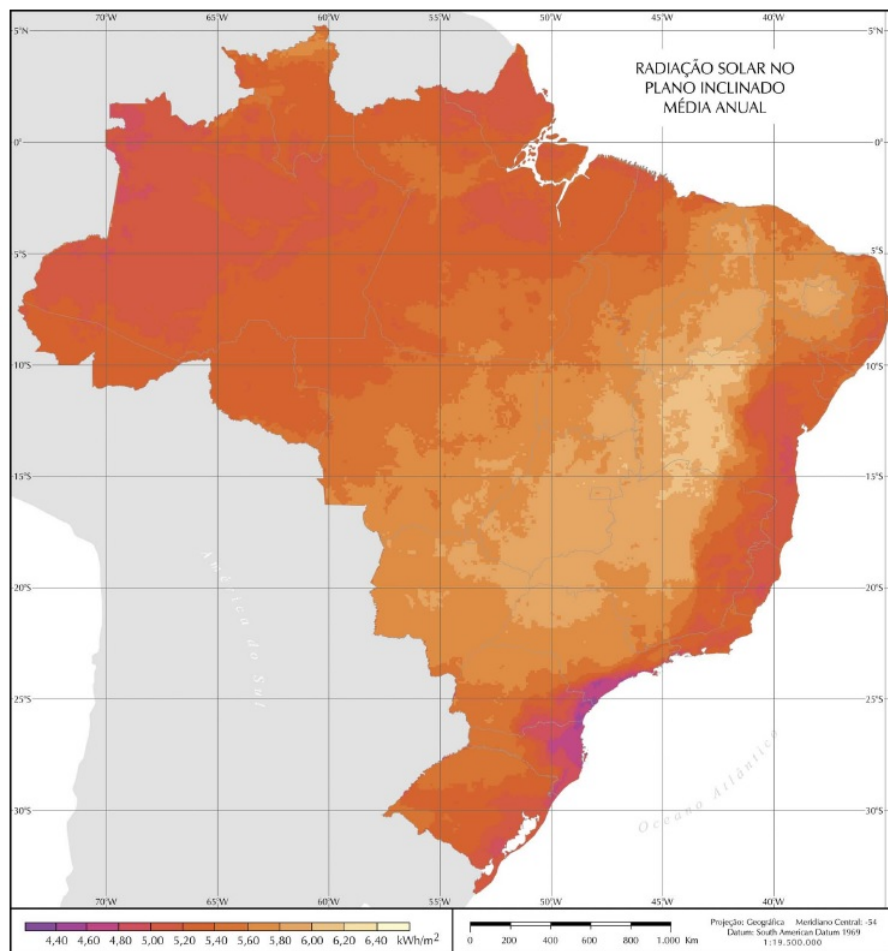


Figura 3.3. Radiação Solar no Plano Inclinado Média Anual. Retirado de [7].

3.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para o cálculo de viabilidade foram considerados os dados do custo da instalação, preço da energia elétrica, tempo de retorno de investimento, o fluxo de caixa e também indicadores e índices, como por exemplo a rentabilidade da poupança e a o valor da inflação.

Para o cálculo da viabilidade do projeto, do tempo de retorno e da probabilidade de ganhos e perdas, foram aplicados sistematicamente as equações apresentadas na seção 2.4, o primeiro passo é definir o custo inicial do investimento (vide Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Estimativa de Custos do Projeto.

Componente	unitário	quantidade	total
célula solar	499,28	7	3494,93
ferragem	50,00	7	350,00
Silicone	15,00	2	30,00
Solda	50,00	1	50,00
bus bar	8,69	1	8,69
tabbing wire	10,00	1	10,00
caneta de fluxo	10,00	1	10,00
Vidro	56,07	14	784,98
Filme de EVA	85,11	2	170,22
Presilhas	10,00	7	70
Inversor	4086,41	1	4086,41
Medidor	150	1	150
Total			9215,23

A Tabela 3.1) apresenta os custos preliminares do projeto, esses custos foram levantados por meio de orçamento em lojas de construção e ferragens. No capítulo 4 os custos reais do projeto após a sua finalização são apresentados, o objetivo da construção da tabela nos dois momentos é verificar a variação entre o valor orçado e o custo real, e verificar assim também a quantidade de itens que foram esquecidos durante a fase de planejamento.

Abaixo são mostradas as variáveis necessárias para o cálculo do fluxo de caixa, *Payback* e valor presente líquido (VPL).

- $I_0 = R\$ 9.215,23$;
- $t = 6$ anos (vida útil mínima);
- $i = 9\%$ ao ano para os primeiros 3 anos, 8% a.a para os 3 anos seguintes e 7% a.a. para os anos posteriores;¹
- FC_t é variável de acordo com o ano, o cálculo usado será

¹baseado no IPCA acumulado do ano, valor divulgado pelo IBGE

$$FC_t = 12 \frac{mes}{ano} \times CE \frac{R\$}{kWh} \times CM \frac{kWh}{mes} \times (1,03)^t \quad (3.1)$$

Onde:

- CE = Custo da Energia em Reais por kWh;
- Consumo Médio em kWh por mês.
- Considerando um aumento de 3% ao ano no custo da energia elétrica.

Assim uma série de FC_t 's será gerada, a Tabela 3.2 ilustra o valor para os primeiros anos.

Tabela 3.2. Previsão de fluxo de Caixa nos Primeiros 15 Anos.

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
FCt (R\$/ano)	1973,95	2033,17	2094,17	2156,99	2221,70	2288,35	2357,00	2427,71	2500,55	2575,56	2652,83	2732,41	2814,39	2898,82	2985,78
FCt em t=0	1810,97	1711,28	1617,08	1585,45	1512,05	1442,05	1467,82	1412,95	1360,13	1309,29	1260,34	1213,22	1167,87	1124,21	1082,18

Pela equação (2.1) se calcula o VPL, resultando em:

$$VPL = R\$ 463,66$$

pela equação (2.2) a TIR:

$$TIR = 14\%$$

Esse valor de taxa interna de retorno é superior à taxa interna exigida, sendo assim esse investimento é economicamente atrativo. Como apresentado na seção 2.4, o Payback é uma importante ferramenta de análise sobre o retorno de um investimento, ele estima o tempo que o investimento irá se pagar, quando se tem mais de um investimento em mãos, dá-se preferência ao investimento que possui o menor Payback. O tempo de *Payback* é calculado em:

66 meses, ou seja, 5 anos e 6 meses.

Como o valor do VPL é maior que zero, o investimento terá retorno, o tempo utilizado é de 6 anos, caracterizando um investimento de longo prazo.

Esses valores formam a chamada análise determinística, entretanto, valores aleatórios estão inerentes em qualquer investimento real, então uma tabela de estados da natureza é montada para uma análise probabilística. A tabela é mostrada abaixo:

Tabela 3.3. Tabela de Probabilidades.

Variável	Mínimo	Provável	Máximo	Unidade
Tempo de Vida Útil	6	20	35	Anos
Tarifa de Energia	0,3	0,6	0,8	R\$/kWh
Taxa de Investimento fixo	7	8	10,9	% a.a.
Demanda por Energia	220	270	310	kWh/mês
Manutenção Preventiva	50	70	100	R\$/Ano
Manutenção Corretiva	0	0	5000	R\$

Média: R\$ 16.364,03
 Desvio Padrão: R\$ 17.998,12
 Probabilidade de Ganho: 81,8%
 Probabilidade de Perda: 18,2%

Um investimento com essa probabilidade de ganho é satisfatório, e para fazer uma comparação quantitativa, uma simulação de um investimento simples no valor inicial do projeto, com rendimento anual fixo em poupança. A tabela de rentabilidade de caixa e valor no tempo zero é mostrado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Comparação de Aplicação em Poupança contra Investimento em P.V.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Montante em t	9215	10044,4	10948,3	11933,7	13007,7	14178,4	15454,5	16845,4	18361,5	20014	21815,3
Montante P.V.	-9215	-7404,03	-5692,75	-4075,67	-2490,22	-978,164	463,887	1931,71	3344,66	4704,79	6014,08
Rendimento P.V.	0	2640,32	5255,59	7858,02	10517,5	13200,3	14990,6	14913,7	15016,8	15309,2	15801,2

Comparado o valor do investimento no sistema solar fotovoltaico com o investimento em fundo fixo, a análise verifica que a taxa de ganho médio para o investimento na poupança é superior ao do sistema fotovoltaico mesmo após a quitação do investimento no sistema solar, sendo a aplicação um melhor investimento caso se leve em conta apenas o fator econômico. Tal fato pode ser explicado pelo cenário atual do mercado brasileiro, onde os valores de produtos de alta tecnologia estão em alta, e os impostos praticados para importações estão também em alta, o que eleva substancialmente o valor de implantação do sistema de energia solar.

3.3 ORIENTAÇÃO SOLAR E INCLINAÇÃO DAS PLACAS

Os raios solares são ondas eletromagnéticas paralelas entre si que chegam à terra em linha reta, como foi visto na Figura 2.1, ao penetrar a atmosfera os raios solares sofrem dispersão, sendo que uma parte é absorvida, uma parte é desviada em direção aleatória, mas a maioria continua em trajetória em linha reta. Devido ao movimento de translação da terra, a radiação direta incide no solo com uma inclinação diferente ao longo dos dias e meses do ano, além de incidir em ângulos diferentes de acordo com a posição no planeta. Apesar dessa variação, pode-se maximizar a captação da radiação direta em um determinado ponto ao se instalar a placa de maneira correta para a região. A instalação correta deve considerar o movimento diário do Sol [15].

A melhor maneira de instalar um módulo solar fixo em cidades abaixo da linha do equador (sem nenhum sistema que faça o monitoramento da posição do sol) é orientá-lo com a face coletora voltada para o norte geográfico. Assim o tempo de incidência dos raios solares sobre a face coletora é maximizada, tendo uma incidência máxima ao meio-dia solar, já que o ângulo do raio solar com a normal da placa será zero. Para cidades

acima da linha do equador o painel deve ficar orientado para o sul geográfico. Uma técnica para descobrir o norte geográfico é utilizar uma bússola, que sempre ficará alinhada no sentido das linhas de campo magnético da terra, e assim fazer um ajuste utilizando um mapa de ângulos de correção, já que o norte geográfico nem sempre irá coincidir com o norte magnético encontrado na bússola [15]. O mapa de ângulos de correção se encontra no apêndice 4.4.

O ângulo dos raios solares com relação ao plano do equador se denomina declinação solar. A maneira que os raios solares incidem sobre a superfície terrestre vai depender da posição do Sol no céu. A Figura 3.4 apresenta como os raios incidem sobre uma placa solar em um telhado de inclinação fixa em três momentos do solstício de inverno de 2015. Como a placa será posicionada na mesma direção que o norte geográfico, o ângulo azimutal será o mesmo que o ângulo dos raios solares com a normal na placa. O ângulo θ pode ser calculado utilizando a equação:

$$\cos(\theta) = \cos(\alpha_s) \times \cos(\sigma) \times \sin(\beta) + \sin(\alpha_s) \times \cos(\beta) \quad (3.2)$$

Onde:

α_s = Altitude Solar.

β = Inclinação da Superfície.

σ = Diferença entre o Azimute Solar e o da Superfície ($\gamma_s - \gamma$).

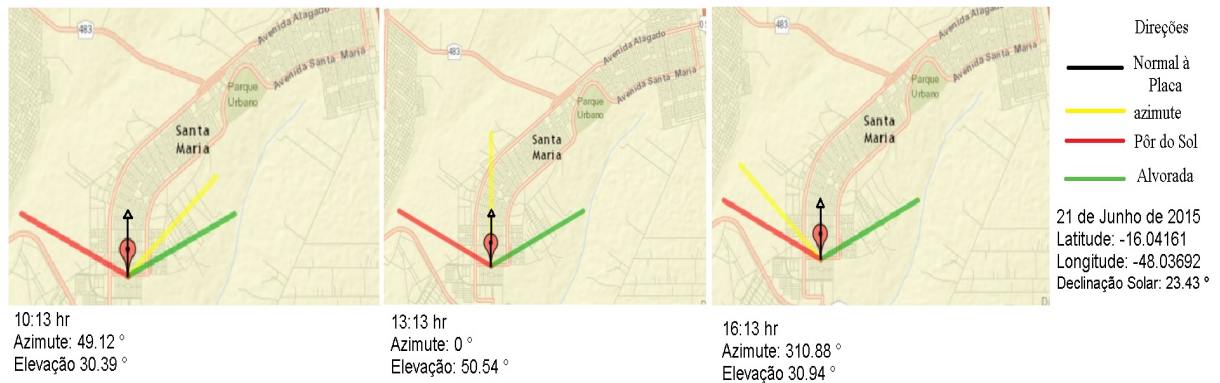


Figura 3.4. Incidência Solar ao longo das horas no Solstício de Inverno.

Fonte: Adaptado de [31].

Ao passar dos dias, a altura solar varia e a placa recebe os raios solares em um ângulo diferente, como o fluxo total de radiação na superfície é dado por:

$$I_t = I_D N \times \cos(\theta) + I_d + I_r \quad (3.3)$$

Onde:

I_t = Fluxo total de radiação na superfície (W/m^2)

IDN = Fluxo de radiação direta do sol (W/m^2)

θ = Ângulo de incidência ($^\circ$)

Id = Fluxo de radiação difusa do céu (W/m^2)

Ir = fluxo de radiação refletida (W/m^2)

O cosseno do ângulo de incidência do raio solar (com a normal da placa) é diretamente proporcional ao fluxo total de radiação, tendo seu maior valor quando esse ângulo é zero. Por isso a escolha correta da inclinação da placa solar é essencial. O livro *Energia Solar Fotovoltaica, Conceitos e Aplicações* traz um guia para a escolha do ângulo de inclinação, em Brasília, a latitude é de 15° , segundo o livro, entre 11° e 20° o ângulo é o mesmo da latitude, logo a placa deverá ter um ângulo de 15° para maximizar a captação de energia ao longo do ano.

Como a placa será instalada sobre um telhado, se faz lógico verificar a inclinação do telhado para possíveis ajustes. As medidas do telhado são mostradas a seguir. Como pode ser visto, a inclinação do telhado é bem próxima da inclinação recomendada para a placa, logo apenas um pequeno ajuste é necessário na posição final das placas.

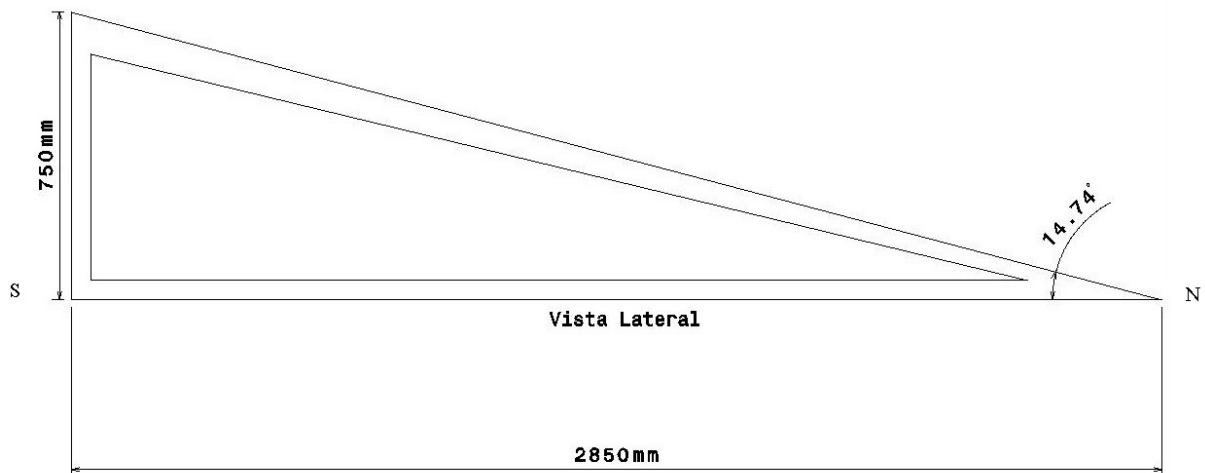


Figura 3.5. Representação Lateral do Telhado.

Fonte: Própria.

Utilizando os dados das Figuras 3.4 e 3.5, se pode aplicar a equação (3.2) e calcular o ângulo que os raios solares incidiriam nos 3 momentos sobre as placas.

[10:13]; $\cos(\theta) = 0,633$;

[13:13]; $\cos(\theta) = 0,908$;

[16:13]; $\cos(\theta) = 0,640$;

Pela equação (3.3) é possível verificar que durante o meio dia solar o fluxo total de radiação na superfície atinge o maior valor do dia.

3.3.1 Sombreamento e manutenção

O efeito de sombreamento ou falha em uma ou várias placas pode fazer com que essas células apresentem uma corrente de curto circuito muito menor que o resto das células na série, se elas são forçadas a passar uma corrente maior que suas capacidades de geração, elas podem começar a conduzir corrente inversa e começar a consumir potência ao invés de gerar, e ainda mais preocupante, pode danificar toda a placa. Muitas vezes o efeito de sombreamento não pode ser evitado, já que alguns fatores estão fora de controle do responsável pela instalação, como pode exemplo postes de iluminação pública, linhas da rede de distribuição, caixas d'água, árvores na rua ou até as residências vizinhas. Cabe ao projetista analisar o local da instalação para fazer o melhor uso possível do espaço e evitar elementos que possam sombrear as placas.

Testes mostram que um número seguro de células de silício em série para evitar que a tensão se eleve tanto a ponto de danificar o conjunto fica em torno de 15 a 20 células [30]. Entretanto a placa que será montada terá um total de 48 células em série, a abordagem para contornar esse problema será o uso de um diodo de bypass em paralelo, mas em polaridade revertida, com um conjunto de células. A prática será de colocar os terminais de conexão não apenas para os extremos da série, mas também para pontos intermediários, assim os diodos ficam conectados a cada 24 células. Como esquematizado na Figura 3.6.

Para a redução de sombreamento houve o mapeamento dos pontos de telhado onde o efeito pode ocorrer, assim como a análise pela calculadora solar [31] do caminho que o sol percorre, assim a melhor posição para as placas pode ser determinada no telhado.

As placas são a parte mais sensíveis do sistema aos acasos do ambiente, o acúmulo de poeira bloqueia os raios solares na placa, assim como insetos ou fezes de pássaros, por isso a limpeza rotineira das placas é necessária. Checar as condições elétricas das placas também é importante e pode ser realizada algumas vezes por ano, identificar placas danificadas e retirá-las do sistema ajuda a manter a sua integridade como um todo, já que uma placa danificada pode trazer um efeito de cascata e danificar outras placas. A avaliação do desempenho das placas e do sistema como um todo também pode ser feito pelos dados provenientes do inversor, caso ele possua software de monitoramento, e também pelos dados que constam na conta de luz, onde deverá discriminar os dados de consumo e geração.

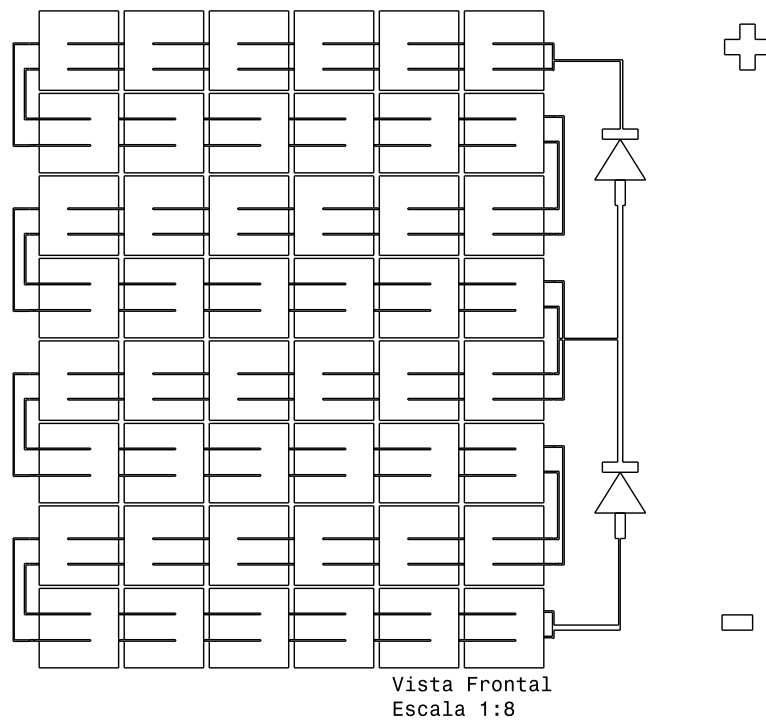


Figura 3.6. Esquema da Proteção por Diodos.
Fonte: Própria.

4 RESULTADOS

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DE MICROGERAÇÃO EM COMÉRCIOS

Para a implementação da microgeração em comércios, uma série de etapas precisam ser desenvolvidas. As etapas para a regulamentação perante os órgãos de fiscalização foram expostos na seção 2.3.1, para dar continuidade, os passos anteriores e posteriores à regulamentação são aqui discutidos.

4.1.1 Iniciando o Projeto

O projeto se inicia com o levantamento dos dados sobre o consumo médio do comércio, muitas vezes o consumidor sabe o consumo médio de sua residência e comércio pois a conta de luz já fornece dados médios de consumo, entretanto, ele não sabe como relacionar isso com uma potência de instalação para o projeto.

Para ter um melhor entendimento da demanda do comércio, a curva de consumo de energia foi monitorada continuamente durante 24 horas. Assim foi possível plotar o gráfico abaixo, que relaciona o consumo ao longo do dia.

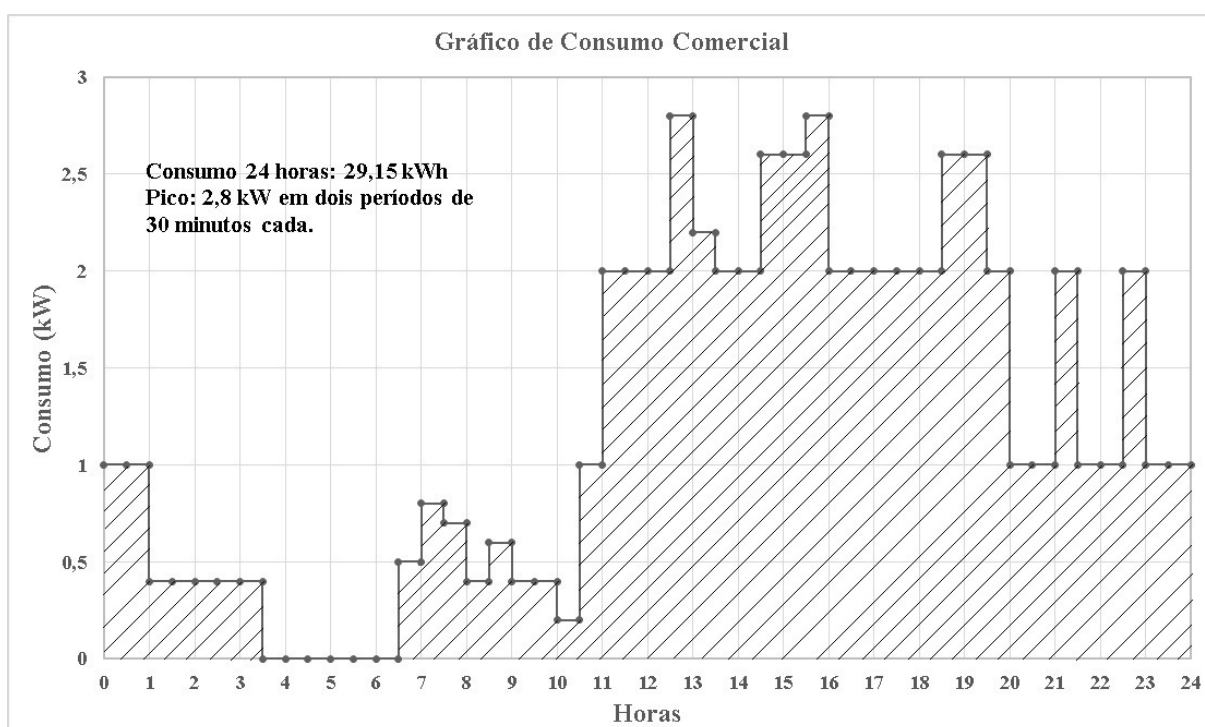


Gráfico 4.1. Gráfico de Consumo de Energia Elétrica do Comércio Estudado.
Fonte: Própria

Como pode ser visto, o comércio possui consumo após as 18 horas, como é o caso em padarias e supermercados. Entretanto, essas são exceções, no geral o horário comercial se estende até as 18 horas.

Além disso, o comércio foi monitorado por 17 dias contínuos, levantando assim a sua demanda ao longo dos dias e verificando as variações entre a demanda da semana e do fim de semana. Esse gráfico demonstra o quão próximo da demanda real o projeto ficou, se o valor injetado na rede fosse muito maior que o valor demandado, o projeto estaria superdimensionado, sendo um desperdício de dinheiro, caso a quantidade gerada ficasse muito abaixo da demandada, o projeto estaria subdimensionado e assim a disponibilidade dos recursos naturais não estaria sendo utilizados em sua plenitude.

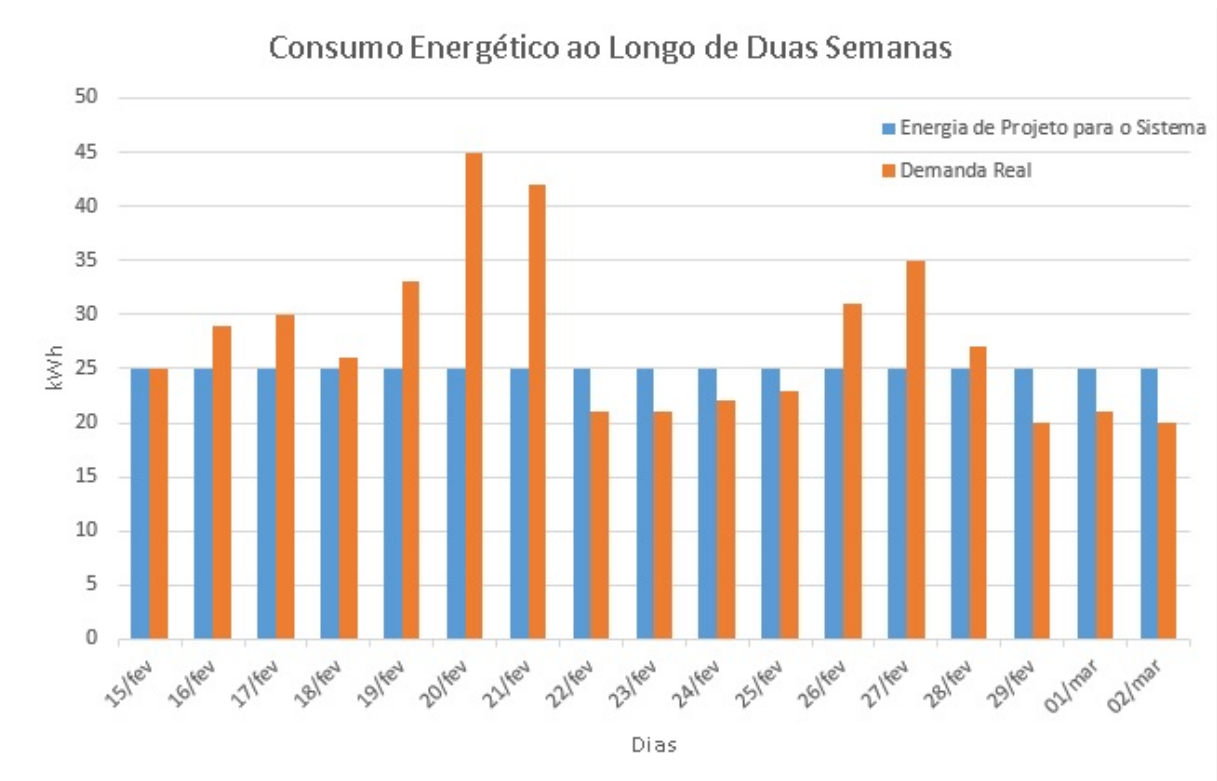


Gráfico 4.2. Gráfico de Consumo de Energia Elétrica do Comércio Estudado ao longo de duas semanas. Fonte: Própria

Após o levantamento da demanda do local de instalação é necessário relacionar esse valor de demanda com o tamanho do sistema fotovoltaico. Abaixo a metodologia de cálculo é explicada. Todas as bases de dados consultadas são de livre acesso.

4.1.2 Desenvolvimento da Metodologia de Cálculo

O cálculo da potência instalada em base solar considera alguns fatores como:

- Consumo do comércio;
- horas de incidência solar na região;
- área de telhado disponível para a instalação;
- incidência solar na região;

O primeiro passo será verificar o número médio de horas de incidência solar na região, uma tabela será criada com os valores para o primeiro e décimo quinto dia de cada mês.

Tabela 4.1. Horário de Nascer e Pôr do Sol em Santa Maria - DF. Retirado de [31].

Dia	Nascer do Sol	Pôr do Sol	Duração do Dia Solar
01/jan	05:44	18:48	13:04
15/jan	05:52	18:51	12:59
01/fev	06:02	18:50	12:48
15/fev	06:08	18:45	12:37
01/mar	06:12	18:37	12:25
15/mar	06:15	18:27	12:12
01/abr	06:18	18:14	11:56
15/abr	06:20	18:04	11:44
01/mai	06:23	17:55	11:32
15/mai	06:27	17:50	11:23
01/jun	06:33	17:47	11:14
15/jun	06:37	17:48	11:11
01/jul	06:40	17:52	11:12
15/jul	06:40	17:56	11:16
01/ago	06:36	18:01	11:25
15/ago	06:30	18:04	11:34
01/set	06:18	18:06	11:48
15/set	06:08	18:07	11:59
01/out	05:55	18:09	12:14
15/out	05:45	18:11	12:26
01/nov	05:35	18:16	12:41
15/nov	05:31	18:23	12:52
01/dez	05:31	18:31	13:00
15/dez	05:35	18:40	13:05
	Média Diária		12:06

Esses dados podem ser obtidos para todas as localidades a partir da calculadora solar do *Earth System Research Laboratory, U.S. Department of Commerce*. A base de dados é de livre acesso [31]. Com o consumo do comércio em mãos, calcula-se a potência consumida. Esse cálculo é feito pela equação:

$$P = \frac{C_m \times 1,000}{30 \times H} \quad (4.1)$$

onde:

P = Potência de consumo do comércio em watts.

C_m = Consumo em kWh.

H = Número médio de horas de incidência solar na região.

A potência P é a potência que as placas precisam suprir o comércio durante o tempo H de funcionamento para que haja a geração de potência necessária para também suprir a demanda no período $(24 - H)$ em que as placas não estão em funcionamento. Entretanto a potência que será instalada precisa ser ajustada a partir das outras duas variáveis restantes. A potência instalada será calculada a partir da radiação global média, que é um somatório da radiação direta e difusa para a região, esse dado pode ser obtido no Atlas da Energia Solar [7], para Brasília, esse valor fica em torno de $5,8 \text{ kWh/m}^2$, com esse valor podemos calcular a potência solar média que irá atingir a placa:

$$P_s = \frac{Cm \text{ kWhr}}{\text{dia} \times m^2} \times \frac{1\text{dia}}{24\text{hr}} \times \frac{1\text{hr}}{3600\text{s}} \times \frac{3,6 \times 10^6 J}{\text{kWhr}} \times \frac{24\text{hr}}{12\text{hr}} \quad (4.2)$$

P_s = Potência solar média.

Considerando a eficiência média de 20% para as placas comerciais, o valor de potência específica de conversão (P_{ec}) para a região por metro quadrado ficaria:

$$P_{ec} = 0,2 \times P_s \frac{\text{watts}}{m^2} \quad (4.3)$$

Assim a área necessária para o projeto é de:

$$A_p = \frac{P}{P_{ec}} \quad (4.4)$$

onde:

P_{ec} = Potência específica de conversão em watts/ m^2 .

A_p = Área necessária para o projeto.

Uma célula solar padrão de 156 mm por 156 mm gera uma potência máxima de 4,2 watts, isso equivale a 172 watts por metro quadrado de células solares.

$$P_p = A_p \times 172 \quad (4.5)$$

Logo, para que possa ser instalada a potência de projeto em sua plenitude, a seguinte equação precisa ser satisfeita:

$$P < 172 \times A_d \quad (4.6)$$

Onde:

A_d = Área disponível no telhado.

P_p = Potência de Projeto

Caso a equação não seja satisfeita, o melhor cenário seria em que toda a área disponível fosse instalada, ficando com um déficit de potência de pelo menos:

$$DP = P_p - 172 \times A_d \quad (4.7)$$

onde:

DP = Déficit de potência.

Cálculo do Projeto

O primeiro passo é levantar a quantidade de horas do dia solar para a região de Santa Maria - DF. Os dados estão apresentados na tabela 4.1, $H = 12$.

Em seguida, se consulta a conta de luz para saber o consumo mensal médio, no exemplo em questão, $C_m = 810$ kWhr/mês. Assim, aplicando a equação (4.1), considerando 1/3 do consumo médio (270 kWhr/mês) a ser suprido, se calcula:

$$P = 750 \text{ watts.}$$

O próximo passo é o cálculo da potência solar média usando a equação (4.2).

$$P_s = \frac{5,8 \text{ kWhr}}{\text{dia} \times \text{m}^2} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} \times \frac{3,6 \times 10^6 \text{ J}}{\text{kWhr}} \times \frac{24 \text{ hr}}{12 \text{ hr}} = \frac{483 \text{ watts}}{\text{m}^2} \quad (4.8)$$

assim, a potência específica de conversão é dada pela equação :

$$P_{ec} = 0,172 \times P_s = 83 \frac{\text{watts}}{\text{m}^2} \quad (4.9)$$

Em seguida, aplicando a equação (4.4):

$$A_p = \frac{750 \text{ watts}}{83 \text{ watts/m}^2} = 9 \text{ m}^2 \quad (4.10)$$

Finalmente, calcula-se P_p a partir da equação (4.5):

$$P_p = 172 \frac{\text{watts}}{\text{m}^2} \times 9 \text{ m}^2 = 1,55 \text{ kW} \quad (4.11)$$

Estima-se que a área disponível no telhado é de pelo menos 21 m^2 , satisfazendo a equação (4.6).

Utilizando a metodologia, para um consumo médio de 270 kWh/mês, se calcula uma potência de projeto de 1,55 kW em painéis solares, ocupando uma área efetiva de 9 m^2 .

Entretanto, pelo fato do inversor ser produzido apenas em potências bem definidas, encontra-se no mercado valores de 1,5 kW, 3 kW, 4,5 kW e superiores, o valor de projeto precisa ser modificado à um valor disponível no mercado. Uma solução para esse

problema seria a utilização de microinversores, que contam com valores de 200 watts e podem ser colocados em cascata de até 60 microinversores, dependendo do fabricante, proporcionando uma larga gama de combinações. Até o momento nenhum microinversor possui o selo do Inmetro requerido pela legislação na data de realização do projeto ¹, logo o inversor mais próximo do valor de projeto são os de potência nominal de 1,5 kW. Considerando que cada placa possui uma potência nominal de 200 watts, 7 placas podem ser utilizadas para gerar 1,4 kW e alimentar o inversor, verificando a ficha técnica do inversor no Apêndice 4.4, constata-se que o único arranjo possível para 7 placas alimentarem o inversor sem extrapolar a corrente máxima e sem o uso de equipamentos de regulação entre a placa e o inversor é uma configuração série como mostrada na Figura 4.3.

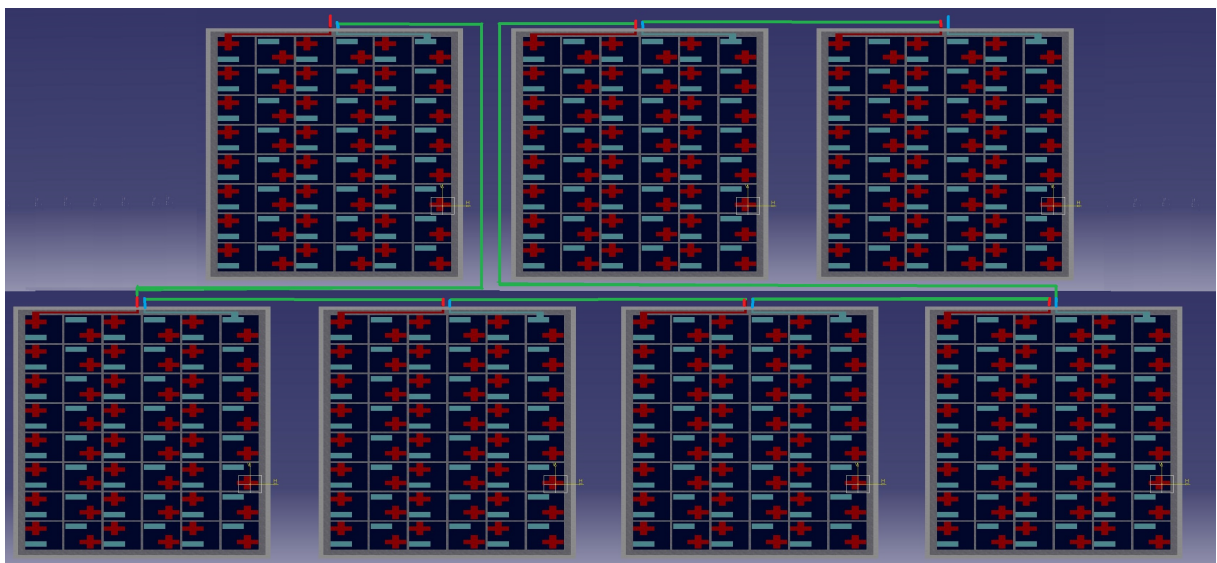


Figura 4.3. Configuração Elétrica Entre as placas solares

4.2 MANUFATURA DA PLACA

4.2.1 Lista de Equipamentos e Procedimentos de Escolha

O sistema é formado por blocos, em geral essa configuração de blocos pode ser alterada de acordo com a finalidade do sistema de geração, o fluxograma a seguir apresenta a visão geral do sistema proposto, com cada bloco representando um equipamento constituinte do sistema.

¹A consulta pode ser realizada diretamente no site do Inmetro



Figura 4.4. Diagrama de Blocos do Sistema.

A seguir a instrumentação é explicada.

Painel Fotovoltaico

O painel Fotovoltaico é construído a partir de blocos menores de outros equipamentos, eles são:

- Célula Solar.
- Quadro ou Frame.
- Conectores e barramentos.
- Isolantes.

Um pouco mais de cada bloco é descrito a seguir:

1. A célula solar, assim como foi descrita na seção 2.1.1, pode ser de vários tipos, células orgânicas ainda apresentam baixa eficiência e alto custo quando comparadas às células de silício, e se deu preferência para as células de silício. Dentre as de silício, as monocristalinas apesar de serem mais eficientes que as policristalinas, apresentam um custo superior às células policristalinas. Para exemplificar essa diferença a tabela 4.2 foi montada:

Tabela 4.2. Diferença Entre Célula Monocristalina e Policristalina.

Monocristalina			Policristalina		
# de células	Custo (USD)	Potência (W)	# de células	Custo (USD)	Potência (W)
1	2,29	4,64	1	1,55	4,2
91	208,39	422,24	100	155	420

Se o foco do projeto fosse minimizar a área ocupada para a potência de projeto, a célula monocristalina seria a melhor escolha, entretanto a prioridade ficou na redução de custos, por esse motivo a célula de silício policristalino foi escolhida, menor custo com uma eficiência muito próxima das células monocristalinas. Uma foto de uma célula policristalina é mostrada a seguir. O lado azul é o polo negativo e o lado cinza o polo positivo.



Figura 4.5. Célula Solar Policristalina.

Fonte: Hangzhou Sunmall.

Cada célula gera uma diferença de potencial de 0,5 Volt com uma corrente de até 8 ampères. Por motivos que serão explicados na subseção 4.2.1, o sistema como um todo necessita elevar sua diferença de potencial até no mínimo 120 volts. Para isso uma série de técnicas podem ser usadas, seja no arranjo das células ou pela utilização de aparelhos específicos.

2. Quadro é a armação que protege as células das adversidades do tempo. As placas estão expostas a poeira, chuva, insetos, etc. E essas situações danificam a placa. O quadro também tem a função facilitar as conexões elétricas e de fixar a placa solar junto ao telhado ou sua estrutura de repouso.
3. Conectores e barramentos são os responsáveis pelas conexões elétricas entre as células e posteriormente entre as placas, é de extrema importância que conectores estejam bem isolados para proteger a integridade da placa e os barramentos internos bem colocados, pois a interrupção de um barramento poderá tirar todo o sistema da rede elétrica.
4. O isolante é o elemento responsável por isolar as partes da placa entre si e também de vedar a estrutura. Um isolante comum é o adesivo de silicone.

Caixa de Junções

A caixa de junções é um contêiner para as conexões elétricas, o objetivo é a proteção dos componentes e das ligações, nele que terá a proteção por diodos e será feita a ponte entre os vários cabos, apesar de simples, a caixa de junções é um equipamento importante na proteção do sistema, promovendo proteção contra água, poeira e corrosão, elementos que encurtam a vida útil do sistema se não controlados de maneira adequada.

Inversor de Frequência

Dentre os modelos disponíveis no mercado para o inversor de frequência, se encontram os inversores de "onda senoidal verdadeira" e os de "onda senoidal modificada", a diferença entre os dois está na qualidade da onda senoidal gerada e no custo da instrumentação embarcada, como pode ser visto na Figura 4.6.

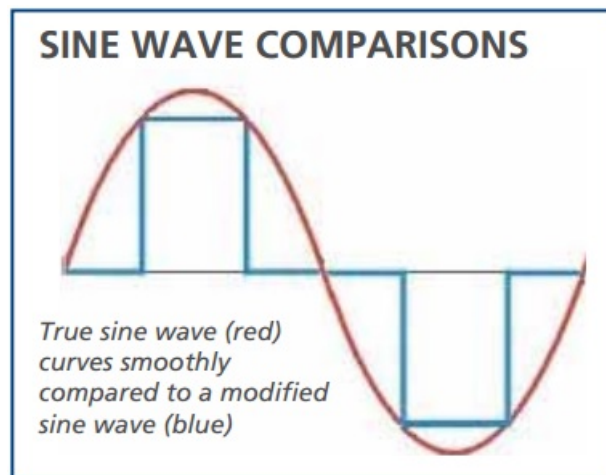


Figura 4.6. Diferença entre onda senoidal pura e modificada. Retirado de [32]

A escolha é baseada no módulo 8 do PRODIST, que estabelece que a distorção harmônica total de tensão (DTT), não pode ultrapassar 10% para tensão nominal no barramento menor que 1kV, assim a onda senoidal modificada é descartada. O modelo escolhido apresenta um valor de distorção harmônica total de no máximo 5%, ficando em conformidade com a qualidade da energia elétrica requerida. O contra do modelo escolhido é o maior custo. A ficha técnica do inversor pelo fabricante é mostrada no Apêndice 4.4.

4.2.2 Processo de Fabricação

A fabricação da placa se torna a parte mais demorada do processo, sem a devida automação a placa pode levar vários dias para ser construída. Nesse projeto foram trabalhados com duas construções de célula solar policristalina: Uma de faixa contínua e outra de faixa tracejada. Essa diferença construtiva não interfere na geração, mas sim no processo de fabricação: A célula tracejada pode ser bem aproveitada por soldas automatizadas de alta precisão. Se o processo de soldagem for feito à mão, a faixa contínua é mais rápida de se trabalhar.

Dimensão física

Pela quantidade de células que se pretende alocar em cada placa, foi determinado as dimensões da placa por meio de software CAD (catia).

Soldagem

Várias soldas foram ensaiadas a fim de determinar qual se encaixa melhor para a manufatura das placas, assim como o equipamento de solda também foi ensaiado.

Solda teste 1 - Solda de chumbo com diâmetro de 1 mm, a solda de chumbo emite fumaça tóxica, em função disso o local necessita de ventilação e o soldador necessita de máscara e óculos de proteção. A solda cria pequenas bolhas, criando pontos de tensão na placa, a conclusão que se chegou é que a solda de chumbo não é adequada para as placas solares.

Solda teste 2 - Solda laminar de cobre banhado em estanho, essa solda adere muito bem à superfície da placa, apesar da temperatura de fusão do estanho ser de 231,9 °C, cerca de 95,6°C a menos que a solda de chumbo, notou-se a necessidade de uma máquina de solda com potência nominal superior à necessária para o chumbo. A conclusão que se chegou é que a solda teste 2 é indicada para o uso em placas solares, mas não é a ideal.

Solda teste 3 - A terceira solda é uma adaptação da segunda solda, onde o mesmo material é usado, entretanto a superfície de contato entre o equipamento de solda e a lâmina de estanho foi alterada para uma maior superfície de contato, assim o calor se distribuiu mais rápido pela lâmina de cobre-estanho, tornando o processo mais rápido quando comparado ao processo 2. A solda teste 3 foi a que se mostrou mais adequada para a manufatura de placas.



Figura 4.7. Células Soldadas

Estrutura

Duas estruturas foram construídas, uma chamada de "Box" e a outra de "U", elas são mostradas a seguir:

A primeira Estrutura foi feita a partir de barras de aço em perfil "U", como mostrada na Figura 4.8



Figura 4.8. Perfil "U"

Ela foi serrada, suas extremidades receberam cortes de 45°, dois de seus vértices foram soldados e os outros dois foram fechados com cantoneiras preparadas especialmente para a estrutura.

A estrutura apresentou resistência mecânica suficiente para suportar o seu próprio peso, entretanto ela não se mostrou eficaz em proteger as células que ficariam alocadas em seu interior, por esse motivo essa estrutura foi descartada.

A segunda foi montada em chapa de aço dobrada, essa estrutura não apresentou resistência mecânica tão alta quanto a primeira, mas ela se mostrou suficiente para proteger as células e suportar o ambiente em que ela estará colocada.



Figura 4.9. Estrutura Final

Isolamento

Placas comerciais utilizam no isolamento interno o material filme de isolamento EVA (Ethylene Vinyl Acetate), mas o uso do EVA requer a aplicação com uma prensa a vácuo, a indisponibilidade desse equipamento fez com que houvesse a substituição pelo etileno acetato de vinila em sua forma de espuma, pois assim não há necessidade de prensa.

Proteção mecânica

A proteção mecânica foi feita utilizando uma armadura de aço perfurado em duas extremidades da placa, essa armadura concede uma maior rigidez para a estrutura, além de ser um ponto para conexão da estrutura com o suporte.

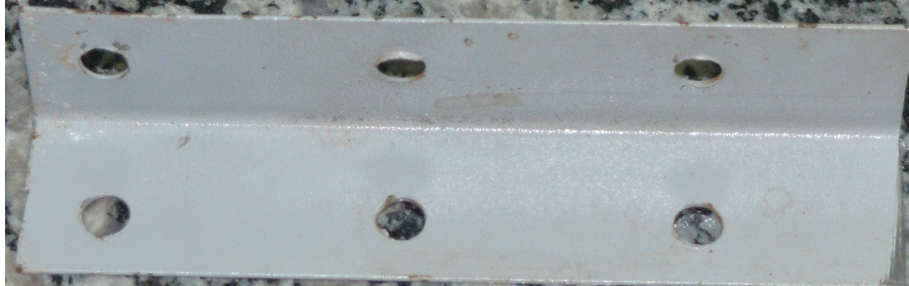


Figura 4.10. Armadura Lateral da Placa.

A proteção contra água e poeira é feita utilizando um adesivo silicone em todas as bordas, vedando assim a placa.

Resultado Final de Materiais Testados

Os materiais foram testados no galpão da Universidade de Brasília, os testes foram feitos em busca de materiais que são adequados à construção da placa, assim, logo que o material adequado era encontrado para a categoria, se encerravam os testes nessa categoria e se passava para os testes da próxima. A Tabela 4.1 apresenta um resumo sobre os materiais testados e a conclusão acerca de cada um e detalhes sobre a sua aplicabilidade técnica.

Quadro 4.1. Avaliação dos Materiais para Construção da Placa.

Componente	Recomendado	Não Recomendado	Comentário
Célula Policristalina Faixa Contínua	X		Célula de boa qualidade, com apenas 1mm de espessura, muito difícil de trabalhar sem danificar a célula
Célula Policristalina Faixa Pontilhada	X		Célula de boa qualidade, com apenas 1mm de espessura, muito difícil de trabalhar sem danificar a célula, a faixa pontilhada exige mais destreza durante a aplicação da solda.
Solda Cobre-Estanho Aplicação Pontual		X	Não adere ao silício
Solda Chumbo Aplicação Pontual		X	boa aderência, mas emite fumaça tóxica durante a soldagem.
Solda Cobre-Estanho Aplicação superficial	X		Sem emissão de gás, adere facilmente e possui resistência suficiente pra aplicação, de todas as soldas, essa se mostrou a mais adequada.
Perfil 6			não foi encontrado pré-fabricado. Esse modelo é utilizado nas placas da marca Canadian Solar.
Perfil U 12mm aço		X	o perfil não apresenta as características desejadas para o tipo de estrutura,
Solda em perfil de aço	X		Garante Bastante resistência mecânica, mas o perfil utilizado não se mostrou muito adequado para soldas desse tipo.
Cantoneira		X	adiciona a possibilidade de manutenção nas células, mas ao mesmo tempo retira a resistência mecânica da estrutura. O uso da cantoneira tira a uniformidade visual da estrutura e também dificulta o processo de fixação da placa no telhado ou estrutura.
Estrutura Perfil "U" 1,35m x 1m		X	A estrutura sofreu torção
Estrutura Perfil "U" 0,6m x 1m		X	a estrutura mostrou maior estabilidade mas ainda não apresenta a resistência desejada.
modelo "box" metálico			O objetivo da estrutura box é produzir uma maior resistência à estrutura, já que a estrutura anterior se mostrou pouco inadequada devido a fragilidade das células
Vidro 8mm		X	Bastante resistente, muito pesado, muito caro.
Vidro 6mm	X		idem 8mm
Acrílico 2mm	X		muito resistente, dobrável até certo nível, caro.
Selante Silicone Acético	X		Opção barata para vedação.
Conector MCA	X		Conecta com precisão e é um ótimo isolante.

Um pequeno manual de montagem para placas solar é mostrado no apêndice, ele sumariza os passos que foram utilizados para a montagem da placa mostrada na Figura 4.11



Figura 4.11. Placa Finalizada.

4.2.3 Descrição da Instalação

Utilizando as considerações feitas nos capítulos 3.3 e 4.1, a descrição física do projeto no comércio e a diagramação elétrica podem ser feitas. Para isso, foi realizado um levantamento das dimensões do telhado, assim como a sua verificação da direção em que ele aponta. A medida do norte magnético foi realizada utilizando o sensor de aparelho gps, a correção para o norte geográfico utilizando o mapa 16. Como pode ser verificado, o norte magnético e a direção normal do telhado se encontram a 21° de diferença, verificando o mapa de ângulos, se constata que o telhado está apenas 2° deslocado da direção do norte geográfico, o que é considerado satisfatório, sem a necessidade de correções complexas. As vistas superior e isométrica da casa com o sistema montado são apresentadas a seguir. A construção foi realizada no software CATIA, em uma escala de 1:100, o medidor e o inversor estão em uma escala de 1:50 para facilitar a visualização.

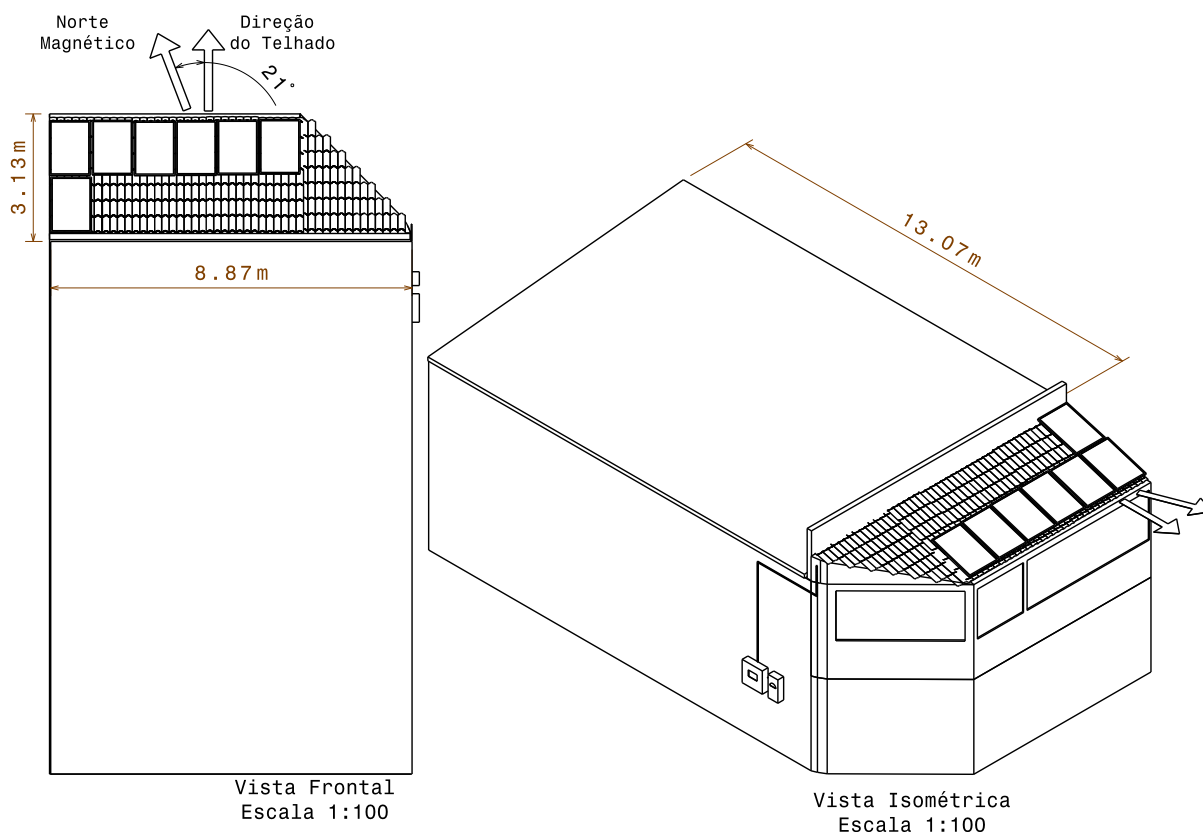


Figura 4.12. Vista Superior e Isométrica do Local de Montagem dos Painéis.

A configuração elétrica do sistema é mostrada a seguir, os componentes básicos foram apresentados em um diagrama de blocos na imagem 4.4. A sessão 3.3 do módulo 3 do PRODIST estabelece que no projeto deve conter o dimensionamento dos cabos condutores, levando em conta o montante de uso, perdas, queda de tensão e parâmetros ambientais. Pela NBR NM 247-3:2002, pode-se encontrar o dimensionamento de cabos isolados com pvc para tensões nominais até 450/750 V, o dimensionamento elétrico prevê

uma corrente de até 8 ampères na geração em corrente contínua e uma corrente menor que 8 ampères na distribuição em corrente alternada, pela norma se tem a série AWG 11 com 4mm^2 de área de seção transversal no condutor que suporta uma corrente de até 12 ampères, sendo o suficiente para o projeto. Entre o medidor e a linha de distribuição é utilizado um cabo com proteção até 30 ampères para aproveitar o sistema já instalado na casa, essa alteração não irá causar problema no sistema e irá gerar uma pequena redução nos custos de cabeamento. Para o eletroduto que irá conduzir os cabos, a norma ABNT NBR 5410 determina que o fator de ocupação não deve ser superior a 31% no caso de dois condutores, logo, para o cabo escolhido, é necessário um eletroduto de 3/4 de polegada de diâmetro, o comprimento para o eletroduto estimado é de aproximadamente 18 metros. A Figura 4.13 representa o requisito da CEB para a conexão e a Figura 4.14 apresenta o sistema proposto.

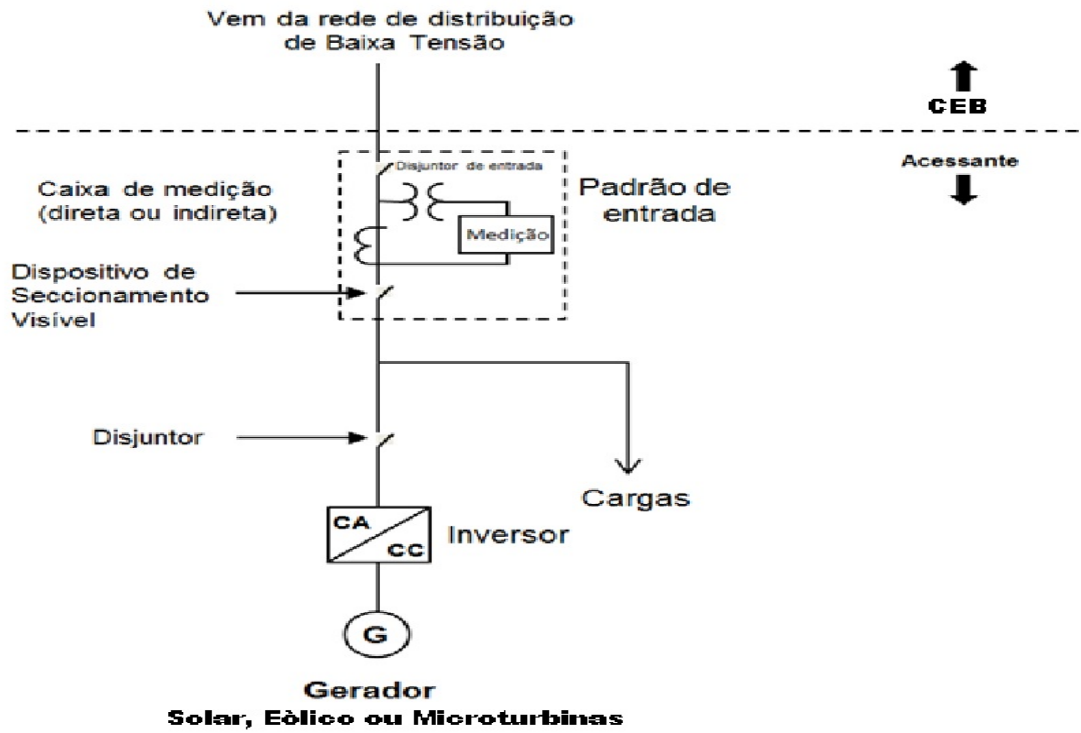


Figura 4.13. Requerimento Elétrico da CEB.
Fonte: CEB.

Sistema proposto

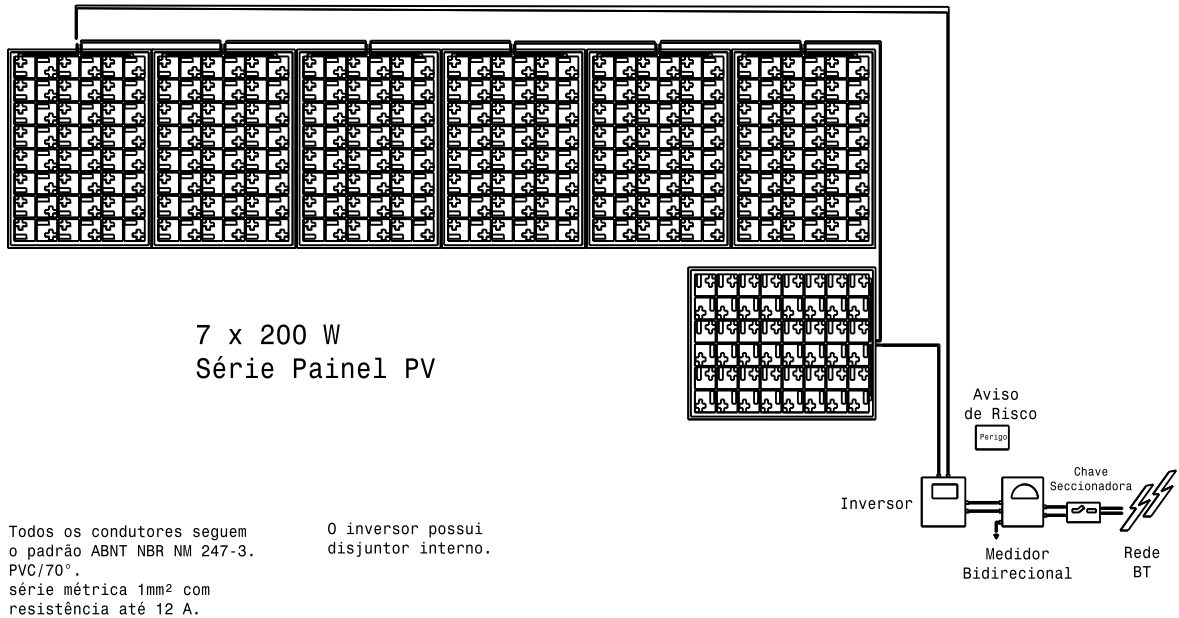


Figura 4.14. Descrição Elétrica.
Fonte: Própria.

4.3 CUSTOS E ENCARGOS

Como pôde ser visto na seção 2.4, o orçamento do projeto foi levantado considerando os valores de compra no mercado, esses valores foram obtidos por meio de orçamento direto com empresas que prestam esse serviço. Nessa segunda etapa, os preços de gastos reais serão mostrados e a sua soma será comparada com aquilo que havia sido previamente orçado. Abaixo é mostrado o custo dos itens necessários para a construção de um painel solar.

O custo da produção da placa solar de 60 watts foi de R\$ 280,05, se for considerar um lucro médio de 7%, esse valor sobe para aproximadamente R\$ 300, ou seja, R\$ 4,76 por watt gerado, esse valor é correspondente ao valor de uma placa solar importada, não sendo vantagem expressiva a montagem da placa.

Componente	unitário	quantidade	total	total com encargo
Célula Solar	6,51 R\$/Un	15 Un	R\$ 97,69	R\$ 104,53
barramento	3,00 R\$/m	1,80 m	R\$ 5,40	R\$ 5,78
Solda	0,67 R\$/m	13,50 m	R\$ 9,00	R\$ 9,63
Líquido de Fluxo	0,76 R\$/ml	0,50 ml	R\$ 0,38	R\$ 0,40
Mão de Obra soldagem	8,72 R\$/h	0,75 h	R\$ 6,54	R\$ 7,00
Gasto Elétrico Soldagem	0,60 R\$/kWh	0,34 kWh	R\$ 0,20	R\$ 0,22
Estrutura	17,10 R\$/m	3,00 m	R\$ 51,30	R\$ 54,89
Mão de Obra Estrutura	8,72 R\$/h	3,15 h	R\$ 27,47	R\$ 29,39
Gasto Elétrico Estrutura	0,60 R\$/kWh	2,00 kWh	R\$ 1,20	R\$ 1,28
Isolador	8,70 R\$/m ²	0,54 m ²	R\$ 4,70	R\$ 5,02
Selante	0,14 R\$/g	50,00 g	R\$ 6,80	R\$ 7,28
Proteção	54,35 R\$/m ²	0,55 m ²	R\$ 30,00	R\$ 32,10
Caixa de Junção	19,18 R\$/Un	1 Un	R\$ 19,18	R\$ 20,52
Cabo	3,32 R\$/m	1,00 m	R\$ 3,32	R\$ 3,55
Conector mc4	3,34 R\$/Un	2 Un	R\$ 6,68	R\$ 7,14
transporte	R\$ 10,00	1	R\$ 10,00	R\$ 10,70
parafusos e porcas	0,05 R\$/Un	4 Un	R\$ 0,20	R\$ 0,21
Total			R\$ 280,05	R\$ 299,66
Total por watt gerado			R\$ 4,45	R\$ 4,76

Quadro 4.2. Custos Reais para construção de 1 painel

Um cenário onde uma produção em escala industrial fosse desejada, o valor de produção da placa utilizando essa técnica poderia se tornar viável pois os itens seriam comprados em larga escala, os principais itens a sofrerem redução seriam: estrutura, isolador, proteção.

Os principais motivos para o alto custo da produção da placa no Brasil, pode-se citar: O imposto sobre produtos industrializados, fator de escala e necessidade de importação dos principais componentes. A célula solar policristalina, responsável por um terço do valor total da placa, é hoje considerada o maior gargalo para a produção de placas solares fotovoltaicas no Brasil, não existe uma produção desse produto no Brasil e há a necessidade de importação da célula de países que produzem, como por exemplo, a China.

Levando em consideração os valores reais da compra dos produtos ou orçamento no mercado, é apresentado a tabela final de custos para o projeto.

Orçamento Instalação Completa			
Item	Preço	Quantidade	Total
Placa Solar	R\$/Wp 4,76	1400,00 Wp	R\$ 6.659,06
Suporte	R\$ 17,10	14	R\$ 239,40
Cabeamento	R\$ 3,32	40	R\$ 132,80
Caixa de Derivação	R\$ 10,00	1	R\$ 10,00
Abraçadeiras	R\$ 1,52	10	R\$ 15,20
Curva Eletroduto 90°	R\$ 4,20	3	R\$ 12,60
Eletrodutos	R\$ 17,00	6	R\$ 102,00
Inversor Solar	R\$ 4.086,41	1	R\$ 4.086,41
Medidor Bidirecional	R\$ 150,00	1	R\$ 150,00
Transporte	R\$ 244,00	1	R\$ 244,00
Mão de Obra	R\$ 466,13	1	R\$ 466,13
ART	R\$ 70,00	1	R\$ 70,00
TOTAL			R\$ 12.187,61

Tabela 4.3. Custo Final do Projeto

Não foi encontrada diferença substancial nos valores entre importar a placa pronta ou importar os insumos e produzir a placa no Brasil. Sendo assim, a análise de payback é feita novamente, mas agora tomando os valores reais:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
FCx(R\$/ano)	0	1601,66	1649,71	1699,20	1750,17	1802,68	1856,76	1912,46	1969,84	2028,93	2089,80	2152,49	2217,07	2283,58	2352,09	2422,65
FCt em t=0	0	1469,41	1388,52	1312,09	1286,43	1226,87	1170,07	1190,98	1146,46	1103,60	1062,35	1022,63	984,40	947,60	912,18	878,08
Payback	R\$ -12.187,61	R\$ -10.718,20	R\$ -9.329,68	R\$ -8.017,58	R\$ -6.731,15	R\$ -5.504,28	R\$ -4.334,21	R\$ -3.143,22	R\$ -1.996,76	R\$ -893,16	R\$ 169,19	R\$ 1.191,82	R\$ 2.176,23	R\$ 3.123,83	R\$ 4.036,01	R\$ 4.914,09

Tabela 4.4. Fluxo de Caixa Total para o Investimento

A partir da análise de payback, o tempo final de retorno do investimento é 9 anos e 11 meses.

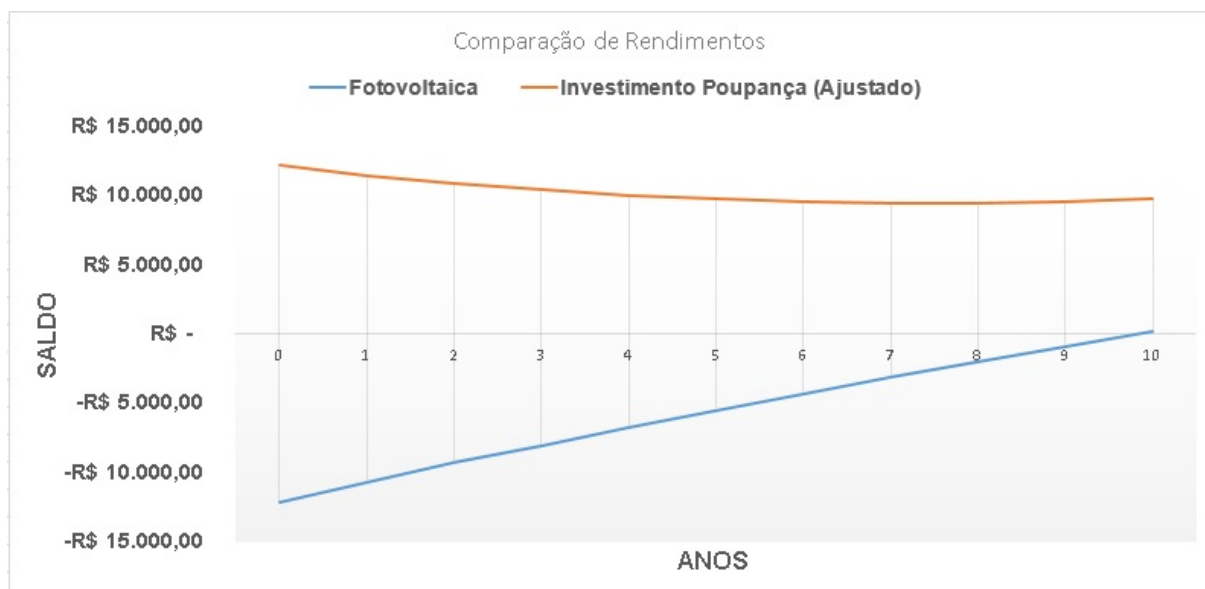


Gráfico 4.15. Comparação de Aplicação e Investimento em Energia Solar Fotovoltaica

4.4 COMENTÁRIOS FINAIS

1. Após o sistema começar a funcionar, toda a energia gerada irá ser contabilizada como créditos para abatimento na conta, caso sobrem créditos, esses serão contabilizados para os próximos meses e podem ser acumulados ao longo dos meses de maior geração para meses de menor geração, eles também podem ser utilizados em outras unidades consumidoras desde que estejam registrados no mesmo cadastro de pessoa física (CPF) do acessante, o prazo final para os créditos serem utilizados é de 60 meses, caso o acessante encerre o contrato com a acessada os créditos também irão expirar. O equipamento de medição é doado para a empresa acessada a partir do momento que a microgeração é regularizada, isso faz com que a acessada seja a responsável pela manutenção e troca do relógio de medição, e caso esse apresente defeito, a acessada é responsável pela troca ou manutenção, sem ônus para o acessante. Apesar do equipamento de medição ser doado para a acessada, as placas solares, os inversores e todos os outros equipamentos ainda são de responsabilidade do acessante, e esses equipamentos necessitam de manutenção preventiva regular, principalmente as placas solares.
2. Energia solar pode suprir todas as necessidades energéticas de um comércio varejista devido a razão área de telhado x demanda serem compatíveis, locais que possuem uma demanda energética muito alta como por exemplo linhas de produção também podem se beneficiar com o uso da energia solar, mas caso o seu consumo saia da faixa de micro e mini geração distribuída (vide 2.3) eles não poderão mais ser beneficiados

pela Resolução Normativa 482.

3. Um investidor que possui o capital em mãos, entre investir na energia solar e investir em um fundo fixo (e.g. poupança), o fundo fixo mostrou gerar maiores rendimentos no cenário econômico atual.
4. Trazer a placa importada ou buscar os insumos e montar aqui trazem uma pequena diferença no preço final da placa, mas essa diferença só é notável em produção em larga escala.

REFERÊNCIAS

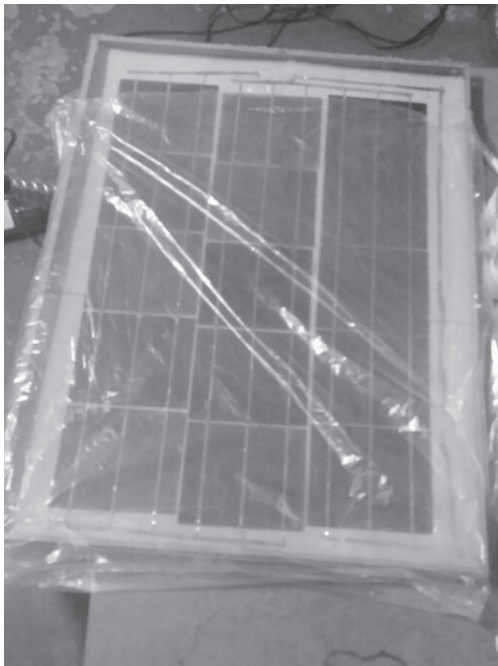
- [1] Sousa 2011, apud Nadaud, 2012, p. 76. Acesso à Energia Elétrica de Populações Urbanas de Baixa Renda: O Caso das Favelas do Rio de Janeiro. *UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético*, 128p. 2012.
- [2] BRASIL. Decreto N° 5.025, de 30 de março de 2004. art. 5o
- [3] BRASIL. Lei N° 10.438, de 26 de abril de 2002.
- [4] ANEEL. Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012.
- [5] ANEEL. BIG - Banco de Informações de Geração *Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL*, setembro de 2015.
- [6] Pianezzola, G. Mapas de Complementaridade dos Potenciais Solar e Eólico no Estado do Rio Grande do Sul. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, Dissertação. 96p. 2006.
- [7] Pereira, E. B. et al. Atlas Brasileiro da energia solar. São José dos Campos: INPE, 60p. 2006.
- [8] ANEEL. Proposta de Reajuste Tarifário Anual da Energisa Borborema. *Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL*, Pleito de Reajustes das Concessionárias de Distribuição, 2015.
- [9] ANEEL. Bandeiras Tarifárias. *Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL*, 2015.
- [10] Empresa de Pesquisa Energética. Projeção da demanda de Energia Elétrica para os próximos 10 anos (2013 - 2022). *Ministério de Minas e Energia*, Rio de Janeiro, Dezembro de 2012.
- [11] Reboita, M. S. et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. *TERRAE DIDÁTICA*, vol. 8(1), p. 34-50, 2012.
- [12] Agentur für Erneuerbare Energien. Erneuerbare Energien 2020 Potenzialatlas Deutschland. *www.unendlich-viel-energie.de*, 2. Auflage, Berlin, Februar 2010.
- [13] Drevillon, B.; Nassar, J. Physique des Cellules Solaires au Silicium. *École Polytechnique, Université Paris-Saclay*. [Vídeo-aula]. 2014.
- [14] Portal BRASIL. Energia solar financia melhorias em condomínios do Minha Casa Minha Vida. <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/09/energia-solar-financia-melhorias-em-condominios-do-minha-casa-minha-vida>, acessado em 20 de outubro de 2015.

- [15] Villalva, M. G.; Gazoli, J. R. Energia Solar Fotovoltaica. Conceitos e Aplicações, Edição 1. Reimpressão 4, São Paulo, 2013.
- [16] Companhia Energética de Brasília. Nota CEB - Reajuste Tarifário Anual 2015. <http://www.ceb.com.br/index.php/comunicados>, Nota CEB - Reajuste Tarifário anual 2015, acessado 15/11/2015, Brasília, 2015.
- [17] Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST Revisão 7. Resolução normativa nº 665/2015.
- [18] Silva, A. S.; Souza F. M. C. de Viabilidade Econômica da Energia Solar *Associação Brasileira de Engenharia de Produção, ABEPRO.*, 1998.
- [19] Mitscher, M.; Rüther, R. Economic Performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. *Energy Policy*, vol. 49, p. 688-694. 2012.
- [20] Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Atlas da Energia Elétrica do Brasil Brasília, 3ª edição, 236p. 2008.
- [21] Guena, A. M. de O. Avaliação Ambiental de Diferentes Formas de Geração de Energia Elétrica. *Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN*, dissertação. 146p. 2007.
- [22] Cucchiella, F.; D'Adamo, I.; Koh, S. C. Environmental and Economic Analysis of Building Integrated Photovoltaic Systems in Italian Regions. *Journal of Cleaner Production*, vol. 98, p. 241 - 252. 2015.
- [23] Fuchs, R. D. Transmissão de Energia Elétrica *Escola Federal de Engenharia, Itajubá*, vol. 1, pag. 25, Rio de Janeiro, 1977.
- [24] Falcão, D. M. Impacto da mini e microgeração distribuída nas redes de distribuição de energia elétrica. *Espaço IEEE, O setor Elétrico*, p. 148-149. Setembro de 2013.
- [25] Barbeiro, P. N. P. Avaliação do Impacto Resultante da Integração em Larga Escala de Unidades de Microgeração nas Redes de Distribuição de Média e Baixa Tensão. *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, Dissertação. 234p. 2010.
- [26] Mangas, R. F. G. D. Avaliação do Impacto da Microgeração em Redes de Distribuição de Energia. *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, Dissertação. 134p. 2009.

- [27] Fekete, K.; Klaic, Z.; Majdandzic, L. Expansion of the residential photovoltaic systems and its harmonic impact on the distribution grid. *Renewable Energy*, vol. 43, p. 140-148, 2012.
- [28] Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Codeplan. Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios - Santa Maria - PDAD Brasília, 55p. 2011.
- [29] Centro de Pesquisa de Energia Elétrica - CEPEL. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. *Centro e Pesquisa de Energia Elétrica*, pag. 27, 2001.
- [30] Luque, A.; Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. John Wiley & Sons Ltd, England, 205p. 2003.
- [31] U.S. Department of Commerce. NOAA Solar Calculator *Earth System Research Laboratory, National Oceanic & Atmospheric Administration*. acessado em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/> em 12 de outubro de 2015.
- [32] Wilson, D. The Inside Story. *Xantrex Technology USA Inc.*, 2011
- [33] Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. *Agência nacional de Energia Elétrica. ANEEL*, Brasília, Cadernos temáticos ANEEL, 28p. 2014.
- [34] Moreira, D. F. dos S. Implementação de microgeração no Sector Residencial. *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, Dissertação. 150p. 2010.
- [35] Rocha, C. L. F. de A. Microgeração em ambiente urbano (habitacional, serviços) *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, Dissertação. 85p. 2008.
- [36] Viana, F. M. M. C. Optimização de configuração de um projecto tipo para microgeração fotovoltaica. *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, Dissertação. 94p. 2008.
- [37] Brinkman, G. et al. Toward a Solar-Powered Grid *IEEE power & energy magazine*, may/june 2011.
- [38] Nadaud, G. C. A. Acesso à Energia Elétrica de Populações Urbanas de Baixa Renda: O Caso das Favelas do Rio de Janeiro. *UFRJ/COPPE/Programa de Planejamneto Energético*, 128p. 2012.
- [39] Filho, J. A. C. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Corumbá. Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense. *EMBRAPA, UEPAE de Corumbá. Circular Técnica, 9*. Corumbá, 1981.

MANUAL DE MONTAGEM PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA

*Guia Prático para Assembly de
Placas Solares*

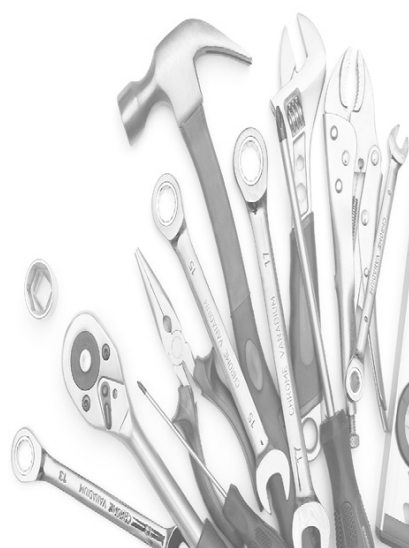
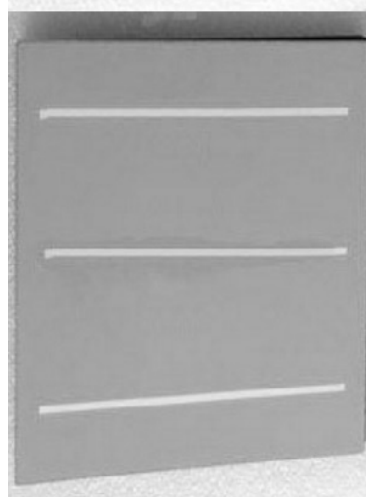
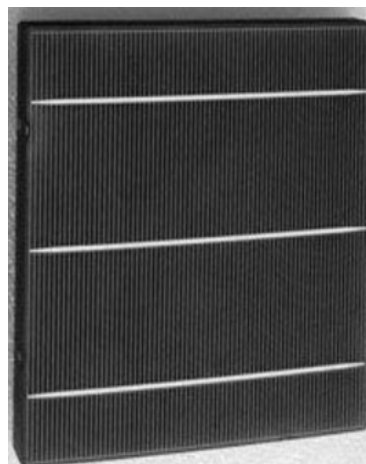


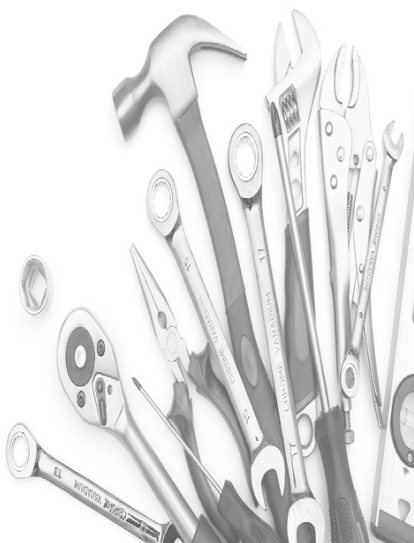
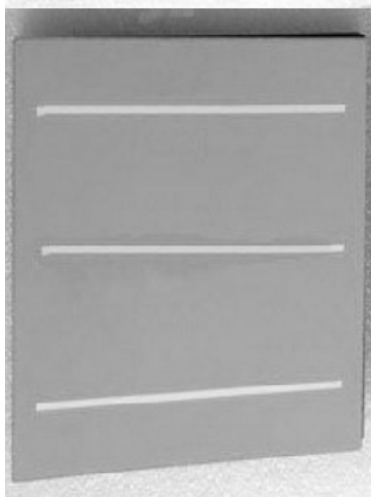
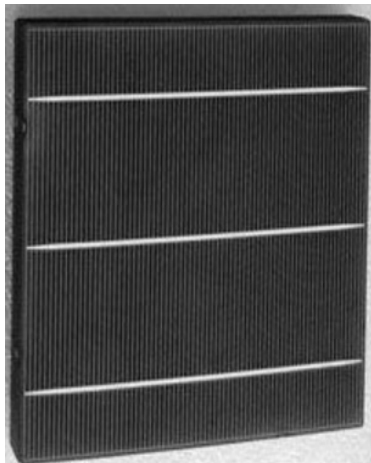
TALLTON LACERDA SANTOS



Lista de Materiais necessários:

- A. Célula solar, modelo mono ou poli cristalino. O tamanho deve ser de 156 mm por 156 mm.
- B. Barramento (bus bar) de cobre banhado em estanho, 5mm de largura.
- C. Solda laminar (tabbing wire) de cobre banhado em estanho, 1,8mm de largura.
- D. Resina de Fluxo em líquido, fluxo #951
- E. Bandeja de aço modular.
- F. Suporte de aço modular perfil "L" perfurado
- G. Vidro temperado 3mm de espessura ou acrílico incolor 2mm de espessura
- H. Silicone acético incolor
- I. Folha de Eva
- J. Caixa de Junções
- K. Diodo 15A.
- L. Cabo de cobre 2,5mm²
- M. Conector padrão MC4
- N. Parafusos e Porcas 3mm de diâmetro

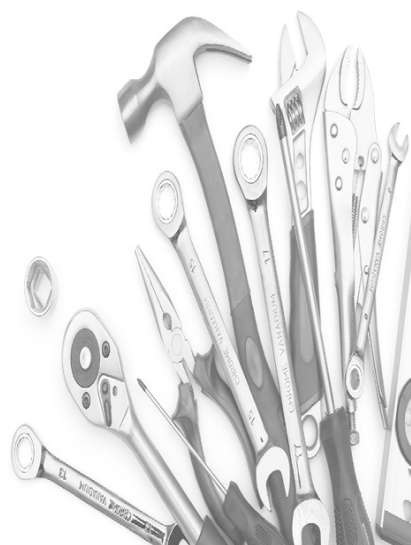
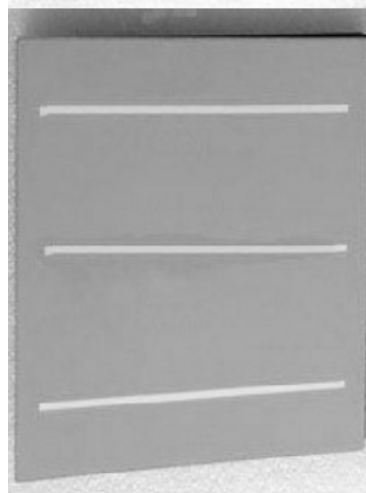
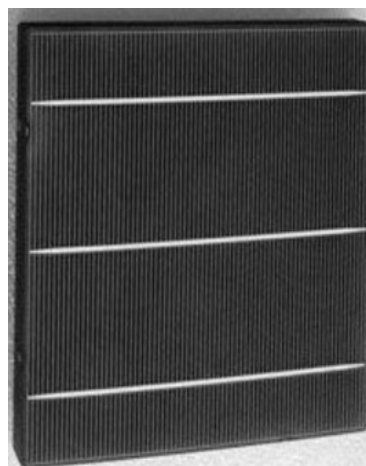


*Lista de Ferramentas:*

- Furadeira;
- Arco de Serra;
- Chave de boca (mesmo diâmetro das porcas);
- Braço de aço com “grip” compressor de ar;
- Chave de “cripar”;
- Alicates de corte para cabo de cobre;
- Grampo C;
- Ferro de Solda 25 watts;
- Trena;
- Tesoura;

Quantidade de materiais:

- A - 15 unidades.
- B - 1,80 metro
- C - 13,50 metros
- D - 1 Tubo de 10 mL (menor tamanho) poderá ser usado em 250 placas
- E - A estrutura de aço possui $0,55 \text{ m}^2$ de superfície, mas como é necessário dobra nas pontas, o perfil deverá ter $0,70 \text{ m}^2$
- F - O perfil é comercializado em barras de 3 metros, são necessários 2 metros, portanto, 1 barra.
- G - $0,55 \text{ m}^2$.
- H - 1 Tubo de 50 gramas.
- I - $0,55 \text{ m}^2$.
- J - 1 Unidade
- K - 1 Unidade
- L - 1 Metro.
- M - 1 Par
- N - 8 Pares





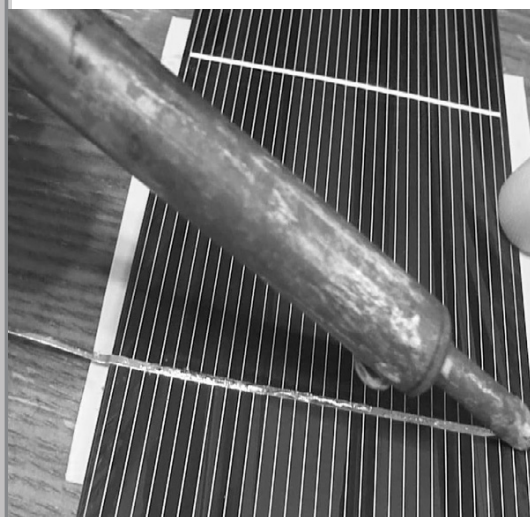
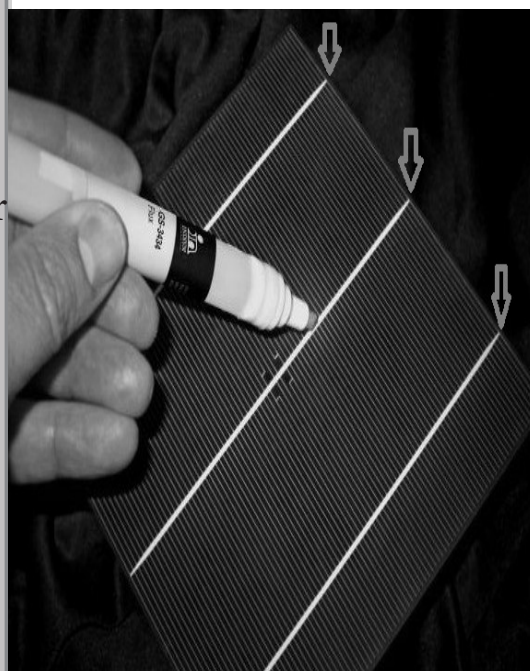
Instruções de Segurança:

- Para serrar é recomendado o uso de luvas adequadas, botas adequadas e óculos de proteção.
- Para o processo de Solda é recomendado luva de proteção na mão de operação do ferro de solda e luva de látex na mão que manuseia as células solares (ácidos graxos danificam as células solares)
- Para a Aplicação do silicone é recomendado o uso de óculos de proteção, para evitar o contato da substância com os olhos.
- Para os testes de carga é recomendado o uso de luvas e botas isolantes de eletricidade.

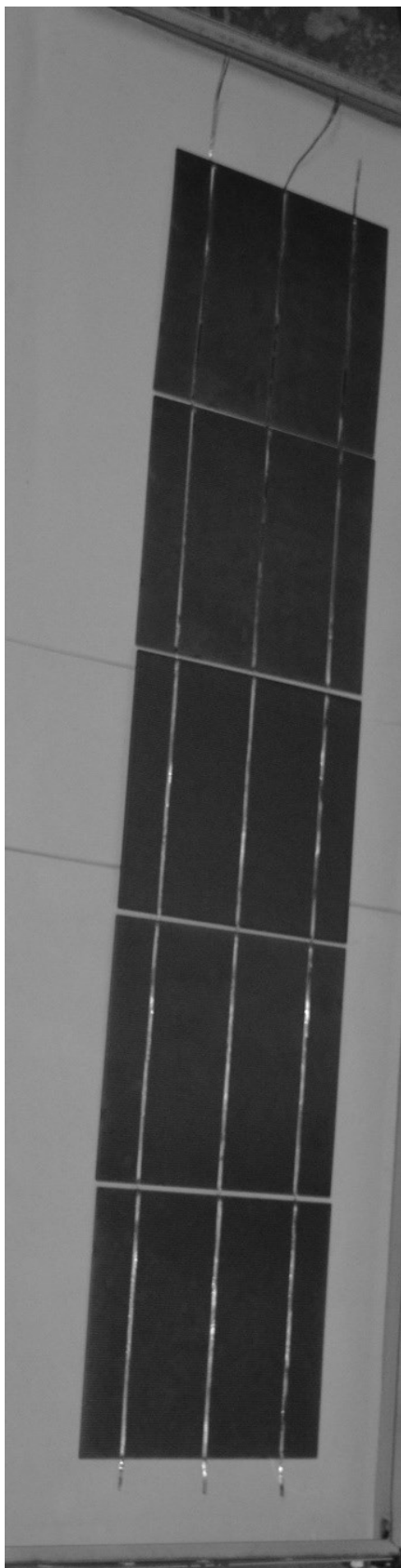
A primeira etapa consiste em aplicar a primeira camada de solda nas células individuais, corte a solda laminar em pedaços de 30 centímetros, com isso ela terá tamanho suficiente para cobrir o lado positivo e negativo subsequente.

A solda deverá ser aplicada nos barramentos do lado negativo, para aplicar a solda, primeiro aplique a resina de fluxo 951, a aplicação da resina evita que a solda oxide antes de aderir à placa, em seguida à aplicação da resina, utilize o ferro de solda com a ponta de superfície para aderir a solda laminar no barramento negativo, isso deverá ser repetido para todos os três barramentos de todas as 15 células, portanto, esse processo será repetido 45 vezes.

ETAPA 1



ETAPA 2

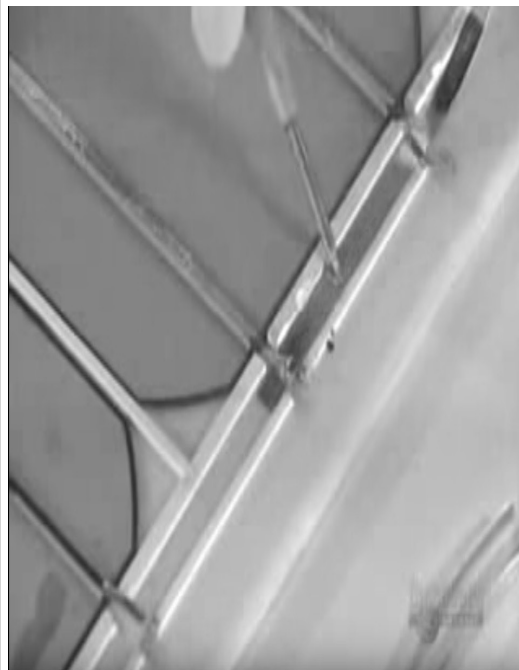


Após a primeira solda, as células precisam ser organizadas em “strings”, o design da placa de 63 watts requerer 3 strings com 5 células cada, portanto, alinhe 5 células, com seus lados positivos voltados para cima, o excedente de solda da primeira célula deverá sobrepor a segunda célula, o excedente da segunda sobrepor a terceira e assim por diante.

O espaço entre células deverá ser em torno de 3 mm, aplique resina #951 nos contatos do lado positivo e então solde a terminação negativa da primeira célula na terminação positiva da segunda célula, repita o processo até que todas estejam soldadas. Repita o processo para mais duas strings, totalizando 3 strings com 5 células cada.

As strings precisam ser colocadas em série, por isso, elas precisam ser colocadas em sentidos opostos, fazendo assim que a última célula da primeira a ser soldada seja a positiva e a última da segunda fileira seja positiva, utilizando o barramento, faça uma solda horizontal entre o negativo da primeira string e o positivo da segunda string, repita o processo com o negativo da segunda string para o positivo da terceira strings.

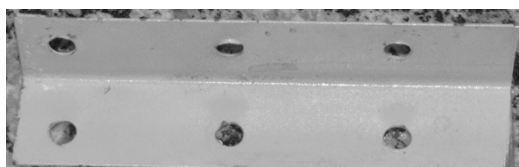
Após as strings serem soldadas em série, elas devem ficar protegidas da poeira e da umidade até serem seladas.

ETAPA 3**ETAPA 4**

ETAPA 5



ETAPA 6



ETAPA 7



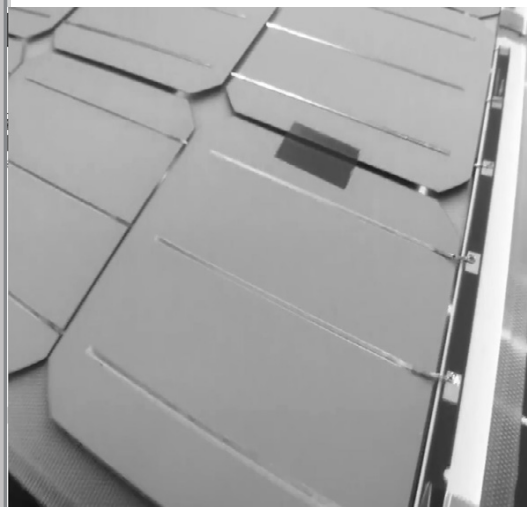
A montagem da caixa de proteção das células varia de acordo como as chapas são compradas, se elas vierem com as pontas dobradas, como uma caixa, é necessário serrar um dos lados de cada uma e juntar os dois lados, caso ela venha apenas a chapa, é necessário cortar as pontas em 45° em uma distância de 5 cm e então dobrá-las.

Adicionar a Armadura em volta das caixas e parafusá-las.

Com ambas as caixas juntas, é necessário adicionar a capa de proteção de EVA ao fundo.

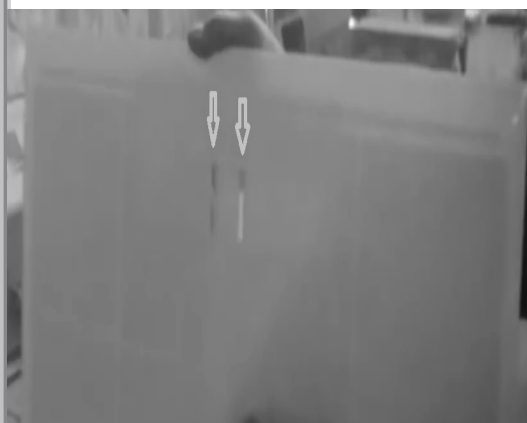
As strings são então adicionadas sobre as células, com o lado negativo para cima.

ETAPA 8



As pontas da string são colocadas acima de todas as células, com uma distância de 4 centímetros entre elas.

ETAPA 9



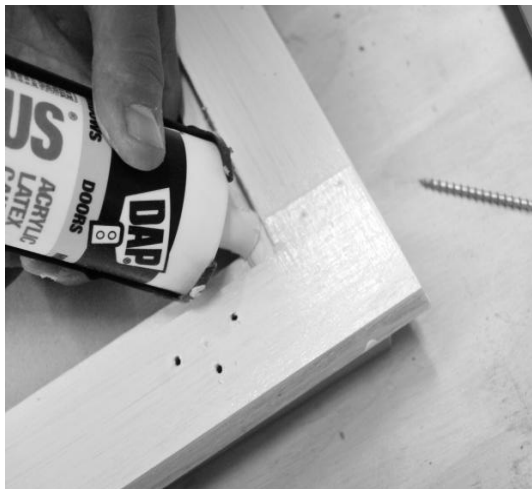
Dois cortes são feitos na parte traseira da estrutura para passar para fora as pontas positiva e negativa da string.

ETAPAS 10 E 11

O vidro é então adicionado a estrutura.



ETAPA 12



Com o silicone, faça a vedação do vidro, e de todos os possíveis pontos de infiltração na estrutura.

ETAPA 13



Abra a caixa de junções e solde um diodo entre os terminais positivo e negativo.

ETAPA 14



Após o silicone de isolamento secar, a caixa de junções é fixada na parte traseira da estrutura, utilizando também silicone.

As pontas são então soldadas na caixa de junção, obedecendo o lado positivo e negativo.

ETAPA 15



Adiciona-se o cabo de 2,5mm na caixa de junções, parafusando suas pontas para ficarem firmes. Na outra ponta dos cabos, é adicionado o conector MC4.

ETAPA 16





O teste é feito adicionando-se um voltímetro em paralelo com as conexões, um amperímetro tipo alicate é colocado sobre um dos fios de saída da placa solar, obedecendo o sentido indicado no alicate. Conecta-se então a placa a uma carga de 6 volts sob luz com intensidade de 1000 watts/m².

Mapa de Ângulos de Correção

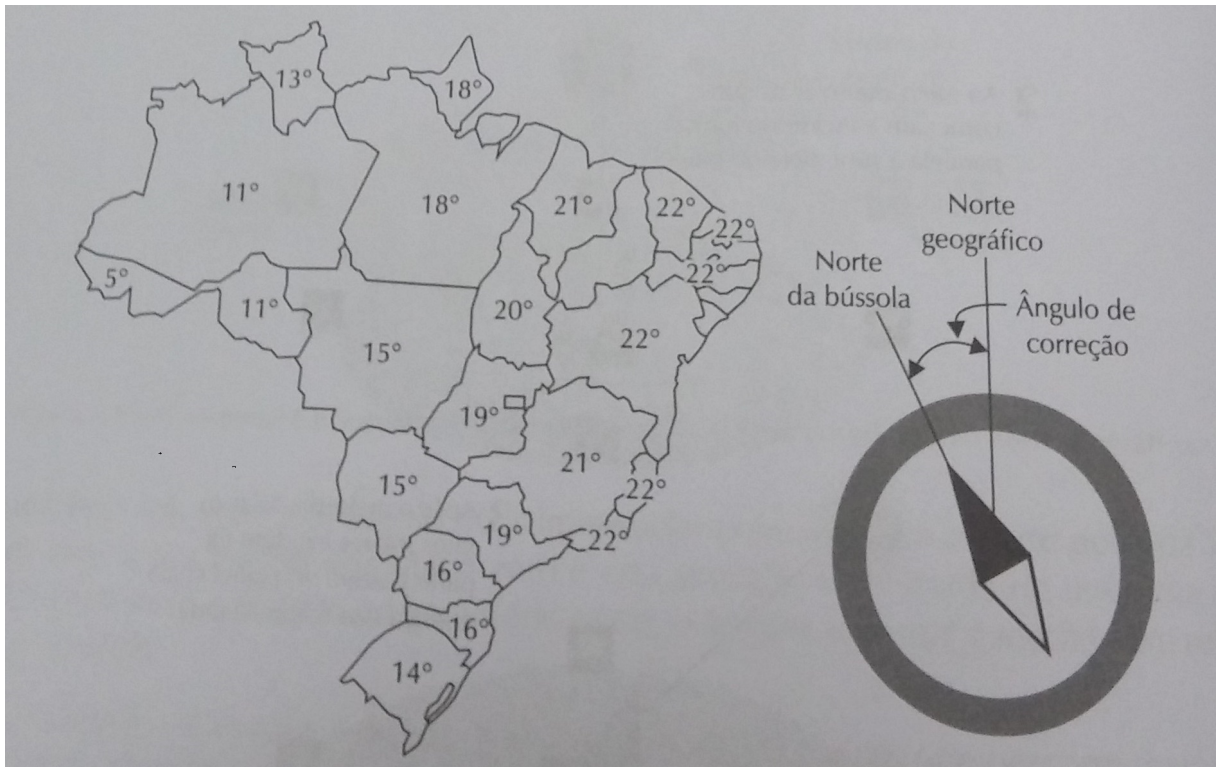


Figura 16. Mapa de Ângulos de Correção para o Norte Geográfico. Retirado de [15].

Dados Técnicos

Modelo	PHB1500-SS	PHB3000-SS	PHB4600-SS
Dados da Entrada CC			
Max. Potência Fotovoltáica[W]	1800	3200	5400
Max. Tensão CC [V]	450	500	580
Faixa de Operação SPMP (MPPT)	125~400	125~450	125~550
Tensão CC de Partida [V]	125	125	125
Corrente CC Máxima [A]	12	18	20
Número de Strings em Paralelo	1	2	2
Conector CC	SUNCLIX, MC IV (opcional)		
Consumo em Standby [W]	5		
Dados da Saída CA			
Potência CA Nominal [W]	1500	3000	4600
Max. Potência CA [W]	1650	3000	5100
Max. Corrente CA [A]	8	15	25
Saída Nominal CA	60Hz; 220Vca		
Faixa de Operação CA	57.5~62Hz; 176~242Vca		
THD	<5%		
Fator de Potência	unitario	0.95 indutivo...0.95 capacitivo	
Conexão CA	Monofásica / Bifásica		
Eficiência			
Max. Eficiência	97.0%	97.0%	97.8%
Eficiência SPMP (MPPT)	>99.5%	>99.5%	>99.5%
Segurança do Equipamento			
Monitoramento de corrente de fuga	Integrado		
Proteção Anti-ilhamento	AFD (Active Frequency Drift)		
Monitoramento de Rede	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/A1, AS4777.2/.3, EN62109-2, EN50438,	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/A1, AS4777.2/.3, EN62109-2,	
Concessão INMETRO	000150/2015		
NBR (Normas Brasileiras)	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116		
Normas de Referência			
EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-2,	EN 61000-6-1, EN 61000-6-2,	
	EN 61000-6-3, EN 61000-6-4	EN 61000-6-3, EN 61000-6-4	
Segurança	IEC 62109-1, AS3100, CNCA/CTS0006-	IEC 62109-1, AS3100,	
Dados Gerais			
Dimensões (L*A*P) [mm]	330*350*125		390*417*142
Peso Líquido [kg]	12		18
Ambiente de Operação	Interno ou Externo		
Montagem	Fixação em parede		
Temperatura de Operação	-20~60°C (acima 45°C com derate)		
Umidade relativa	0~95%		
Altitude [m]	2000		
Grau de Proteção IP	IP65		
Topologia	Sem Transformador		
Ventilação	Convecção Natural		
Nível de Ruído [dB]	<25		
Display	4" LCD (Português)		
Comunicação	USB2.0 e RS485 (Wi-Fi opcional)		
Cor	Vermelho	Cinza	Azul
Garantia [anos]	5/10/15/20/25 (a combinar)		

Figura 17. Dados Técnicos do Inversor. Modelo selecionado PHB1500-SS