TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Thaís Dias Garcia

Brasília, 9 de julho de 2015

UNIVERSIDADE DE BRASILIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Thaís Dias Garcia – 10/0131344

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília para obtenção do diploma de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira.

Brasília/2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Thaís Dias Garcia – 10/0131344

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília para obtenção do diploma de bacharel em Engenhara Elétrica.

APROVADO POR:

MARCO AURÉLIO GONÇALVES DE OLIVEIRA, Dr. ENE/UNB (ORIENTADOR)

RAFAEL AMARAL SHAYANI, Dr. ENE/UNB (EXAMINADOR INTERNO)

LÁZARO SIQUEIRA DA SILVA (EXAMINADOR INTERNO)

Brasília, 9 de julho de 2015.

FICHA CATALOGRÁFICA

GARCIA, THAÍS DIAS

Análise Técnica E Econômica De Geração Distribuída Fotovoltaica Residencial Conectada À Rede De Distribuição
[Distrito Federal] 2015.
xv, 133p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Engenheira, Engenharia Elétrica, 2015). Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica

1.Geração Distribuída 2.Fotovoltaica

3.Projeto Fotovoltaico 4.Balanço Energético Nulo

I. ENE/FT/UnB II. Engenheira

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GARCIA, T. D. (2015). Análise Técnica E Econômica De Geração Distribuída Fotovoltaica Residencial Conectada À Rede De Distribuição. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica, Publicação FT. Departamento de Engenharia Elétrica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 133p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Thaís Dias Garcia TÍTULO: Análise Técnica E Econômica De Geração Distribuída Fotovoltaica Residencial Conectada À Rede De Distribuição.

Grau: Engenheiro ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Conclusão de Curso e para emprestar tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Conclusão de Curso pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Thaís Dias Garcia
SHIN QI 9 Conjunto 7 Casa 5
Lago Norte, 71515-270 – Brasília – Brasil
DF – Brasil.
thaisdias.garcia@live.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, por todas as oportunidades maravilhosas que me proporcionou. Além Dele, agradeço aos meus mentores espirituais pelo amparo e orientação, principalmente ao longo desses 5 anos de curso.

Agradeço, também, aos meus pais, Vilson e Deborah, os quais sempre apoiaram e sustentaram todas as minhas decisões, além de me educarem com amor. São meus verdadeiros anjos da guarda na Terra.

Agradeço à minha irmã, Mariana, quem sugeriu a ideia inicial desse trabalho. Obrigada por tudo que me ensinou, mesmo sem consciência da importância de cada palavra e ação que dirigia a mim, espero ser tão feliz na escolha da minha profissão quanto você.

Agradeço ao companheiro leal, Carlos Eduardo, que me estimulou a tentar sempre melhorar e buscar satisfação em tudo que fiz desde que nos conhecemos, além de se mostrar disposto a me ajudar nesse trabalho com amor e alegria. Estendo esse agradecimento à sua família, que me recebeu com carinho e me ajudou sempre que solicitei.

Agradeço também às famílias amigas que ganhei e muito me ajudaram em momentos pessoais e acadêmicos, em especial à Marina, Heloísa, Eliza, Raquel e Rodrigo, que sempre estiveram presentes e compartilhando dificuldades e vitórias na engenharia.

Agradeço aos colegas Carlos Tiusso e Rafael, pela experiência com a engenharia fotovoltaica transmitida.

Finalmente, agradeço aos professores Rafael Shayani e Marco Aurélio pelos conhecimentos que me transmitiram para desenvolver esse trabalho.

RESUMO

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL CONECTADA À REDE DE DISTRIBUIÇÃO

O Brasil é um país com potencial para energias renováveis grandioso, mas ainda opta por não aproveitá-lo. Diante de crises hídricas e energéticas, o estudo contínuo da inserção de geração de energia por fontes renováveis na matriz energética é necessário. Uma opção para melhorar esse cenário é a Geração Distribuída, especialmente a fotovoltaica, menos explorada, principalmente devido ao custo elevado dos componentes. A vantagem primordial da Geração Distribuída é que essa energia gerada é fornecida próxima à carga, evitando as perdas elétricas da transmissão e distribuição. O presente trabalho faz um estudo da Geração Distribuída Fotovoltaica inserida em uma residência. Estuda-se o comportamento do consumo energético dessa unidade consumidora com a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede após devido projeto e dimensionamento. Por meio dos resultados, entendem-se as alterações no desempenho da rede favoráveis ao usuário.

ABSTRACT

TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION CONECTED TO THE DISTRIBUTION NETWORK.

Brazil is a country with great potential for renewable energy, but still chooses not to use it. Faced with water and energy crises, the ongoing study of the insertion of power generation from renewable sources in the energy matrix is required. An option to improve this scenario is the Distributed Generation, especially solar photovoltaic, less explored, mainly due to the high cost of components. The primary advantage of the Distributed Generation is that this generated energy is supplied near the load, avoiding the electrical losses from transmission and distribution. This paper makes a Photovoltaic Distributed Generation study in a residence. The energy consumption behavior from this consumer unit is studied after design and sizing of the photovoltaic generation for grid-connection. Through the results, changes in the performance of the user network are favorable.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Variação Percentual da energia disponibilizada nos anos de 2012 e 2013. 22
Figura 2.2: Participação de fontes renováveis na matriz elétrica..... 23
Figura 2.3: Evolução da elasticidade-renda do consumo de eletricidade. 24
Figura 2.4: Organograma detalhando as possibilidades do parâmetro "localização" nas definições de GD..... 27
Figura 2.5: Evolução das instalações fotovoltaicas (GW). 32
Figura 2.6: Evolução anual das instalações fotovoltaicas (MW)..... 32
Figura 2.7: Ilustração de geração fotovoltaica conectada à rede da concessionária. 33
Figura 2.8: Ilustração de sistema *net metering* com medidor bidirecional. 44
Figura 2.9: Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP. ... 50
Figura 2.10: Exemplo de curva de carga de uma unidade consumidora de perfil residencial.52
Figura 4.3: Estimativa do Custo de Geração a partir do *software* PVsyst 77
Figura 4.2: Área do telhado determinada para instalação dos módulos fotovoltaicos..... 78
Figura 4.3: Orientação ideal dos módulos fotovoltaicos 78
Figura 4.4: Etapas de acesso de microgeradores ao sistema de distribuição da CEB 86
Figura C.1: Inversor Fotovoltaico 4,2 kWp 130
Figura C.2: *String Box* do SFCR de 4kWp instalado..... 130
Figura C.3: Multimedidor 131
Figura C.4: Transformador de Corrente..... 131
Figura C.5: *Datalogger* 132
Figura C.6: Piranômetro..... 132
Figura C.7: Instalação dos módulos fotovoltaicos 133

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Brasil. Projeções do consumo total de eletricidade por classe (mil GWh). 25
Tabela 2.2: Percentuais de reajuste e tarifas anuais da CEB. 41
Tabela 4.1: Histórico de Consumo 70
Tabela 4.2: Potencial Energético Solar 71
Tabela 4.3: Parâmetros Elétricos em Condições de Testes Padrão (STC) 72
Tabela 4.4: Parâmetros Elétricos na Temperatura Nominal de Operação da Célula (NOCT) 72
Tabela 4.5: Características Gerais dos Módulos 72
Tabela 4.6: Características Técnicas do Inversor 74
Tabela 4.7: Características Gerais do Inversor 74
Tabela 4.8 – Energia Ativa consumida na residência 84
Tabela 4.9: Energia produzida mensalmente por um sistema de 4 kWp 90
Tabela 4.10: Investimento Inicial 91
Tabela 4.11: Análise de sensibilidade – variação da vida útil do sistema 92
Tabela 4.12: Análise de sensibilidade – variação do Investimento Inicial 93
Tabela 4.13: Análise de sensibilidade – variação da irradiação diária 93
Tabela 4.14: Análise de sensibilidade – variação da taxa de desconto real 94
Tabela 4.15: Análise de sensibilidade – variação da taxa do OM 94
Tabela A.1: Parâmetros Elétricos da Residência para obtenção da Curva de Carga – Média de 7 dias 104
Tabela B.1: Curva de Irradiância medida com piranômetro 109

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1: Dados de Irradiação diária para cada mês 75
Gráfico 4.2: Energia produzida pelo SFCR ao longo de um ano..... 76
Gráfico 4.3 – Potência sem GDFV 80
Gráfico 4.4 – Potência com GDFV..... 81
Gráfico 4.5 – Potência com e sem GDFV..... 81
Gráfico 4.6 – Irradiância 82
Gráfico 4.7 – Irradiância e Potência com GDFV..... 83
Gráfico 4.8 – Curvas de carga por fase..... 84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ca – Corrente Alternada

cc – Corrente Contínua

CEB – Companhia Energética de Brasília

CEMIG – Companhia de Energia Elétrica de Minas Gerais

CDE – Conta de Desenvolvimento Energético

CF – Fator de Capacidade

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CL – Consumidor Livre

CMO – Custo Marginal de Operação

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito

DSV – Dispositivo de Seccionamento Visível

E_{CA} - Energia Anual Entregue por um SFCR

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ESS_SE – Encargo de Serviço de Sistema por Segurança Energética

FS – Fator de Sombreamento

GC – Geração Centralizada

GD – Geração Distribuída

GDFV – Geração Distribuída Fotovoltaica

HSP – Horas de Sol Pleno

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEAL – Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina

IEA – Agência Internacional de Energia

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LED – Light Emitter Diode

MME – Ministério de Minas e Energia

NOCT – Parâmetros Elétricos na Temperatura Nominal de Operação da Célula

O&M – Operação e Manutenção

ONS – Operador Nacional do Sistema

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia

PIB – Produto Interno Bruto

PIE – Produtor Independente de Energia

PMO – Programa Mensal de Operação

PNE – Plano Nacional de Energia

PR – Desempenho global

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

PRORET – Procedimentos de Regulação Tarifária

RTE – Revisão Tarifária Extraordinária

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SIN – Sistema Interligado Nacional

STC – Parâmetros Elétricos em Condições de Testes Padrão

SWERA - Solar and Wind Resource Assessment

TFSEE - Taxa de Fiscalização dos Serviços de Energia Elétrica

tep – Tonelada Equivalente de Petróleo

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

UFSC – Universidade Federal de São Carlos

var – volt-ampère-reativo

V_{MP} – Tensão de Máxima Potência

V_{OC} – Tensão de Circuito Aberto

W – watt

Wp – watt-pico

W.h – watt-hora

YF – Produtividade Anual

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO 16
1.2 OBJETIVO 17
1.3 PROBLEMA 17
1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO 18
1.5 CONTRIBUIÇÕES 18
1.6 DEFINIÇÃO DO TRABALHO 19
1.6.1 TIPO DE PESQUISA 19
1.6.2 UNIVERSO, AMOSTRA E SUJEITO 20
1.6.3 LIMITE DO MÉTODO 20
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO 20
2 ESTADO-DA-ARTE 21
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 21
2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA 26
2.2.1 MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA 29
2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA (GDFV) 31
2.3.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERLIGADOS À REDE ELÉTRICA 33
2.4 CRONOLOGIA LEGAL 34
2.4.1 PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO 36
2.5 ESTRUTURA TARIFÁRIA 37
2.6 SISTEMA DE MEDIÇÃO 42
2.7 INICIATIVAS DE GDFV CONECTADA À REDE ELÉTRICA NO BRASIL 44
2.7.1 GDFVs INSTALADAS POR UNIVERSIDADES E CENTROS DE PESQUISA 45
2.7.2 INICIATIVAS DE GDFVs INSTALADAS POR DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA 46
2.7.3 INICIATIVAS DE GDFV CONECTADA À REDE ELÉTRICA NO DISTRITO FEDERAL 46
2.7.3.1 EMBAIXADA DA ITÁLIA EM BRASÍLIA 46
2.7.3.2 GDFV CONECTADA À REDE NA INICIATIVA PRIVADA NO DF 47
2.8 PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCR) ... 48
2.8.1 ETAPAS PRELIMINARES DO PROJETO 48
2.8.1.1 RECURSO SOLAR 48
2.8.1.2 LOCALIZAÇÃO 50

2.8.1.3 CONFIGURAÇÃO 51
2.8.1.4 DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA 51
2.8.1.5 CURVA DE CARGA 51
2.8.1.6 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO 52
2.8.1.7 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR 54
2.8.2 PROJETO BÁSICO 54
2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS 55
3 MATERIAIS E MÉTODOS 55
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 55
3.2 AVALIAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA 56
3.2.1 ÁREA DISPONÍVEL PARA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. 56
3.2.2 CURVA DE CARGA 56
3.3 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA 57
3.3.1 ENERGIA DE COMPENSAÇÃO DIÁRIA 57
3.3.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS 57
3.3.3 POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR 58
3.3.3.1 SUNDATA 58
3.3.3.2 SWERA (SOLAR AND WIND ENERGY RESOURCE ASSESSMENT) 59
3.3.3.3 ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR 59
3.3.3.4 PIRANÔMETRO 60
3.3.4 POTÊNCIA DE PICO DO SISTEMA 60
3.3.5 QUANTIDADE DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS 61
3.3.6 ÁREA DISPONÍVEL PARA INSTALAÇÃO 61
3.3.7 ARRANJOS FOTOVOLTAICOS 62
3.3.8 FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO PARA DIMENSIONAR UM SFCR 63
3.3.4 *SOFTWARE* PVSYST 64
3.4 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA 64
3.4.1 PRODUTIVIDADE ANUAL DO SISTEMA (*FINAL YIELD*) 65
3.4.2 FATOR DE CAPACIDADE 66
3.4.3 ENERGIA ECONOMIZADA 66
3.4.4 CUSTO DO SFCR 67
3.5 ANÁLISE ECONÔMICA 67
3.5.1 DETERMINAÇÃO DO CUSTO DA ENERGIA PRODUZIDA POR UM SFCR 68
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 69
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 69

4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA ... 69
4.1.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA A PARTIR DO FLUXOGRAMA ... 70
4.1.2 MODELAMENTO DO SISTEMA A PARTIR DO *SOFTWARE* PVSYST ... 74
4.2 AVALIAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA ... 77
4.2.1 ÁREA DISPONÍVEL PARA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. 77
4.2.2 CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DA UNIDADE CONSUMIDORA ... 79
4.2.3 CURVA DE CARGA ... 79
4.2.3.1 BALANÇO ENERGÉTICO NULO ... 84
4.4 LEGISLAÇÃO E INTERFACE JUNTO À CEB ... 85
4.4.1 RELAÇÃO DISTRIBUIDORA – USUÁRIO ... 88
4.5 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ... 89
4.6 ANÁLISE ECONÔMICA ... 91
4.6.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE ... 92
4.6.1.1 VIDA ÚTIL DO SISTEMA ... 92
4.6.1.2 INVESTIMENTO INICIAL ... 92
4.6.1.3 TAXA DE DESCONTO REAL ... 93
4.6.1.4 FATOR DE CAPACIDADE ... 93
4.6.1.4 PORCENTAGEM DO INVESTIMENTO INICIAL RESERVADO PARA MANUTENÇÕES ANUAIS ... 94
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES ... 95
5.1 VISÃO GLOBAL DO PROJETO ... 95
5.2 CONCLUSÕES ... 96
5.3 SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO ... 97
6 REFERÊNCIAS ... 98
ANEXOS ... 104
ANEXO A: CURVA DE CARGA TÍPICA ... 104
ANEXO B: CURVA DE IRRADIÂNCIA SOLAR ... 109
ANEXO C: EQUIPAMENTOS DO SFCR E DE MEDIÇÃO ... 130

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

O setor elétrico brasileiro vive atualmente seu momento mais delicado desde a implementação do novo modelo setorial em 2004, com perdas financeiras e problemas graves em todos os segmentos.

O problema financeiro, criado quando o governo renovou as concessões, obrigando as empresas a reduzirem tarifas em um momento em que o custo estava crescendo no mundo inteiro é bastante preocupante e o incentivo exagerado ao consumo, causando problemas de abastecimento também é um fator que deve ser o foco da atenção dos responsáveis pelo planejamento.

Distribuidoras tiveram que comprar uma quantidade recorde de energia, resultante da diferença entre o consumo e os montantes contratados em 2013 e 2014 no mercado de curto prazo, cujos preços foram também um recorde no período.

Por sua vez, os problemas estruturais de desempenho do sistema geração-transmissão se devem a uma combinação de restrições operativas e fatores de eficiência reduzidos de alguns geradores. Estes problemas existem na vida real, porém não são capturados pelos estudos de planejamento, o que leva a uma discrepância significativa entre as projeções do governo e a realidade da operação diária do ONS.

A eletricidade tornou-se uma das principais fontes de luz, calor e força utilizadas no mundo moderno. Atividades simples como assistir à televisão ou navegar na *Internet* são possíveis devido ao fato da energia elétrica chegar às unidades consumidoras. Fábricas, supermercados, *shoppings* e uma infinidade de outros lugares precisam dela para funcionar. Grande parte dos avanços tecnológicos que são alcançados deve-se à energia elétrica.

Obtida a partir de todos os outros tipos de energia, a eletricidade é transportada e chega aos consumidores no mundo inteiro por meio de sistemas elétricos complexos, compostos de três etapas: geração, transmissão e distribuição. Portanto, a energia é um fator fundamental e

indispensável no desenvolvimento da humanidade.

Dessa forma, há necessidade de implantar novas alternativas de geração para atender à demanda dos sistemas existentes, tais como, geração à partir de biomassa, eólica, fotovoltaica e outros.

Além de implantar a geração alternativa de energia, a eficiência dos sistemas pode ser melhorada com a adoção de métodos inteligentes de distribuição de energia aos consumidores.

Com a contextualização apresentada, este trabalho analisará a utilização, em uma residência, da Geração Distribuída Fotovoltaica conectada à rede, mostrando resultados de um sistema dimensionado para chegar-se a um balanço energético nulo.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo final verificar o comportamento do sistema implantado realizando a análise técnica e econômica de geração distribuída fotovoltaica residencial conectada à rede de distribuição. Para atingir o objetivo final, surge a necessidade de traçar objetivos intermediários, que serão buscados para possibilitar o ordenamento lógico dos estudos, conforme seguem abaixo:

1. Dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR);
2. Avaliação da unidade consumidora;
3. Aferição de parâmetros essenciais ao sistema;
4. Estimativa do custo de geração à partir de um SFCR;
5. Análise da relação Distribuidora – Usuário.

Dessa forma, o trabalho busca alternativas para solucionar o problema que será identificado.

1.3 PROBLEMA

A disponibilidade do fornecimento de energia às Unidades Consumidoras é um fator de demasiada importância para a população brasileira no cenário atual. Outro tópico que é foco

da atenção dos consumidores existentes é o valor que pagam a cada mês pela energia consumida diariamente.

Surge, então, como uma possível alternativa, a Geração Distribuída Fotovoltaica conectada à rede, que trará para o consumidor a possibilidade de reduzir o gasto mensal com energia elétrica.

Dessa forma, este trabalho buscará identificar solução para a seguinte questão:

Como implementar um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede visando o balanço energético nulo?

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Existe a necessidade de estabelecer limites neste estudo. Então, para melhor compreensão, são os seguintes:

- A fonte de energia alternativa considerada para a análise do funcionamento da Geração Distribuída conectada à rede é a fotovoltaica;
- A utilização de inversor fotovoltaico com injeção de energia monofásica;
- As cargas consideradas são de perfil somente residencial;
- A distribuidora considerada para o desenvolvimento do trabalho é a Companhia Energética de Brasília (CEB).

Agora, com esses pontos definidos, percebe-se que o estudo proposto para o trabalho em questão terá grande importância, conforme será visto a seguir.

1.5 CONTRIBUIÇÕES

O trabalho é relevante, na medida em que contribuirá para futuras implementações de sistemas que alimentem residências com diferentes perfis de consumo com cargas de maior ou menor potência e que desejem analisar economicamente as vantagens desse tipo de geração.

Para a área acadêmica, ficará uma importante contribuição para o aprofundamento e o desenvolvimento futuro do assunto, por meio desta pesquisa científica.

1.6 DEFINIÇÃO DO TRABALHO

1.6.1 TIPO DE PESQUISA

Este trabalho de pesquisa seguiu a metodologia proposta por Vergara (2013). Foram utilizadas as definições quanto aos fins e quanto aos meios de pesquisa.

Quanto aos fins, a investigação é exploratória, pois o conhecimento relacionado à GDFV não é tão vasto e está em desenvolvimento. É, também, explicativa, devido ao fato de ter como objetivo tornar o conhecimento sobre o assunto mais inteligível, servindo, assim, como base de explicação para os resultados relacionados. Pode-se, também, afirmar que o trabalho utiliza uma pesquisa metodológica, porque está associada a caminhos, formas, procedimentos e modelos para atingir determinado objetivo. Por fim, é uma pesquisa aplicada, pois se propõe a resolver um problema concreto, isto é, tem uma finalidade prática.

Quanto aos meios, foram utilizados três tipos de pesquisa: experimental, documental e bibliográfica.

O estudo analisou a GDFV com foco na situação em que tem-se um sistema conectado à rede de distribuição.

Os dados foram obtidos conforme segue:

- Aferições no local em que foi instalado o sistema, utilizando equipamentos como multimedidor, transformadores de corrente e piranômetro;
- Pesquisa documental, que extraiu dados de documentos de órgãos públicos e privados para fundamentar o estudo; e
- Pesquisa bibliográfica, lastreada em livros, periódicos e publicações sobre o assunto.

1.6.2 UNIVERSO, AMOSTRA E SUJEITO

Houve a necessidade de determinar o grupo de estudo para que não fosse demasiado amplo e pudesse atingir o objetivo proposto.

Assim, o universo analisado é o Sistema Elétrico de Potência, enquanto a amostra foi uma distribuidora padrão, CEB. O sujeito tomado como objeto deste estudo foi uma Unidade Consumidora Residencial localizada na cidade de Brasília.

1.6.3 LIMITE DO MÉTODO

O método adotado limitará a abrangência do estudo em virtude do grande número de possibilidades existentes na atualidade para o tema abordado.

Pode ter ocorrido avanço tecnológico que ainda não tenha sido abordado na bibliografia pesquisada.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho apresenta subdivisões, cuja progressão permite uma compreensão clara e precisa a respeito do tema abordado. Primeiramente, determina-se a definição dos termos apresentados e conceitos correlatos, seguidos da apresentação dos materiais e métodos, resultados obtidos e culminando nas conclusões retiradas das medições realizadas.

O Capítulo 2 apresenta o estado da arte em GDFV, utilizando fontes existentes que a definem, adaptando-a aos seus interesses; aborda, também, conceitos correlatos que auxiliam a organização do cenário tratado.

O Capítulo 3 apresenta os materiais e métodos utilizados para a realização das aferições e dimensionamento do sistema, testando a eficiência do mesmo e exibe a lógica utilizada para o desenvolvimento do estudo.

O Capítulo 4 apresenta os resultados e principais discussões sobre o sistema implantado. A eficiência da atuação do novo sistema é calculada com o objetivo de caracterizá-la. Os

resultados obtidos são mostrados para que posteriormente se chegue às conclusões do trabalho.

O Capítulo 5 expõe as conclusões e os resultados obtidos e mostrados ao longo do capítulo anterior; dessa forma, é possível verificar se o problema apresentado no início deste trabalho foi solucionado. Apresenta, também, algumas sugestões para o futuro desenvolvimento do tema.

2 ESTADO-DA-ARTE

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na sociedade atual busca-se progressivamente a modernização dos processos que resultam na produção de energia elétrica, isto é, visa-se encontrar mais fontes que possam garantir uma maior confiabilidade e segurança à rede.

Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, o crescimento econômico e a melhoria da qualidade de vida impulsionam a demanda por energia elétrica de forma mais rápida que nos países desenvolvidos.

O aumento da demanda pela energia elétrica vem sendo tratado, com frequência por diversas empresas que realizam estudos analíticos a respeito do tema. Neste contexto destaca-se, por exemplo, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao ministério de Minas e Energia, que elabora o Plano Nacional de Energia (PNE) e o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE). O primeiro plano mencionado aponta a necessidade em longo prazo da expansão do sistema elétrico para atender à demanda prevista, já o segundo, mostra o mesmo assunto em médio prazo. (CLARIM, C. E. L. (2013))

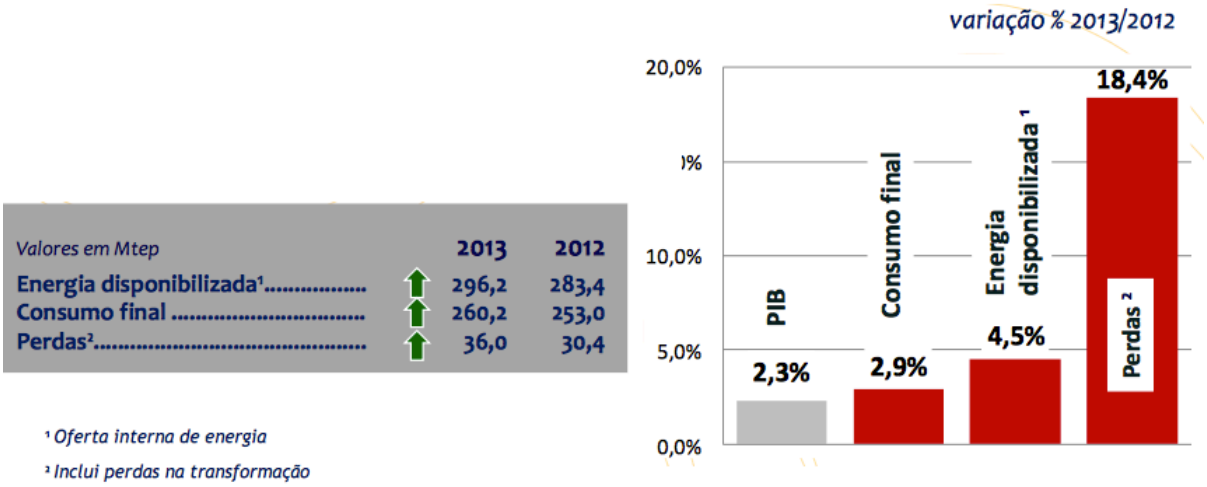
De acordo com o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2014, em 2013, a oferta interna de energia (total de energia demandada no país) atingiu 296,2 Mtep, registrando uma taxa de crescimento de 4,5% ante à evolução do PIB nacional de 2,3%, segundo o último dado divulgado pelo IBGE. Gás natural, petróleo e derivados responderam por 80% deste incremento. Isto se deveu basicamente à redução na oferta interna de

hidroeletricidade com consequente aumento de geração térmica, seja gás natural, carvão mineral ou óleo. Outro aspecto, refere-se ao consumo do setor de transporte, que pelo segundo ano consecutivo cresceu significativamente.

Também pelo segundo ano consecutivo, devido às condições hidrológicas desfavoráveis observadas ao longo do período, houve redução da oferta de energia hidráulica. Em 2013 o decréscimo foi de 5,4% . A menor oferta hídrica explica o recuo da participação de renováveis na matriz elétrica, de 84,5% em 2012 para 79,3% neste ano, apesar do incremento de 1.724 MW na potência instalada do parque hidrelétrico.

A potência eólica atingiu 2.202 MW, o que proporcionou um acréscimo de 30,2% na geração de eletricidade a partir dessa fonte.

O aumento do consumo final de eletricidade no país em 2013, de 3,6%, com destaque para os setores residencial e comercial, foi atendido a partir da expansão da geração térmica, especialmente das usinas movidas a carvão mineral (+75,7%), gás natural (+47,6%), bagaço de cana (+19,2%), cujas participações na matriz elétrica, na comparação de 2013 contra 2012, cresceram de 1,6 para 2,6%, de 7,9 para 11,3%, e de 4,2 para 4,9%, respectivamente. (EPE (2014))

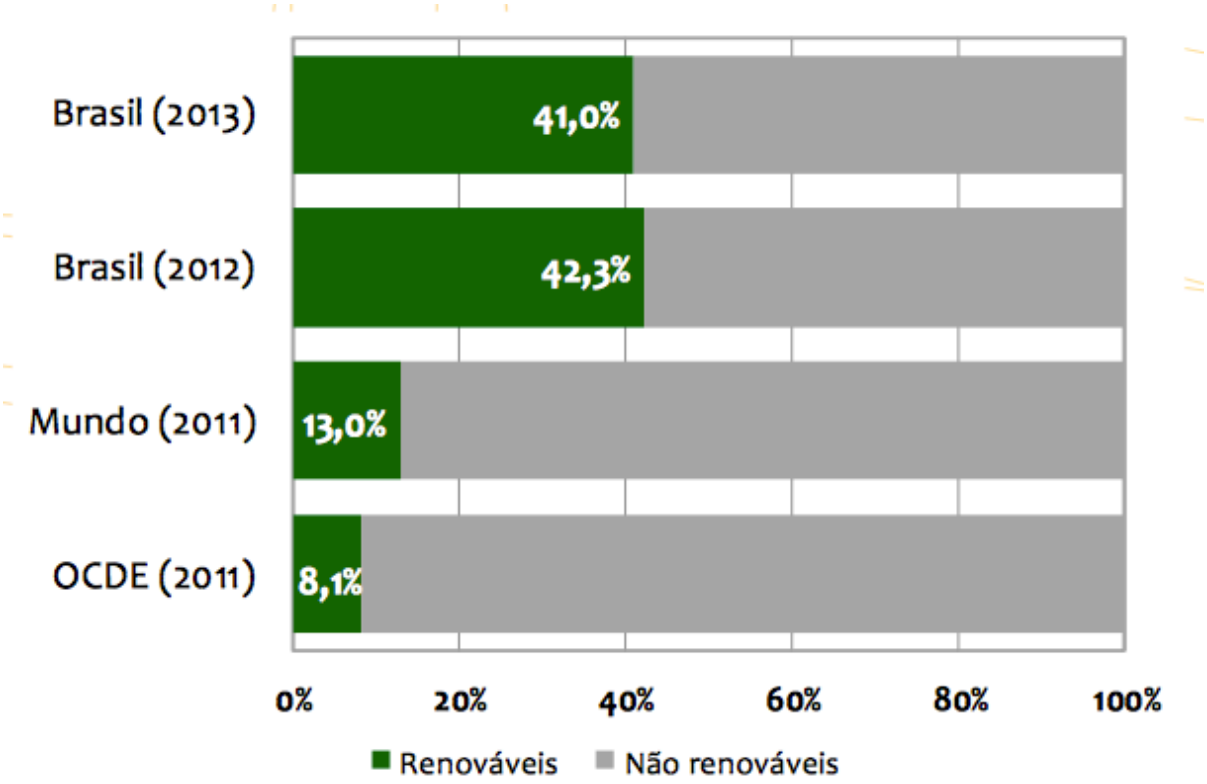


Fonte: Balanço Energético Nacional 2014 – Ano base 2013: Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2014

Figura 2.1: Variação Percentual da energia disponibilizada nos anos de 2012 e 2013.

De acordo com a figura 2.1 percebe-se o crescimento da energia disponibilizada superior ao crescimento do consumo final, fato que se deve ao aumento das perdas na transformação decorrente do incremento da geração térmica além do consumo de energia elétrica ter crescido mais que o PIB (residencial e comercial). (EPE (2014))

Com base nos dados obtidos pela EPE, em 2014 a participação de fontes renováveis na Matriz Elétrica Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequena redução devido à menor oferta de energia hidráulica, como pode-se observar na Figura 2.2:

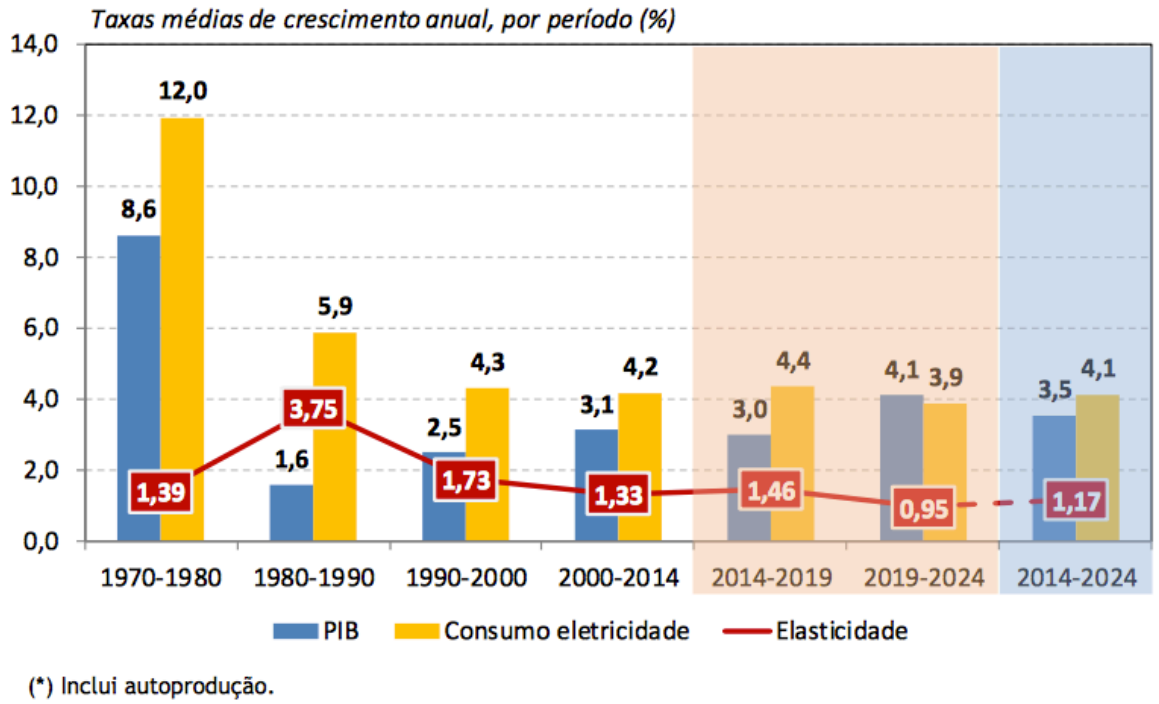


Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE

Figura 2.2: Participação de fontes renováveis na matriz elétrica.

No ano de 2012, a EPE divulgou um informe à imprensa com foco no crescimento da demanda de energia elétrica no Brasil até o ano de 2021. De acordo com as novas estimativas, o crescimento médio anual da demanda total de eletricidade (que inclui consumidores cativos, consumidores livres e autoprodutores) será de 4,5% ao ano no período, passando de 472 mil giga watts hora (GWh) em 2011 para 736 mil GWh em 2021.

A expansão média do consumo anual de energia elétrica será um pouco inferior à da economia, cuja taxa de crescimento do PIB brasileiro é estimada em 4,7% ao ano, em média, nos 10 anos. (Informe à Imprensa – Demanda de energia elétrica – 10 anos, EPE, (2012))



Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE

Figura 2.3: Evolução da elasticidade-renda do consumo de eletricidade.

As projeções do consumo de eletricidade e da carga de energia e de demanda apresentadas documentam a projeção da demanda de eletricidade para o horizonte 2015-2024.

Deve-se ainda ressaltar, com relação à elasticidade-renda do consumo de energia elétrica, que, mantidas as demais condições de contorno e o período considerado, ela tende a assumir valores superiores para cenários econômicos de menor crescimento do PIB e valores inferiores para cenários de maior expansão da economia. (EPE (2014))

Da projeção do consumo total de eletricidades por classes, entende-se que a classe comercial é a que apresenta maior crescimento no período 2014-2024, de 5,2% ao ano, seguida da

classe residencial (4,3% ao ano) e das outras classes (3,7% ao ano) e da classe industrial (2,9% ao ano cada). Ressalta-se, porém, que a autoprodução aumenta a um ritmo de 6,2% ao ano, fazendo com que o consumo industrial total de eletricidade cresça, em média, a 3,7% ao ano. (EPE (2014))

Ano	Residencial	Industrial	Comercial	Outros	Total
2014	132.049	178.055	89.819	73.472	473.395
2015	138.872	176.971	95.302	76.311	487.456
2016	145.089	179.574	100.621	79.084	504.368
2017	151.391	184.370	106.238	82.134	524.134
2018	157.817	193.359	112.184	85.068	548.427
2019	164.487	200.950	117.954	88.137	571.529
2020	171.341	209.463	123.903	91.467	596.173
2021	178.381	216.202	130.022	94.918	619.523
2022	185.611	222.822	136.304	98.493	643.231
2023	193.029	230.409	142.738	102.194	668.370
2024	200.642	237.287	149.452	106.089	693.469
Variação (% ao ano)					
2014-2019	4,5	2,4	5,6	3,7	3,8
2019-2024	4,1	3,4	4,8	3,8	3,9
2014-2024	**4,3**	**2,9**	**5,2**	**3,7**	**3,9**

Nota: Consumo Brasil = consumo do Sistema Interligado Nacional + consumo dos Sistemas Isolados.

Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE

Tabela 2.1: Brasil. Projeções do consumo total de eletricidade por classe (mil GWh).

Quando se analisam valores referentes à demanda, pode-se perceber que existe uma projeção de crescimento linear ao longo dos anos.

O sistema elétrico de potência apresenta certos problemas que prejudicam a distribuição e diminuem a qualidade da energia que chega aos consumidores. Faz-se necessário encontrar possíveis soluções e alternativas que minimizem as seguintes situações apresentadas em CLARIM, C. E. L. (2013):

- Congestionamento do sistema elétrico;
- Fluxos de carga desequilibrados;
- Sobrecarga da rede; e
- Falha no fornecimento de energia pela distribuidora.

O presente trabalho, propõe uma aplicação simples para Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV), seguindo critérios que serão definidos, na realização da implantação do sistema em residências interligadas à rede elétrica existente de forma a contribuir para a consolidação da fonte.

Pode-se concluir que o sistema de GDFV interligado à rede possui um enorme potencial na utilização da tecnologia fotovoltaica com o objetivo de suprir o consumo, de forma a ser pertinente um estudo aprofundado quando a viabilidade de atendimento considerando um balanço energético nulo. (SHAYANI, R. A. (2010))

Espera-se que os resultados apontem em quais pontos esse tipo de geração atuou de forma a mitigar os problemas citados anteriormente e também quais são os gargalos para aplicação prática da fonte.

2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Faz-se necessário, como base para uma compreensão adequada, possuir o conhecimento do termo Geração Distribuída (GD). Neste trabalho, aborda-se, principalmente, essa geração utilizando a fonte fotovoltaica. Esse sistema deverá garantir a confiabilidade, segurança e eficiência afim de que o consumidor seja beneficiado e a operação da distribuidora não seja impactada negativamente.

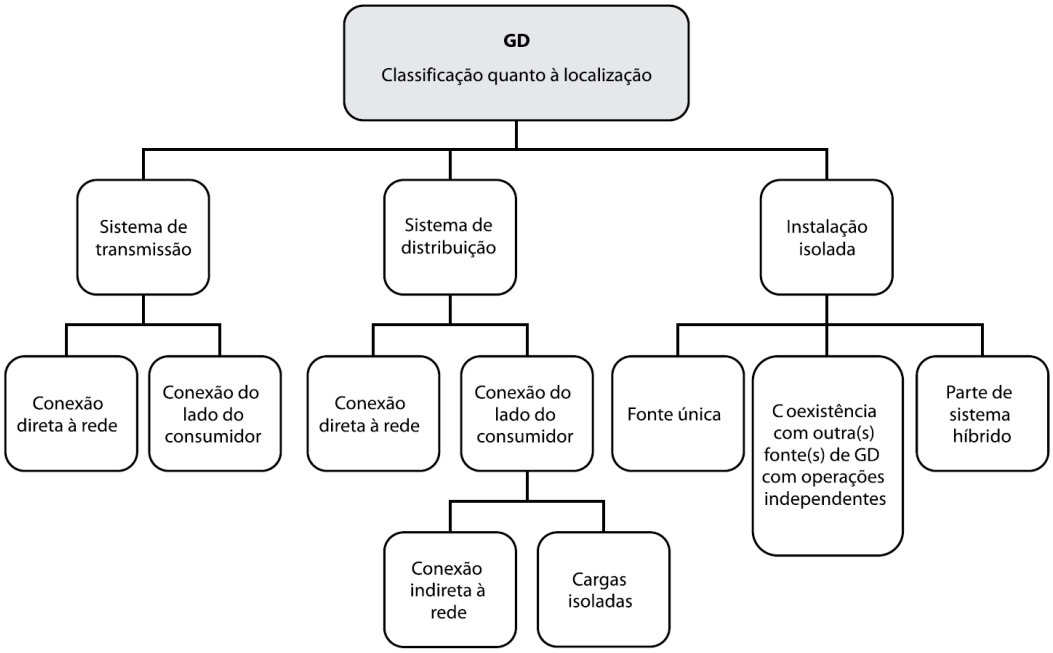
Devido ao fato de o termo Geração Distribuída contribuir para delimitar o escopo deste estudo, convém defini-lo apropriadamente. Porém, não se encontra ainda uma definição consensualmente aceita nos meios acadêmicos, o que pode significar que exista uma transição conceitual do tema. (BARRETO, G. A. (2014))

Com o objetivo de unificar o entendimento do conceito que será utilizado neste trabalho,

decidiu-se adotar a seguinte definição:

- **Geração distribuída:** denominação genérica de um tipo de geração de energia elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada (GC) por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região. Adicionalmente, uma fonte de energia elétrica é considerada caso particular de GD quando ela: (a) está conectada diretamente à rede de distribuição; (b) está conectada do lado de um consumidor conectado a algum ponto do sistema elétrico; (c) supre cargas elétricas de uma instalação eletricamente isolada; ou (d) está conectada diretamente à rede de transmissão, desde que, neste caso, ela não possa ser considerada caso pertencente à geração centralizada (Severino, 2008).

De acordo com Severino, classifica-se a GD tomando-se como principal característica a sua localização, podendo ser esquematizada conforme o organograma apresentado na Fig. 2.4:



Fonte: Severino (2008).

Figura 2.4: Organograma detalhando as possibilidades do parâmetro "localização" nas definições de GD.

Não obstante ainda temos um arcabouço legal e técnico ao qual as distribuidoras emitiram normas técnicas para a conexão de geradores diretamente às redes de distribuição em baixa tensão, geradores de pequena capacidade de geração serão conectados diretamente às redes de distribuição (baixa tensão), fornecendo energia em locais próximo aos pontos de consumo, aliviando as redes de transmissão de longa distância. Esse sistema proporciona economia em investimentos na transmissão e redução das perdas em todo o sistema, melhorando a estabilidade do serviço de fornecimento de energia elétrica localmente e mitigando riscos de planejamento. (BARRETO, G. A. (2014))

Atualmente, há um incentivo à utilização de fontes de energia renováveis para uma microgeração.

Elencam-se alguns eixos de promoção dessa política de acordo com BERTOI, E. F. (2012):

- Subsídios de capital para cobrir parte do custo do investimento;
- Isenção ou redução de tributos fiscais, em particular, sobre o investimento, sobre a produção de energia e sobre o mercado de bens e capital que são aplicáveis para a compra (ou produção) de tecnologias de energias renováveis;
- Disponibilidade de financiamento para o desenvolvimento de energias renováveis, para estimular a pesquisa, para a aquisição e produção dessas tecnologias e para a alocação de capital necessário na implantação de projetos de geração de energia; e
- Apoio financeiro para o desenvolvimento de infraestrutura e para os contratos de construção e operação de unidades geradoras.

Pode-se notar que a GD não está limitada ou vinculada a somente uma fonte de energia específica. Isto porque a geração distribuída deve adaptar-se à variadas aplicações como geradores para casos emergenciais, consumo em horário de pico e autoconsumo englobando ou não a exportação de excedente, além de adequar-se ao local no qual será instalada, pois cada região naturalmente disponibiliza determinados recursos, tais como:

- Solar;
- Biomassa;
- Eólico;

Com a utilização da GD, ocorrem ganhos sinérgicos, cita-se, por exemplo, a possibilidade de redução do transporte da energia e, consequentemente, a redução das perdas elétricas e da necessidade da realização de investimentos para o atendimento de novas cargas serão alcançados através de interações entre diferentes elementos do sistema elétrico tais como: medição, dispositivos de rede, fontes de geração e armazenamento de energia e carga. (TOLEDO, 2010).

2.2.1 MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Nesta seção, é tratada a microgeração composta por uma central de energia elétrica, com potência menor ou igual a 100 kW e que utiliza como fonte a energia solar. Atualmente, existem os conceitos definidos pela resolução normativa da ANEEL de número 482 de 17 de abril de 2012 para microgeração, minigeração e para o sistema de compensação de energia elétrica conforme trecho da norma citada a seguir:

> *I - microgeração distribuída: é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW, que utiliza fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;*
>
> *II - minigeração distribuída: é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;*

> *III - sistema de compensação de energia elétrica: é um sistema no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída compense o consumo de energia elétrica ativa.*

Portanto, esta resolução estabelece o sistema de compensação de energia, o qual irá permitir a instalação de sistemas fotovoltaicos em unidades consumidoras para que seja compensado parte de seu consumo, ou até mesmo todo. Para adoção do sistema de compensação de energia as unidades consumidoras deverão instalar medidores eletrônicos. No caso da microgeração distribuída deverá ser instalado medidor bidirecional que deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede, e no caso da minigeração distribuída deverá ser instalado um medidor de 4 quadrantes que possibilita o faturamento de excedente de reativos. (PINTO, A., ZILLES, R., BET, I. (2012))

A energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora, será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 meses. O consumo de energia elétrica ativa a ser faturado é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto tarifário, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes, as informações estarão na fatura do consumidor, que terá controle do saldo de energia em sua fatura. (Resolução Normativa da ANEEL de número 482 de 17 de abril de 2012)

Ainda segundo a Resolução Normativa da ANEEL de número 482 de 17 de abril de 2012 o consumidor que instalar micro ou minigeração distribuída será responsável inicialmente pelos custos de adequação do sistema de medição necessário para implantar o sistema de compensação. Após a adaptação, a própria distribuidora será responsável pela manutenção, incluindo os custos de eventual substituição.

Medidores inteligentes conseguirão quantificar de maneira eficiente a energia produzida e a modernização das redes deverá garantir a segurança na operação de conexão desses sistemas às redes elétricas. Assim, mais investimentos serão destinados a essa área e mais

consumidores se interessarão em adotar tais tecnologias, aumentando a eficiência das redes elétricas (MME, 2010).

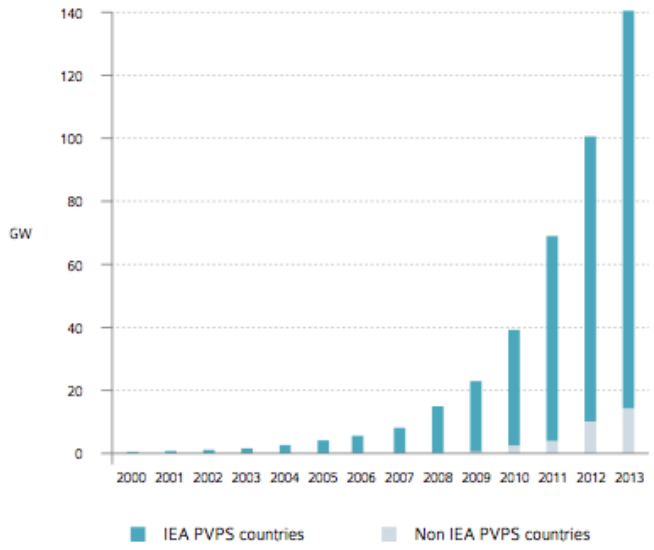
2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA (GDFV)

Nesta seção será analisada a GDFV. Esta fonte consiste em um modelo de geração no qual a energia elétrica resulta de processos realizados em painéis fotovoltaicos. Esses, processos nada mais são que a conversão de energia luminosa em energia elétrica através do efeito fotoelétrico.

Inicialmente utilizados para atender comunidades isoladas, os sistemas fotovoltaicos passaram a ser instalados dentro de grandes centros urbanos na forma de geração distribuída, conectados às redes de distribuição já energizadas pelas fontes energéticas convencionais (IEA-PVPS, 2014).

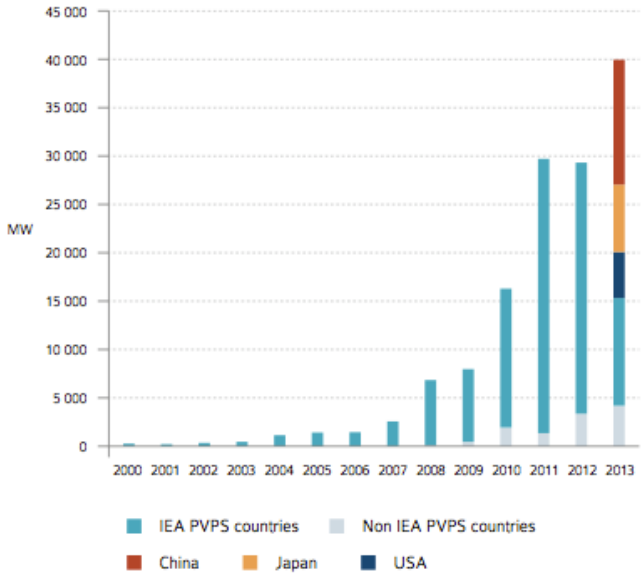
Esse foco na GDFV urbana é a experimentação de uma opção de abastecimento dos centros urbanos, regiões com problemas ambientais, áreas livres valorizadas e raras de encontrar e cujos consumidores possuem alta demanda energética e renda e não podem correr riscos por estarem próximos de unidades de geração elétrica. São características que dificultam a opção por outras tecnologias de geração distribuída. (ZILLES, R. (2012)).

Os países do IEA PVPS *(International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme)* representaram mais de 125 GW de instalações fotovoltaicas cumulativas, a maioria conectada à rede elétrica, ao final do ano de 2013. Oito países que ainda não são parte do programa IEA PVPS representaram 10,7 GW adicionais, em grande parte na Europa: Grécia com 2,56 GW, República Tcheca com 2,16 GW instalados, Romênia com 1,15 GW e Bulgária com 1,02 GW. Próximo a esses países, Índia instalou mais de 2,3 GW enquanto Taiwan alcançou 376 MW. Vários países ao redor do mundo iniciaram o desenvolvimento fotovoltaico, porém poucos já alcançaram significativas mudanças em termos de capacidade instalada até o ano de 2013. (IEA-PVPS, 2014)



Fonte: IEA-PVPS (2014).

Figura 2.5: Evolução das instalações fotovoltaicas (GW).

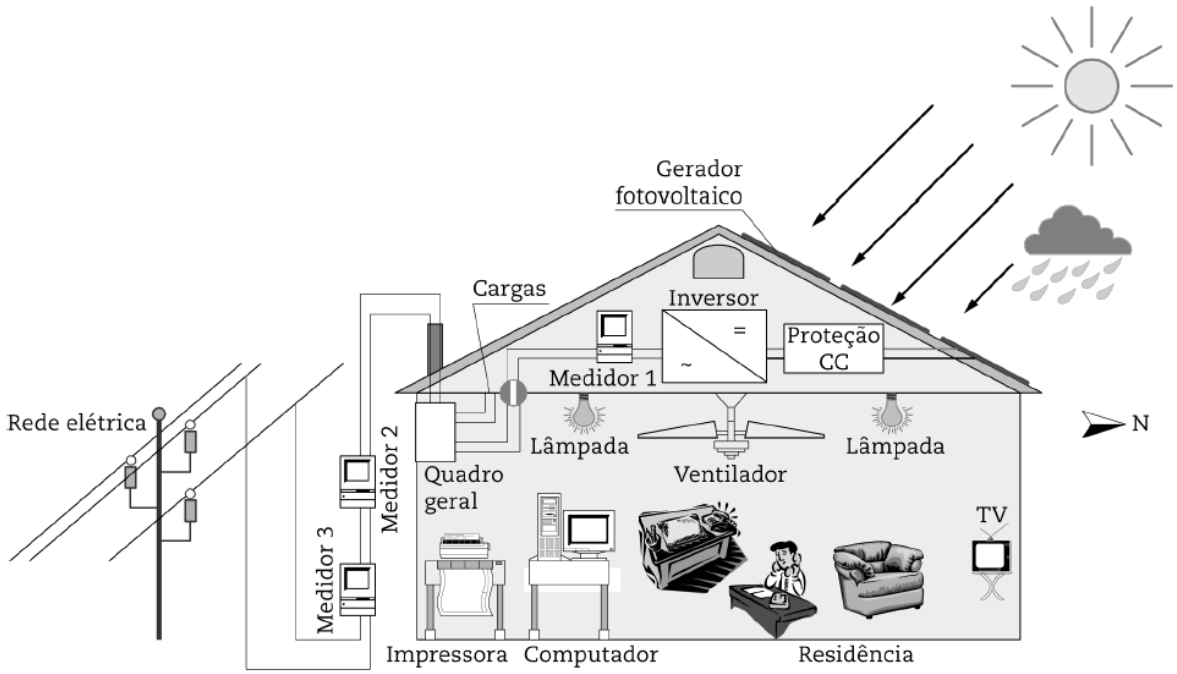


Fonte: IEA-PVPS (2014).

Figura 2.6: Evolução anual das instalações fotovoltaicas (MW).

2.3.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERLIGADOS À REDE ELÉTRICA

A GDFV para conexão à rede elétrica, conforme ilustração mostrada na Figura 2.7, opera em paralelo com o sistema elétrico da distribuidora. Este modelo não possui baterias e é empregado em locais já atendidos por energia elétrica convencional, podendo o proprietário do gerador FV fornecer o excedente de sua geração para a concessionária. (GONÇALVES, C. (2013))



Fonte: Zilles, Roberto (2012)

Figura 2.7: Ilustração de geração fotovoltaica conectada à rede da concessionária.

A utilização de sistemas fotovoltaicos instalados em telhados de casas e edifícios gera uma mudança de paradigma, visto que o sistema elétrico tradicional foi concebido para funcionar com geração centralizada, onde a rede de distribuição supre as unidades consumidoras com energia fluindo sempre do sistema de geração para o de distribuição. Com a utilização de geração distribuída, as unidades consumidoras passam a ter o potencial de tornarem-se produtoras de energia, podendo injetá-la na rede de distribuição. (SHAYANI, R. A. (2010))

O conjunto de GDFV considerando a conexão à rede elétrica é composto, basicamente, dos seguintes itens:

- **Painéis Solares:** compostos de células solares, feitas de materiais semicondutores como o silício, são chamadas células fotovoltaicas. Quando as partículas da luz solar (fótons) colidem com os átomos desses materiais, provocam o deslocamento dos elétrons, gerando uma corrente elétrica;
- **Inversor:** responsável por modificar a tensão contínua produzida pelos painéis, tornando-a compatível e sincronizada com a tensão alternada da rede de distribuição.
- **Medidor Bidirecional de Quatro quadrantes:** permitirá a medição em ambos os fluxos de potência. Em sistemas onde a microgeração de energia por parte do consumidor estará presente, a concessionária poderá com esse novo medidor ter o balanço energético entre o que o cliente consumiu e o que foi gerado em sua propriedade.

No sistema descrito não são necessárias baterias e controladores de carga, essenciais em um sistema fotovoltaico isolado, visto que a rede elétrica de distribuição faz este papel de fornecer energia à carga quando a geração distribuída não for suficiente para tal, notadamente durante as noites. (SHAYANI, R. A. (2010))

2.4 CRONOLOGIA LEGAL

Com o objetivo de contextualizar a regulação do Setor Elétrico Brasileiro, faz-se necessário inserir uma breve cronologia acerca da legalização que tange a inserção de um Sistema Fotovoltaico Distribuído na rede.

Em 1988, foi promulgada a Constituição e em seu artigo 21 inciso XII, define ser de competência da União "explorar, diretamente ou mediante autorização, concessão ou permissão, os serviços e instalações de energia elétrica e o aproveitamento energético dos cursos de água, em articulação com os estados onde se situam os potenciais hidroenergética".

Apenas em 1993, é extinta a equalização das tarifas de energia elétrica no Brasil. Iniciou-se um período de reformas que visavam a recuperação dos investimentos, depois de 20 anos de

imobilismo, e dos níveis das tarifas. Estabeleceram-se critérios tarifários para estimular a eficiência econômica ao mesmo tempo em que preservavam os direitos dos consumidores (VINHAES, 1999).

Sabe-se que o ano de 1995 foi importante devido à criação da figura legal do Produtor Independente de Energia (PIE) e do Consumidor Livre (CL), o que possibilitou o acesso aos sistemas elétricos. Definiram-se os seguintes parâmetros na lei número 9.074:

- Limites de potência para o aproveitamento dos potenciais hidráulicos e térmicos quanto à emissão de registro;
- Autorização ou concessão quando relacionada à exploração do serviço público ou privado;
- Constituição de consórcios com objetivo de geração de energia elétrica para fins de serviço público e produção independente.

Esta lei foi regulamentada no ano seguinte pelo decreto n° 2.003, em 10/09/1996, que discorre sobre a produção de energia elétrica por Produtores Independentes e também por Autoprodutores (BARRETO, G. A. (2014)).

Na mesma época iniciou-se a privatização das distribuidoras de energia elétrica sendo geridas, monitoradas e reguladas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) conforme a lei 9.427/1996.

Um fato importante ocorreu com a elaboração da lei 9.991, de 24/07/2000 "dispõe sobre a realização de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e em Eficiência Energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica" (BRASIL, 2000).

Vale ressaltar os seguintes trechos da lei 9.991:

> "as concessionárias de geração e as empresas autorizadas à produção independente de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante mínimo de 1% de sua receita operacional

> líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico", mas isenta deste requisito "aquelas empresas que gerem energia exclusivamente a partir de instalações eólicas, solares, de biomassa, pequenas centrais hidrelétricas".

No ano de 2002, a lei 10438 trata da expansão da oferta de energia elétrica, a universalização do serviço público de energia, a criação do Programa de Incentivo às Fontes de Energia Elétrica (PROINFA) e a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE). Como principal objetivo, vislumbrava o favorecimento das fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa.

Em 2004, a Resolução Normativa da ANEEL n° 56, de 06/04/2004, estabeleceu os procedimentos para o acesso das centrais geradoras participantes do PROINFA aos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição. Esta resolução vem sendo alterada concomitantemente com as mudanças nas regras do próprio programa (BARRETO, G. A. (2014)).

A resolução normativa 482, de 2012, foi o marco principal no que diz respeito ao acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica.

Seguindo a linha de raciocínio da tarifação do Sistema Elétrico apresenta-se um conjunto de procedimentos que normatiza a distribuição de energia no Brasil.

2.4.1 PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO

A resolução 345 da ANEEL, de 2008, lançou a primeira versão dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST).

O PRODIST é então definido como documentos elaborados pela ANEEL que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2014).

A sua estrutura é composta por nove módulos descritos a seguir:

1. Introdução;
2. Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição;
3. Acesso ao Sistema de Distribuição;
4. Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição;
5. Sistemas de Medição;
6. Informações Requeridas e Obrigações;
7. Cálculo de Perdas na Distribuição;
8. Qualidade da Energia Elétrica;
9. Ressarcimento de Danos Elétricos.

Finalmente, nota-se que a legislação referente à regulação do Setor Elétrico Brasileiro é extensa e carregada de minúcias, estruturando-se entre leis, normas e resoluções. Ainda que o objetivo seja focar na legislação, única e exclusivamente, acerca da GD, isso se torna um trabalho complexo, pois tal contexto sempre se encontra inserido no âmbito geral.

2.5 ESTRUTURA TARIFÁRIA

Quando se aborda o tema de tarifação, pode-se entender o conceito de estrutura tarifária de diversas perspectivas. Neste trabalho será utilizada a seguinte definição:

- Estrutura Tarifária é um conjunto de tarifas, aplicadas ao faturamento do mercado de distribuição de energia elétrica, que refletem a diferenciação relativa dos custos regulatórios da distribuidora entre os subgrupos, classes e subclasses tarifárias, de acordo com as modalidades e postos tarifários. (ANEEL, resolução normativa número 607/2014 de 24/03/2014)

Os consumidores pagam em suas faturas uma tarifa pela energia elétrica consumida. Cabe à Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, estabelecer tarifas que assegurem ao consumidor o pagamento de um valor justo, como também garantir o equilíbrio econômico-financeiro da concessionária de distribuição, visando à prestação do serviço com qualidade, continuidade e retorno financeiro. (CEB 2014)

De acordo com a Resolução Normativa número 547/2013 ANEEL, a partir de 2015, as contas de energia terão uma novidade: o Sistema de Bandeiras Tarifárias. As bandeiras

verde, amarela e vermelha indicarão se a energia custará mais ou menos, em função das condições de geração de eletricidade.

As cores das bandeiras significam:

- Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R$ 1,50 para cada 100 quilowatt-hora [kWh] consumidos;
- Bandeira vermelha: condições mais onerosas de geração. A tarifa sobre acréscimo de R$ 3,00 para cada 100 kWh consumidos.

Entende-se ainda, da Resolução Normativa número 547/2013 ANEEL que as bandeiras tarifárias são uma forma diferente de apresentar um custo que hoje já está na conta de energia, mas geralmente passa despercebido. Atualmente, os custos com compra de energia pelas distribuidoras são incluídos no cálculo de reajuste das tarifas dessas distribuidoras e são repassados aos consumidores um ano depois de ocorridos, quando a tarifa reajustada passa a valer. Com as bandeiras, haverá a sinalização mensal do custo de geração da energia elétrica que será cobrada do consumidor, com acréscimo das bandeiras amarela e vermelha. Essa sinalização dá, ao consumidor, a oportunidade de adaptar seu consumo, se assim desejar.

A aplicação das bandeiras é realizada conforme os valores do Custo Marginal de Operação (CMO) e do Encargo de Serviço de Sistema por Segurança Energética (ESS_SE) de cada subsistema.

O Custo Marginal de Operação (CMO) equivale ao preço de unidade de energia produzida para atender a um acréscimo de demanda de carga no sistema, uma elevação deste custo indica que a geração de energia elétrica está mais onerosa. Um CMO elevado pode indicar níveis baixos de armazenamento de água nos reservatórios das hidrelétricas e condições hidrometeorológicas desfavoráveis, isto é, poucas chuvas nas bacias dos rios. O CMO também é impactado pela previsão de consumo de energia, de forma que um aumento de consumo, em decorrência, por exemplo, de um aumento da temperatura, poderá elevar o CMO. Quando isso acontece, as usinas termelétricas entram em operação para compensar a falta de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas ou o aumento de consumo e, assim,

preservar a capacidade de geração de energia dessas hidrelétricas nos meses seguintes.

Já os Encargos de Serviço do Sistema (ESS) são aqueles decorrentes da manutenção da confiabilidade e da estabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN). Os custos de ESS por segurança energética advêm da solicitação de despacho do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) para realizar geração fora da ordem de mérito de custo, ou seja, despachar geração mais onerosa (térmicas), visando garantir a futura segurança do suprimento energético nacional.

Juntos, o CMO e o ESS_SE determinam a bandeira a ser adotada em cada mês, por subsistema:

- Bandeira verde: CMO + ESS_SE menor que R$ 200,00/MWh (cem reais por megawatt-hora);
- Bandeira amarela: CMO + ESS_SE igual ou superior a R$ 200,00/MWh e inferior a R$ 350,00/MWh;
- Bandeira vermelha: CMO + ESS_SE igual ou superior a R$ 350,00/MWh.

Uma vez por mês, o ONS calcula o CMO nas reuniões do Programa Mensal de Operação (PMO) - quando também é decidido se haverá ou não a operação das usinas termelétricas e o custo associado a essa geração. Após cada reunião, com base nas informações do ONS, a ANEEL aciona a bandeira tarifária vigente no mês seguinte.

No que concerne às concessionárias de distribuição, a Resolução Normativa nº 435/2011 aprovou a estrutura do PRORET, Procedimentos de Regulação Tarifária que tem caráter normativo e consolida a regulamentação acerca dos processos tarifários.

De acordo com o PRORET a receita da concessionária de distribuição é composta por duas parcelas:

- Parcela A: é composta pelos custos considerados não gerenciáveis, ou seja, são controlados pela Agência Reguladora, como por exemplo, as quantidades e os valores apurados. Dentro desta parcela estão a compra de energia, os e encargos setoriais (TFSEE, P&D, CDE, PROINFA e ESS) e os encargos de transmissão (Rede Básica,

Transporte de Itaipu, Conexão e ONS);

- Parcela B: os custos da parcela B são considerados como gerenciáveis, ou seja, são administrados pela concessionária. É composta por: Despesas de Operação e Manutenção, Despesas de Capital e Outros.

E ainda as tarifas de energia elétrica estão estruturadas em dois grupos:

- Tarifas do Grupo A: atende aos grandes consumidores do setor elétrico e são subdivididos nas modalidades convencional, hora-sazonal azul e hora-sazonal verde. Os consumidores deste grupo se encontram nas redes de alta tensão, na faixa de 2,3 a 230 quilo volts (kV) e são divididos em subgrupos com segue:
    - A1 - 23 kV ou mais
    - A2 - 88 a 138 kV
    - A3 - 69 kV
    - A3a - 30 a 44 kV
    - A4 - 2,3 a 25 kV
    - AS - Sistema Subterrâneo
- Tarifas do Grupo B: as tarifas deste grupo são destinadas aos consumidores de baixa tensão, ou seja, tensão inferior a 2,3kV. Este grupo possui as seguintes classes:
    - B1 - Classe Residencial
        - B1 - Subclasse residencial Baixa Renda
            - Consumo mensal até 30 kWh
            - Consumo mensal de 31 a 100 kWh
            - Consumo mensal de 101 a 220 kWh
            - Consumo mensal superior a 220 kWh
    - B2 - Classe rural
    - B3 - Classes industrial, comercial, serviço público, poder público
    - B4 - Classe iluminação pública.

Como subsídios:

- A tarifa da subclasse residencial baixa renda recebe descontos escalonados de acordo

com o consumo em relação à tarifa da classe residencial e está dividida de acordo com a faixa de consumo.

- Sobre a classe rural o desconto é de 10% em relação à tarifa.
- A classe serviços públicos recebe um desconto de 15% em relação à tarifa publicada pela Agência Reguladora (ANEEL).

A Tarifa Final a ser paga pelo consumidor é calculada usando a fórmula abaixo:

$$TARIFA\ FINAL = \frac{TARIFA\ HOMOLOGADA}{1 - (ICMS\% + PIS/PASEP\% + COFINS\%)}$$

A Estrutura Tarifária Anual obedece acordos entre a concessionária de distribuição e a ANEEL. Exemplifica-se com o caso da CEB, que a partir do contrato de concessão nº 66/1999, de 26.08.1999, firmado entre a CEB e a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, conforme estabelecido em sua Cláusula Sétima, assegura à empresa o direito ao reajuste anual de tarifas. A CEB tem seu reajuste todo dia 26 de agosto de cada ano.

Os percentuais de reajuste e as tarifas anuais da CEB, apresentam-se no quadro abaixo:

ANO	REAJUSTE TARIFÁRIO
2014	17,12%
2013	7,64%
2012	2,78%
2011	8,15%
2010	10,79%
2009	9,52%
2008	-7,30%
2007	-3,22%
2006	-1,59%
2005	1,23%
2004	2,44%

Revisão Tarifaria Extraordinária – RTE em função da Lei 12.783 de 11 de janeiro de 2013 e regulamentada pelo Decreto n.º 7891 de 23 de janeiro de 2013.

Fonte: CEB (2014)

Tabela 2.2: Percentuais de reajuste e tarifas anuais da CEB.

2.6 SISTEMA DE MEDIÇÃO

O sistema de medição de energia utilizado pelos usuários que possuem um sistema fotovoltaico de autoprodução de energia é do tipo bidirecional. Em outras palavras, o medidor instalado na entrada deste usuário é capaz de registrar o consumo e a geração de eletricidade. O consumo corresponde ao fluxo de potência com o sentido tradicional da concessionária para o usuário. A geração corresponde à injeção ou exportação de energia para a rede elétrica, que ocorrerá nos instantes em que a geração fotovoltaica for superior ao consumo do usuário. (Revista O Setor Elétrico, Energias Renováveis Alternativas, Jonas Rafael Gazoli, Marcelo Gradella Villalva e Juarez Guerra)

Juntamente com os conceitos apresentados define-se o Sistema de Compensação de Energia (*Net Metering*), consistente na medição do fluxo de energia em uma unidade consumidora dotada de pequena geração, por meio de medidores bidirecionais, que é capaz de registrar a energia consumida e a energia gerada em um ponto de conexão. (PARECER N° 0108/2012/PGE- ANEEL/PGF/AGU)

Segundo a Contribuição a Consulta Pública número 0015/2009 de 28.01.2009 publicada pela ANEEL, em função da existência de duas categorias de consumidores, os puramente consumidores e os cogeradores, entende-se que há a necessidade de separar os medidores em duas categorias: medidores de dois quadrantes (destinados aos puramente consumidores) e medidores de quatro quadrantes (destinados aos consumidores cogeradores).

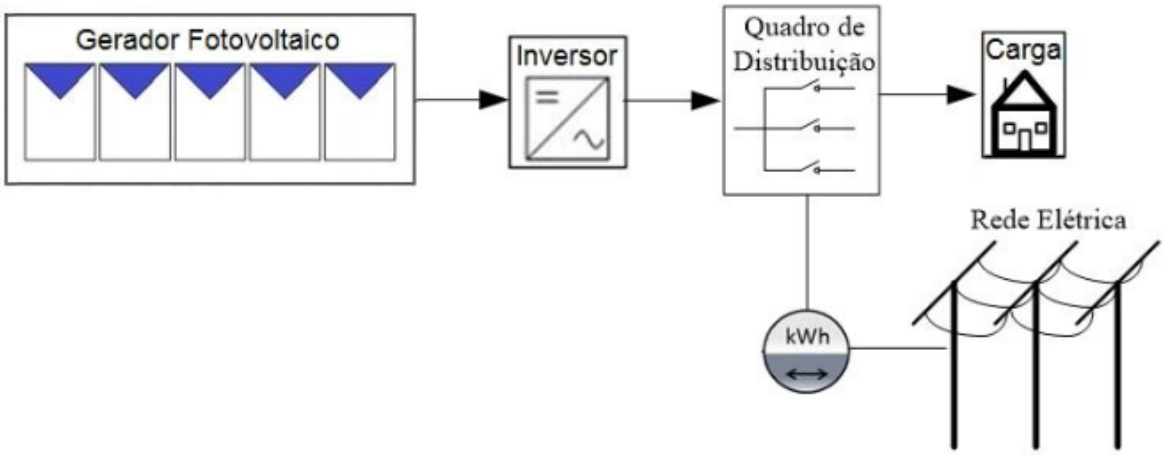
Considera-se necessária a medição das seguintes grandezas elétricas pelos medidores eletrônicos de quatro quadrantes (bidirecionais para o fluxo de energia) no Brasil (independentemente de serem mono ou polifásicos) de acordo com a Contribuição a Consulta Pública número 0015/2009 de 28.01.2009 publicada pela ANEEL:

- Energia ativa consumida (+ kWh);
- Energia ativa fornecida à rede (kWh);
- Energia reativa (kvarh Q1..4) em cada um dos 4 quadrantes;
- Demanda ativa (kW);

- Demanda reativa (kvar);
- Fator de potência (com indicação de quadrante);
- Potência ativa (W) (com sinalização de sentido);
- Potência reativa (var) (com sinalização de quadrante);
- Tensão (V);
- Corrente (A) e
- Frequência (Hz).

Quanto ao faturamento para compensações posteriores, tem-se que para a medição da energia elétrica com possibilidade de exportação de excedentes se faz necessário um medidor capaz de computar os quatro quadrantes (da defasagem entre tensão e corrente elétricas). Como o medidor padrão instalado gratuitamente pela concessionária é projetado apenas para consumo (dois quadrantes), se faz necessária a troca do medidor do cliente. A ANEEL prevê que os custos dessa troca sejam de responsabilidade do interessado e que os medidores devam atender às especificações técnicas do PRODIST e também da distribuidora (homologação na concessionária). Este novo medidor é então doado à concessionária que, em contrapartida será responsável pela sua operação e manutenção daí em diante. (ANEEL,2012_482).

A Figura 2.8 apresenta o diagrama de medição de eletricidade com medidor bidirecional. Existe um único ponto de conexão do medidor com a rede elétrica, no qual pode ocorrer entrada ou saída de energia. O gerador fotovoltaico e as cargas consumidoras são conectados ao dispositivo de seccionamento visível (DSV), instalado após o medidor bidirecional.



Fonte: Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014)

Figura 2.8: Ilustração de sistema *net metering* com medidor bidirecional.

Brasil, o maior país da América do Sul, começou a incluir sistemas fotovoltaicos em leilões de novas plantas de usinas de energia, enquanto o sistema *net-metering*, em vigor, mas voltado para pequenas instalações, avança ainda que sem grande sucesso (IEA PVPS (2014)). Analisa-se em seguida algumas iniciativas de GDFV no país, que caracterizam o mercado fotovoltaico emergente.

2.7 INICIATIVAS DE GDFV CONECTADA À REDE ELÉTRICA NO BRASIL

O potencial brasileiro de uso de GDFV conectada à rede elétrica, evidenciado pelos primeiros projetos já realizados e pelos que estão em fase de planejamento, aliado à experiência internacional de utilização desses sistemas, expõe a necessidade de realizar ações prévias à disseminação desse tipo de instalação fotovoltaica, com o objetivo de ajudar na consolidação dessa aplicação, tornando-a uma fonte de eletricidade competitiva e sustentável. (ZILLES, R. (2012)).

Antes de iniciar um amplo programa de apoio à entrada desse tipo de uso da tecnologia solar fotovoltaica, é importante realizar experiências piloto que tenham o intuito de:

1. Conhecer o seu comportamento técnico quando exposta às condições brasileiras de operação;

2. Determinar as normas e regulamentações que garantam o desempenho e a segurança de todos os envolvidos na sua utilização.

No Brasil, a inserção da tecnologia solar fotovoltaica não está sendo muito diferente da experiência de outros países. Inicialmente ocorreu no meio rural, em geral por iniciativas governamentais ou de concessionárias que financiam a instalação de sistemas fotovoltaicos autônomos ou os sistemas de bombeamento de água. (ZILLES, R. (2012)).

2.7.1 GDFVs INSTALADAS POR UNIVERSIDADES E CENTROS DE PESQUISA

A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), representada pelo Laboratório de Energia Solar (LabSolar) e pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), vem desenvolvendo pesquisas com sistemas fotovoltaicos integrados a edificações e conectados à rede. Os grupos de pesquisa desses laboratórios instalaram três sistemas conectados à outros sistemas conectados, incluindo projetos de concessionárias e da iniciativa privada (ZILLES, R. (2012)):

1. **Sistema de 2kWp no prédio de Engenharia Mecânica da UFSC**: A instalação é composta por 68 módulos de silício amorfo dupla junção, com cobertura de vidro e sem moldura, sendo 54 opacos e 14 semitransparentes, cada um com 60cm x 100cm.
2. **Sistema de 1,1kWp no Centro de Convivência da UFSC**: É composta por 18 módulos de silício amorfo, esse sistema apresenta dois geradores, um com dez e outro com oito módulos.
3. **Sistema de 10,24kWp no Centro de Cultura e Eventos da UFSC:** É composta por 80 módulos fotovoltaicos flexíveis de 128Wp de silício amorfo de junção tripla.

A Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) implantou, em 2005, um sistema de 31,70kWp que é composta de 264 módulos de silício policristalino, com 120Wp cada um. Esses módulos estão organizados em 11 arranjos independentes, cada um com 24 módulos. (ZILLES, R. (2012)).

2.7.2 INICIATIVAS DE GDFVs INSTALADAS POR DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA

Quando trata-se a implantação de GDFVs financiadas por distribuidoras de energia, pode-se tomar como exemplo alguns sistemas existentes, tais como:

- **CEMIG:**
  - **CPEI/Cefet-MG/ Belo Horizonte:** Com potência de 3,24kWp, o sistema é composto de 54 módulos dispostos em três arranjos de 18 módulos cada um, ligados a três inversores de 1,1kW.
  - **Green/PUC-MG/ Belo Horizonte:** Com potência de 2,05kWp, o sistema é composto de 32 módulos de 64Wp em silício amorfo, organizados em dois arranjos de 16 módulos em série. Cada subgerador está conectado a um inversor de 1,1kW.
- **Eletrosul:**
  - Projeto desenvolvido em parceria com a UFSC e o Instituto Ideal, o sistema é composto por 88 módulos de 136Wp em silício amorfo, configurados em três subgeradores, cada um conectado a um inversor de 4kW.

2.7.3 INICIATIVAS DE GDFV CONECTADA À REDE ELÉTRICA NO DISTRITO FEDERAL

No Distrito Federal percebe-se o interesse crescente pela implementação de sistemas que utilizam energia fotovoltaica para suprimento de energia elétrica. A falta de incentivo ainda é notável, porém consegue-se explicitar dois exemplos bem sucedidos que servem como inspiração para novos projetos, sendo um na Embaixada da Itália e outro com perfil residencial.

2.7.3.1 EMBAIXADA DA ITÁLIA EM BRASÍLIA

A sede diplomática da Itália no Brasil, desenvolvida pelo engenheiro italiano Pierluigi Nervi, tem sido reconhecida, desde o ano passado, como a Embaixada Verde. Isto porque é a primeira embaixada no país a utilizar energias renováveis em seu abastecimento energético

buscando a autossuficiência através da energia solar, e também a primeira da Itália no mundo. O projeto é constituído por 405 painéis fotovoltaicos com capacidade de geração de 86 megawatts-hora (MWh) por ano, o que pode evitar a emissão de 7,6 toneladas de dióxido de carbono (CO2) à atmosfera anualmente. (ELETROBRAS, 2011).

A iniciativa partiu da preocupação do embaixador, Gherardo La Francesca, com o alto custo das faturas de energia elétrica do prédio. Diante disto, ele pediu um estudo técnico de viabilidade para implantação de um sistema de abastecimento através da energia solar na sede, que gerasse economia de energia para a Embaixada. O projeto, elaborado em consonância com normas e diretrizes internacionais para estudos e projetos de centrais solares fotovoltaicas integradas à edificação, faz parte de um programa mais amplo chamado Farnesina Verde, lançado pelo Ministério dos Negócios Estrangeiros da Itália. Para que a instalação do sistema fosse possível, a Embaixada da Itália no Brasil contou com a colaboração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), da Companhia Energética de Brasília (CEB) e da Enel Green Power. (ELETROBRAS, 2011).

Musillo se refere ao fato de a planta solar da embaixada estar conectada à rede elétrica de Brasília, o que permite o repasse da energia excedente não consumida para a CEB. A parceria também proporciona a troca de informações entre a embaixada e a distribuidora, envolvendo diversas questões. (ELETROBRAS, 2011).

Entre as muitas vantagens do sistema de energia solar está a redução do consumo de energia elétrica da rede. De acordo com Café, o uso da energia solar fotovoltaica pode atenuar alguns picos de consumo ao longo do dia, quando ocorrem também os picos de produção. Outra forma de reduzir o consumo, segundo ele, viria da utilização de sistemas de armazenamento da energia elétrica gerada, embora também apresentem desvantagens. (ELETROBRAS, 2011).

2.7.3.2 GDFV CONECTADA À REDE NA INICIATIVA PRIVADA NO DF

A VOLTAICA, empresa privada com sede em Brasília (DF), projetou e instalou o primeiro sistema fotovoltaico residencial de Brasília e possui outros sistemas residenciais e comerciais instalados e aprovados na concessionária local (CEB Distribuição S.A.) e pela ANEEL.

O projeto de Usina fotovoltaica em operação é constituído de 2,82kW de potência como consta no Banco de Informações de Geração da ANEEL.

2.8 PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCR)

O projeto de um sistema fotovoltaico envolve orientação dos módulos, disponibilidade de área, estética, disponibilidade do recurso solar, demanda a ser atendida e diversos outros fatores. Através do projeto pretende-se adequar o gerador fotovoltaico às necessidades definidas pela demanda. O dimensionamento de um SFCR é o ajuste entre a energia radiante recebida do sol pelos módulos fotovoltaicos e a necessidade de suprir a demanda de energia elétrica. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))

2.8.1 ETAPAS PRELIMINARES DO PROJETO

Segundo o Manual de Engenharia Fotovoltaica, as principais etapas do projeto de um SFCR são as seguintes:

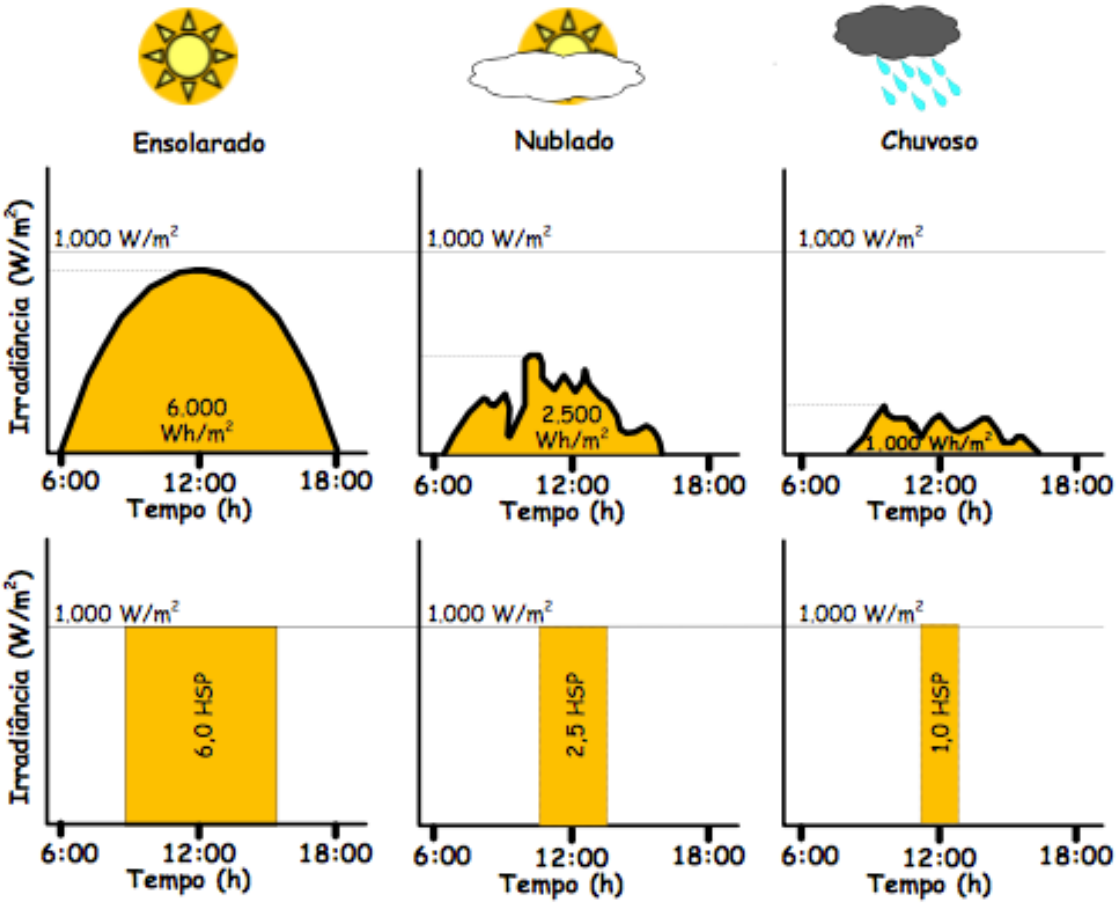
1. Levantamento adequado do recurso solar disponível no local da aplicação;
2. Definição da localização e configuração do sistema;
3. Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
4. Dimensionamento do gerador fotovoltaico e
5. Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência que, no caso dos SFCRs, se restringe ao inversor para interligação com a rede.

2.8.1.1 RECURSO SOLAR

Nesta fase do projeto busca-se quantificar a radiação solar global incidente sobre o painel fotovoltaico. Os dados de radiação solar podem estar especificados em termos de valores instantâneos do fluxo de potência ou valores de energia por unidade de área (com diversos períodos de integração), conhecidos como irradiância e irradiação, respectivamente. A forma mais comum de apresentação dos dados de radiação é através de valores médios mensais para a energia acumulada ao longo de um dia. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))

Um gerador fotovoltaico tem suas características elétricas dependentes basicamente da irradiância e da temperatura nos módulos. A influência da irradiância solar é muito mais significativa do que a da temperatura. A irradiância pode variar significativamente em curtos intervalos de tempo (da ordem de segundos), especialmente em dias com nuvens, mas a variação da temperatura é amortecida pela capacidade térmica dos módulos. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))

Nas estimativas de produção de energia elétrica, é útil ignorar os efeitos de variação da irradiância a cada instante e considerar a totalidade da energia elétrica convertida em intervalos horários. Como há uma forte linearidade entre a produção de energia e a irradiação horária, este conceito pode ser estendido, gerando uma forma bastante conveniente de se expressar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia: o número de Horas de Sol Pleno (HSP). Esta grandeza reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 $\mathrm{kW/m^2}$, de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dado dia. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))



Fonte: Pinho (2008).

Figura 2.9: Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP.

2.8.1.2 LOCALIZAÇÃO

A escolha do local em que os painéis fotovoltaicos serão efetivamente instalados pode ser determinante de seu desempenho. A integração com elementos arquitetônicos e a presença de elementos de sombreamento ou superfícies reflexivas próximas podem afetar a eficiência de um sistema fotovoltaico. Também a capacidade de trocar calor com o meio, impacta a eficiência do painel. Para ter uma boa estimativa da radiação incidente no plano do painel, o projetista deve obter informações sobre os atuais e potenciais elementos de sombreamento e superfícies reflexivas próximas. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))

2.8.1.3 CONFIGURAÇÃO

Basicamente, a escolha baseia-se nas características da carga e na disponibilidade de recursos energéticos, ou seja, se o sistema será isolados ou conectados à rede, ca ou cc, com ou sem armazenamento etc. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))

2.8.1.4 DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

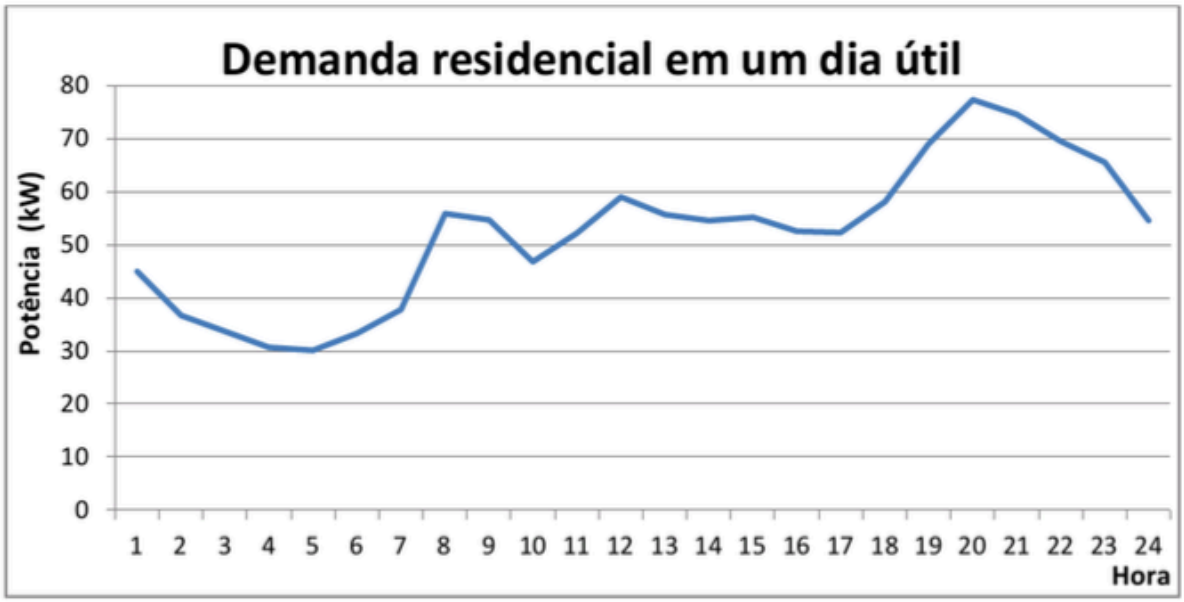
A maneira mais tradicional para determinar a demanda de uma unidade consumidora é somar as energias consumidas por cada equipamento. Isto é geralmente feito em uma planilha, onde estão listados os equipamentos, sua potência elétrica, o tempo diário de funcionamento e os dias de utilização por semana, para que se disponha de dados diários de energia consumida, em Wh/dia. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))

A energia que se deseja produzir com o sistema fotovoltaico também pode ser determinada com base no consumo médio mensal de eletricidade, a partir de dados obtidos da conta de eletricidade. (VILLALVA, Marcelo Gradella (2012))

2.8.1.5 CURVA DE CARGA

O comportamento de consumo de energia de uma unidade consumidora depende do tipo em que é enquadrada, ou seja, o seu perfil muda se ela é residencial, comercial ou industrial. Independente de qual seja o tipo de consumidor, a demanda varia ao longo do dia. (CAMARGOS, R. S. C. (2013).

O levantamento preciso da curva de carga, identificando as possíveis sazonalidades mensais e anuais, pode implicar uma redução importante do custo do sistema e reduzir o risco de falta de energia.



Fonte: LOPES, L. Z. (2011). Alimentador Radial de Distribuição para Simulações de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Figura 2.10: Exemplo de curva de carga de uma unidade consumidora de perfil residencial.

O levantamento da curva de carga é muito útil no desenvolvimento de projetos envolvendo minirredes isoladas e sistemas conectados à rede elétrica, onde se estabelece a fração da carga a ser atendida pelo SFCR. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))

2.8.1.6 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

Para se dimensionar o gerador fotovoltaico de forma otimizada, deve-se levantar o consumo médio diário anual da edificação (Wh/dia) descontado o valor da disponibilidade mínima de energia, a qual consiste:

> *"O custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B, é o valor, em moeda, corrente equivalente a:*
>
> *I – 30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores;*
>
> *II – 50 kWh, se bifásico a 3 (três) condutores; ou*

III – 100 kWh, se trifásico.

i. *O custo de disponibilidade deve ser aplicado sempre que o consumo medido ou estimado for inferior aos referidos neste artigo, não sendo a diferença resultante objeto de futura compensação.*
ii. *Para as unidades consumidoras classificadas nas Subclasses." (RN Aneel 414/2010; Seção V; Art. 98)."*

Este dado pode ser calculado pelo histórico de faturas mensais de consumo de energia elétrica emitidas pela distribuidora local. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))

O desempenho de um SFCR é tipicamente medido pela Taxa de Desempenho (PR - *Performance Ratio*), que é definida como a relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível. Essa relação é um parâmetro para avaliar a geração de energia elétrica de um dado SFCR, por levar em consideração a potência real do sistema sob condições de operação e todas as perdas envolvidas, como perdas por queda de tensão devido à resistência de conectores e cabeamento, sujeira na superfície do painel, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, descasamento entre módulos de mesmo modelo (diferenças entre as suas potências máximas), resposta espectral, temperatura operacional, dentre outras. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))

De qualquer forma, normalmente o dimensionamento de um SFCR é condicionado pelos recursos financeiros disponíveis para investimento e pela área disponível para sua instalação, muito mais do que propriamente pelas questões técnicas ou de desempenho. Então a escolha do projetista pode levar em conta diversos critérios, de acordo com VILLALVA, Marcelo Gradella (2012):

1. Energia que se deseja produzir determinada com base no consumo médio mensal de eletricidade;
2. Espaço disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos e
3. Critério econômico, conhecendo o limite de investimento que o consumidor deseja realizar no sistema.

2.8.1.7 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

A escolha do inversor empregado no sistema fotovoltaico deve levar em conta os seguintes critérios, de acordo com VILLALVA, Marcelo Gradella (2012):

1. A tensão de circuito aberto do *string* não pode ultrapassar a tensão máxima permitida na entrada do inversor;
2. O inversor deve ser especificado para uma potência igual ou superior à potência de pico do conjunto de módulos.

2.8.2 PROJETO BÁSICO

A apresentação de um projeto técnico não se atém apenas ao dimensionamento do sistema. Deve-se apresentar uma lista de itens, que podem ser mais ou menos complexos em função da potência do projeto e da sua forma de execução. O Projeto Básico é o conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado para caracterização da obra ou do serviço a ser executado, atendendo às normas cabíveis e à legislação, elaborado com base em estudos preliminares que assegurem a viabilidade e o adequado tratamento ambiental do empreendimento. Deve estabelecer as características, dimensões, especificações e as quantidades de serviços e de materiais, custos e tempo necessários para execução da obra.

Todos os elementos que compõem o Projeto Básico devem ser elaborados por profissional legalmente habilitado, sendo indispensável o registro da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica do CREA, identificação do autor e sua assinatura em cada um dos documentos produzidos.

O Projeto Básico deve compreender: desenhos (diagramas, plantas etc.), memória descritiva e de cálculo, especificação técnica, orçamento e cronograma. (Manual de Engenharia Fotovoltaica (2014))

2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente capítulo, definiu-se a GDFV de forma a atender os interesses do trabalho aqui apresentado, assim como foram determinadas classificações quanto à capacidade de geração. Após consolidadas as classificações, foi possível enunciar as características de cada tipo definido.

A estrutura tarifária implementada para que seja possível a implantação do novo sistema às redes elétricas existentes foi apresentada, de forma a considerar os Procedimentos de Distribuição a fim de se entender os requisitos legais para conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica das distribuidoras de energia.

Foi abordada, também, a situação atual do mundo, ao tratar a GDFV, com o intuito de apresentar as principais diferenças quando comparada à brasileira, pois, aqui ainda não existe um grande incentivo por parte do Governo, de forma que tais sistemas são raros e pioneiros.

Finalmente considerou-se o Projeto de um Sistema Fotovoltaico, suas principais características e definições apoiadas legalmente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A previsão de desempenho de um sistema fotovoltaico é um estudo complexo que depende de muitas variáveis. Após estudos de temas relevantes para elaboração deste trabalho, expostos no capítulo 2, inicia-se nova etapa. Neste capítulo, além de propor dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica real, gera-se um fluxograma para casos gerais de projetos de forma a contribuir com um passo-a-passo para facilitar estudos futuros além de breve análise econômica.

3.2 AVALIAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA

A geração de energia elétrica em um sistema fotovoltaico depende das características dos módulos fotovoltaicos, do posicionamento dos mesmos, das características do inversor escolhido e da irradiação no local das instalação.

Quanto ao posicionamento dos módulos fotovoltaicos no local determinado, o sombreamento é um fator importante a ser considerado, visto que pode comprometer a geração e reduzir o desempenho do sistema.

O trabalho considera uma residência real com área construída de 580 m^2, destinada à ocupação de quatro pessoas com consumo médio mensal de 696,36 $kWh/mês$. O telhado é composto por telhas de fibrocimento sustentadas por perfis de ferro com inclinação de 9%.

3.2.1 ÁREA DISPONÍVEL PARA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Verifica-se no projeto arquitetônico as possíveis áreas do telhado para instalação dos módulos fotovoltaicos, de forma que o sombreamento seja nulo ao longo do dia ou mínimo, para não comprometer o desempenho do sistema.

3.2.2 CURVA DE CARGA

A correta análise da unidade consumidora exige conhecimento da sua curva de carga e para isso realizam-se medições no painel geral de distribuição da residência a partir de um multimedidor, instrumento capaz de registrar grandezas elétricas tais como: tensão, corrente, potência e energia e transformadores de corrente, que informam ao multimedidor valores de corrente por fases.

Um gráfico foi construído acumulando os dados de potência ativa experimentada ao longo do dia, resultando na curva que indica horários de pico e abrandamento de consumo.

3.3 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA

O dimensionamento de um SFCR exige análise da demanda de energia além de se basear no método da irradiação diária, ou seja, no valor quilowatt-hora por metro quadrado diário [$\mathrm{kWh/m^2}$.dia] disponível em uma determinada localidade.

3.3.1 ENERGIA DE COMPENSAÇÃO DIÁRIA

Inicialmente, deve-se entender a quantidade de energia que deseja-se produzir e os fatores limitantes dessa decisão:

1. Deseja-se suprir parcialmente ou integralmente a demanda;
2. Qual o espaço disponível para alocação dos módulos fotovoltaicos e
3. Quanto recurso econômico o cliente pode despender no sistema.

Então, define-se a Energia de Compensação Diária como:

$$E_{CD} = \frac{F_{MM-CD}}{30\ dias}\ [kWh/dia] \quad (1)$$

Onde:

- F_{MM} representa o Consumo Médio Mensal de Eletricidade e
- CD representa o Custo de Disponibilidade.

3.3.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O mercado atual de energia oferece diversas opções de módulos fotovoltaicos e conhecendo-se o modelo que será utilizado no projeto determina-se a quantidade de energia a ser produzida na localidade em que o sistema será instalado.

Acolhendo-se as características do módulo, fornecidas pelo fabricante, como área e eficiência, é possível calcular a energia produzida diariamente, mas, primeiramente, deve-se reconhecer as condições de incidência da irradiância solar no local de instalação.

3.3.3 POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR

A avaliação do recurso solar quantifica a radiação global incidente sobre o módulo fotovoltaico, possibilitando o cálculo da energia gerada pelo sistema.

O presente trabalho considerou bases de dados solarimétricos consolidadas no Brasil para obtenção de valores de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal além de medições no local a partir de piranômetros.

3.3.3.1 SUNDATA

O programa SunData destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

O sistema de busca de localidades próximas é feito por meio da coordenada geográfica (latitude e longitude) do ponto de interesse. O formato numérico de entrada da coordenada geográfica pode ser em graus decimais (00.00°) ou graus, minutos e segundos (00°00'00"), conforme a opção selecionada no formulário.

O programa fornece os dados de irradiação solar para no mínimo 3 localidades disponíveis próximas do ponto de interesse. São fornecidos os valores de irradiação solar, em $kWh/m^2.dia$ no plano horizontal, correspondentes às diárias médias mensais para os 12 meses do ano.

Para cada uma das três localidades selecionadas são também fornecidos os valores de irradiação solar convertidos do plano horizontal para planos inclinados com três diferentes ângulos de inclinação em relação ao plano horizontal:

- Ângulo igual à latitude;
- Ângulo que fornece o maior valor médio diário anual de irradiação solar e
- Ângulo que fornece o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar.

Em geral, o valor da latitude local é usado como ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico. O ângulo com a maior média diária anual de irradiação solar costuma ser usada quando se deseja a maior geração anual de energia, o que seria o caso de aplicações de sistemas fotovoltaicos conectados a rede de distribuição dentro do Sistema de Compensação de Energia, definido pela Resolução Normativa da ANEEL nº 482/12. Já o ângulo com maior valor mínimo mensal de irradiação solar costuma ser uma medida conservadora, usado em situações onde o fornecimento contínuo de energia elétrica é crítico para atividade fim e por isso procura-se minimizar o risco de falta de energia. (CRESESB (2014))

3.3.3.2 SWERA (SOLAR AND WIND ENERGY RESOURCE ASSESSMENT)

O programa SWERA reúne conjuntos de dados energéticos de recursos solar e eólico além de ferramentas de análise a partir de uma série de organizações internacionais, um dos parceiros e colaboradores é o INPE, em um ambiente dinâmico e orientado ao usuário. As informações e dados fornecidos destinam-se a apoiar o trabalho dos políticos responsáveis por tomar decisões, projetistas, analistas e investidores.

Os usuários podem começar a partir da *home page* SWERA para avaliar os dados de energia renováveis disponíveis para o seu país na determinada localidade.

3.3.3.3 ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR

A publicação do Atlas Brasileiro de Energia Solar foi desenvolvida dentro do escopo do projeto SWERA. Tem como foco principal promover o levantamento de uma base de dados confiável e de alta qualidade visando auxiliar no planejamento e desenvolvimento de políticas públicas de incentivo a projetos nacionais de energia solar e eólica, além de atrais o capital de investimento da iniciativa privada para a área de energias renováveis.

Os principais produtos na área de energia solar gerados como consequência do Projeto SWERA no Brasil são:

- Mapas impressos e digitais de irradiação solar de alta resolução;
- Geração de séries temporais horárias e

- Construção de diferentes cenários de aproveitamento da energia solar desenvolvidos com o uso de ferramentas de um sistema de informações geográficas.

3.3.3.4 PIRANÔMETRO

A irradiância solar pode ser medida por meio de um sensor, piranômetro, e um gerenciador de dados, *datalogger*, instalados no local de interesse, nesse caso de estudo, no telhado da edificação. A rotina de medição considerou 30 dias seguidos com acolhimento de dados de 15 em 15 minutos por meio de dois piranômetros.

Os equipamentos utilizados na aquisição foram: *datalogger* Almemo 2590-9, fabricado pela empresa Ahlborn, e o piranômetro 8101, da empresa Philipp Schenk.

As medições de irradiância caracterizam a curva de irradiância, ou seja, os dados de irradiância medida ao longo do dia são plotados em um gráfico de forma que a área abaixo do gráfico equivale ao valor da irradiação do período considerado.

3.3.4 POTÊNCIA DE PICO DO SISTEMA

A potência nominal necessária para atender à demanda da edificação deve ser determinada. Este cálculo permite saber de forma aproximada a capacidade de autonomia da edificação apenas utilizando a energia solar como fonte de geração de energia elétrica. Os dados para cálculo da potência nominal ou potência de pico do sistema fotovoltaico, já conhecidos, são aplicados à seguinte fórmula:

$$P_{Wp} = \frac{E_{CD}}{Y}\ [Wp] \qquad (2)$$

Onde:

- P_{Wp} representa a potência de pico do sistema;
- E_{CD} representa a Energia de Compensação Diária e
- Y caracteriza a irradiação solar disponível na localidade

3.3.5 QUANTIDADE DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos fotovoltaicos são classificados quanto à potência de saída fornecida. Uma vez já conhecido o fabricante, informações como essa são obtidas diretamente dos catálogos e, então, calcula-se facilmente a quantidade de módulos fotovoltaicos a ser empregada no sistema, como segue:

$$Q_{MFV} = \frac{P_{Wp}}{P_{MFV}} \; [unidades] \qquad (3)$$

Onde:

- Q_{MFV} representa a quantidade de módulos fotovoltaicos;
- P_{Wp} representa a potência de pico do sistema e
- P_{MFV} a potência de saída do módulo fotovoltaico.

3.3.6 ÁREA DISPONÍVEL PARA INSTALAÇÃO

Além de informações técnicas com dados elétricos, os fabricantes de módulos fotovoltaicos informam suas características gerais, como dimensões e massa. Uma vez conhecida a quantidade de módulos fotovoltaicos e a dimensão de uma unidade, calcula-se a área necessária para a instalação:

$$A = Q_{MFV} \times d \; [m^2] \qquad (4)$$

Onde:

- A representa a área total necessária à instalação do sistema;
- Q_{MFV} representa a quantidade de módulos fotovoltaicos e
- d representa a área equivalente a um módulo.

3.3.7 ARRANJOS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem empregar um grande número de módulos conectados em série ou em paralelo para produzir a quantidade de energia elétrica desejada de forma que um arranjo fotovoltaico é o agrupamento dos módulos.

Os arranjos em série recebem o nome de *strings*. Os módulos são dispostos dessa forma para atingir a tensão desejada do sistema, isso é, a tensão aplicada ao terminal de entrada (lado cc) do inversor, uma vez que a tensão final da *string* é a soma da tensão fornecida por cada um dos módulos.

Quando a conexão dos módulos é feita em paralelo, a corrente fornecida pelo arranjo é a soma das correntes dos módulos do arranjo e a tensão permanece equivalente à da *string* ou do módulo individual.

Geralmente, quando se constrói um sistema fotovoltaico, os módulos são primeiramente ligados em série para proporcionar a tensão de trabalho adequada. Para aumentar a potência do sistema acrescentam-se *strings* em paralelo, formando arranjos fotovoltaicos com vários *strings*.

Os cálculos para determinar a conexão dos módulos seguem o seguinte algoritmo:

1. Determina-se a tensão máxima admissível na entrada cc do inversor a partir da sua faixa de tensão útil, informada pelo fabricante;
2. Calcula-se a quantidade de módulos conectados em série para atingir a tensão desejada verificando as características de tensão dos módulos no catálogo do fabricante:

   Os valores da tensão de circuito aberto (V_{OC}) e da tensão de máxima potência (V_{MP}) do módulo devem ser multiplicados pelo número de módulos em série e os valores resultantes devem estar de acordo com as características do inversor empregado;
3. Finalmente, com a tensão desejada alcançada, calcula-se a quantidade de *strings* em paralelo para obtenção da potência necessária.

3.3.8 FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO PARA DIMENSIONAR UM SFCR

Para o dimensionamento de um SFCR é necessário seguir um procedimento e considerar questões que serão primordiais para que o objetivo traçado seja alcançado com sucesso.

Nesta seção será abordado um dos casos existentes para que seja desenvolvido o fluxograma utilizado para a preparação do dimensionamento do sistema. O exemplo foco é o seguinte:

Residência com compensação, na qual o proprietário deseja suprir integralmente a demanda com o SFCR.

Com o foco determinado, pode-se, então, apresentar o fluxograma adequado pela Figura 3.1, conforme desenvolvimento a seguir.

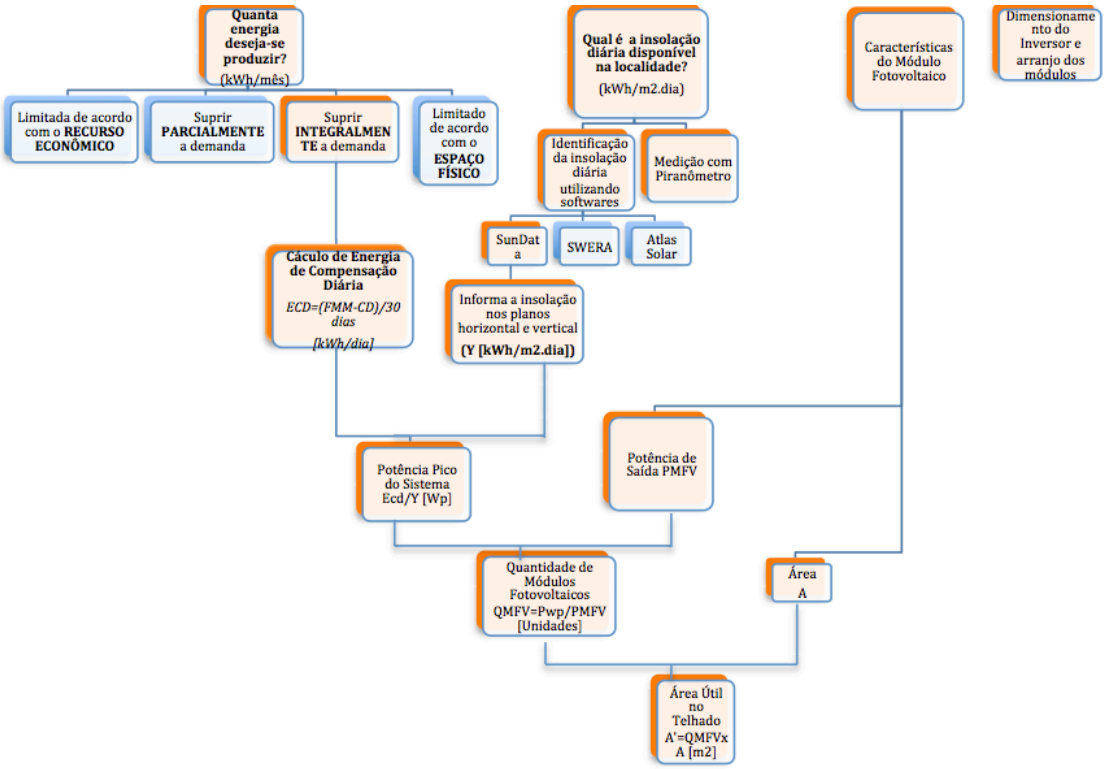


Figura 3.1 Fluxograma representativo dos critérios de seleção para controle de demanda

3.3.4 *SOFTWARE* PVSYST

O programa computacional PVsyst funciona como uma ferramenta auxiliar no processo de escolha dos elementos do sistema fotovoltaico e estabelece a melhor configuração além de estimar o cálculo da produção de energia.

Nesse trabalho o *software* confirma a configuração estudada a partir do dimensionamento pelo fluxograma apresentado.

3.4 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

A estimativa da produção anual de energia elétrica é importante para determinar a economia proporcionada pelo sistema.

De acordo com a metodologia aplicada em alguns trabalhos (MARINOSKI; SALOAMONI; RUTHER, 2004) (LISITA, 2005) não há um consenso sobre o rendimento do SFCR, mas geralmente varia entre 70% e 90%. Dessa forma, neste trabalho utiliza-se o valor médio de 80% para o rendimento.

$$E = D \times P_{wp} \times Y \times R \quad (1)$$

Onde:

E representa a energia mensal produzida, em kWh;

D representa o a quantidade de dias no mês;

P_{wp} representa a potência de pico do sistema, em kWp;

Y caracteriza a irradiação solar diária disponível na localidade;

R representa o rendimento do sistema.

3.4.1 PRODUTIVIDADE ANUAL DO SISTEMA (*FINAL YIELD*)

A Produtividade Anual (YF ou *Final Yield*) de um SFCR encontra-se expressa pela Equação (2):

$$Y_F = \frac{\int_0^{8760} P(t)dt}{P_{wp}} = \frac{E'}{P_{wp}} \qquad (2)$$

Onde:

$P(t)$ representa a potência entregue pelo sistema no instante t, em kW;

P_{wp} representa a potência nominal do sistema, em kWp;

E' representa a energia anual produzida;

O período de integração é de 8760 horas por ano.

O valor desse índice corresponde à energia gerada, em kWh, por cada kWp de potência instalada. Por essa razão, a referida grandeza é expressa em kWh/kWp ou também em horas. Nesse último caso, YF representaria o número de horas que o sistema deveria operar em sua potência nominal para produzir a mesma quantidade de energia entregue no período.

3.4.2 FATOR DE CAPACIDADE

O Fator de Capacidade (FC) de um SFCR pode ser definido de acordo com a Equação (3):

$$FC = \frac{\int_0^T P(t)dt}{P_{wp} \times T} \times 100 = \frac{E\prime}{P_{wp} \times T} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$P(t)$ representa a potência entregue pelo sistema no instante t, em kW;

P_{wp} representa a potência nominal do sistema, em kW;

T representa o período de integração (geralmente um ano, 8760 horas);

E' representa a energia anual produzida.

A interpretação que se dá para esse índice é a de que ele representa a razão entre a energia de fato entregue pelo sistema, no período considerado, e a energia que ele entregaria se operasse 100% do tempo na sua potência nominal. Seu valor é expresso em porcentagem e, no caso dos SFCR brasileiros, está entre 13% e 18%, variando de acordo com a disponibilidade do recurso solar e da tecnologia e forma de dimensionamento adotadas.

3.4.3 ENERGIA ECONOMIZADA

A contribuição da geração fotovoltaica é um dos objetivos deste estudo, por isso define-se uma metodologia para apresentar a economia de energia obtida.

A partir da tarifa final da distribuidora calcula-se o custo total mensal com energia elétrica e o custo total anual. Baseando-se na estimativa de geração de energia elétrica a partir da fonte fotovoltaica, calcula-se a economia anual.

$$\mathrm{Eco} = \mathrm{E}' \times \mathrm{T_F} \quad (4)$$

Onde:

Eco representa a economia durante um ano, em R$;

E' representa a energia produzida anualmente pelo SFCR;

T_F representa a tarifa final da distribuidora de energia, em R$/kWh.

3.4.4 CUSTO DO SFCR

O custo do sistema considera o valor comercial de todos os componentes, módulos fotovoltaicos, inversor, estrutura para fixação em telhados, além dos demais materiais elétricos necessários para o funcionamento do sistema e serviço de instalação.

Após levantamento dos custos por componente, determina-se o custo total do SFCR.

3.5 ANÁLISE ECONÔMICA

O trabalho não abrange análise econômica detalhada e considera-se um Período de Retorno Simples (PRS), que é a relação obtida entre o investimento feito inicialmente para a instalação de um sistema fotovoltaico e a economia financeira anual na fatura de energia elétrica proporcionada pela instalação.

$$\mathrm{PRS} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Economia Anual}} \quad (5)$$

3.5.1 DETERMINAÇÃO DO CUSTO DA ENERGIA PRODUZIDA POR UM SFCR

O custo da energia solar fotovoltaica depende basicamente dos seguintes fatores: irradiação solar disponível, desempenho e custo dos sistemas fotovoltaicos. O Brasil é abundante em recurso solar e, na maioria das cidades já ocorre a chamada paridade tarifária, graças à equiparação de custos entre a energia elétrica gerada por sistemas fotovoltaicos e a tarifa de energia elétrica convencional.

O custo da energia produzida por um SFCR pode ser encontrado dividindo-se o valor presente anualizado de todos os valores desembolsados na instalação e manutenção do sistema, ao longo do seu ciclo de vida, pela energia anual por ele gerada.

ZILLES e OLIVEIRA, apresentaram uma expressão simples para o cálculo do custo de geração fotovoltaico (C), dada pela Equação a seguir, que será utilizada no capítulo 4, na determinação do custo da energia fotovoltaica produzida pelos SFCR no Brasil.

$$C = \{\left[\frac{r\times(1+r)^N}{(1+r)^N-1}\right] + OM\}\times\frac{I_{nv}}{87{,}60\times CF} \qquad (6)$$

Onde:

C representa o custo de geração, em centavos R$/kWh;

r representa a taxa de desconto referente ao custo de oportunidade;

N corresponde ao tempo de vida útil do sistema;

OM representa uma porcentagem do investimento inicial gasta anualmente na operação e manutenção do sistema;

I_{nv} representa o custo de capital inicial, em R$/kWp;

C_f corresponde ao fator de capacidade.

O termo entre colchetes refere-se ao fator de recuperação do capital, figura de mérito econômica responsável por dividir em parcelas homogêneas anuais o valor presente do montante investido ao longo do ciclo de vida do SFCR.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Encerra-se, assim, o terceiro capítulo desse trabalho, no qual foram apresentadas as principais figuras de mérito utilizadas no dimensionamento de um SFCR e as expressões que permitem estimar a energia entregue pelo sistema e o custo de geração da energia fotovoltaica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos para o dimensionamento e estudos após a instalação do sistema na residência na qual o trabalho está focado.

Cada etapa do processo como um todo apresenta características particulares que devem ser explicitadas de forma a que futuras aplicações sejam mais rápidas e com um índice mínimo de equívocos durante o processo.

Para que todas as informações sejam apresentadas de maneira que o entendimento dos resultados possa ser facilitado, detalham-se os pontos do sistema obtido após a realização do dimensionamento e avalia-se a unidade consumidora esclarecendo todos os seus parâmetros a fim de obter uma transparência dos valores registrados.

4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Após a instalação, pode-se afirmar que o dimensionamento do sistema foi adequado para o objetivo estabelecido no início no processo, pois conseguiu-se chegar aos resultados desejados de geração de energia por parte do SFCR, sendo comprovado por meio de medições realizadas com os equipamentos descritos no capítulo 3.

4.1.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA A PARTIR DO FLUXOGRAMA

Após a construção do fluxograma cuja função é dimensionar o SFCR, passou-se então para a etapa de cálculo dos valores de cada parâmetro essencial ao sistema. Dessa forma, nesta seção, apresentam-se os resultados obtidos com as fórmulas já apresentadas.

Com o objetivo de facilitar a visualização e conexão com o fluxograma, serão seguidos os passos existentes, conforme as informações a seguir:

a) Energia desejada

a.1 A partir da tabela do histórico de consumo fornecido pela distribuidora (CEB), fez-se a média e obteve-se o resultado de 691,92 kWh, isto é, o consumo médio mensal de eletricidade.

a.2 Conforme mostrado na seção 2.8.1.5, para um sistema trifásico, o custo de disponibilidade equivale ao valor em moeda corrente de 100 kWh. Chega-se, então, ao valor de energia de compensação mensal de 591,92 kWh/mês e o valor de energia de compensação diária de 19,73 kWh/dia.

Histórico de Consumo			
Mês	Valor Faturado (R$)	Consumo (kWh)	Desvio Padrão
Janeiro	325,98	856	47,37
Fevereiro	277,19	733	11,86
Março	268,21	661	8,93
Abril	260,19	653	11,24
Maio	243,43	586	30,58
Junho	248,61	627	18,74
Julho	240,37	575	33,75
Agosto	267,53	704	3,49
Setembro	291,77	722	8,68
Outubro	309,78	787	27,45
Novembro	307,34	712	5,80
Dezembro	281,61	687	1,42

Fonte: Histórico de Consumo – CEB 2015 (www.ceb.com.br)

Tabela 4.1: Histórico de Consumo

b) Insolação diária disponível na localidade

A insolação diária, ou seja, o valor quilowatt-hora por metro quadrado [$\mathrm{kWh/m^2}$] de irradiação solar disponível em uma determinada localidade foi determinada a partir do *software* SunData e da medição por piranômetros.

A partir das coordenadas geográficas exatas da localidade, isso é:

- Latitude 15.744917º 5 (15º 44'41,7" sul)
- Longitude 47.846417º 0 (47º50'47,1" oeste)

Determinou-se no *software* SunData os dados de irradiação solar, apresentados na Tabela 4.2.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m2.dia]													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0 N	4,67	5,58	4,53	5,00	4,72	4,75	4,97	5,50	5,25	4,69	4,75	4,72	4,93	1,05
Ângulo igual à latidude	16 N	4,35	5,35	4,56	5,39	5,42	5,67	5,86	6,14	5,43	4,57	4,45	4,35	5,13	1,79
Maior média annual	19 N	4,26	5,27	4,54	5,43	5,52	5,81	5,99	6,21	5,43	4,53	4,37	4,26	5,14	1,96
Maior mínimo mensal	6 N	4,57	5,53	4,57	5,18	5,02	5,13	5,34	5,78	5,35	4,67	4,66	4,61	5,04	1,21

Fonte: CRESESB, Programa SUNDATA 2015 (www.cresesb.cepel.br/sundatn.htm)

Tabela 4.2: Potencial Energético Solar

Considerou-se a taxa de irradiação solar de 5,13 $\mathrm{kwh/m^2.dia}$ referente à instalação no plano inclinado igual à latitude voltado ao norte geográfico.

c) Potência pico do sistema

$$P_{wp} = {}^{\mathrm{E_{CD}}}/_{\mathrm{HSP}} = \frac{19{,}73\,\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{dia}}}{5{,}13\,\frac{\mathrm{kWh}}{m^2.dia}} = 3{,}846\mathrm{kWp}$$

d) Quantidade de Módulos Fotovoltaicos

Conhecendo o modelo do módulo fotovoltaico a ser adotado no sistema, determina-se a partir da quantidade de energia a ser gerada, as unidades de módulos fotovoltaicos necessárias.

Foram adquiridos módulos fotovoltaicos da empresa Yingli Solar, cujas características são:

Parâmetros Elétricos em Condições de Testes Padrão (STC)	
Potência máxima de saída	250 W
Eficiência	15,40 %
Tensão na máxima potência	29,80 V
Corrente na máxima potência	8,39 A
Tensão de circuito aberto	37,60 V
Corrente de curto-circuito	8,92 A

Tabela 4.3: Parâmetros Elétricos em Condições de Testes Padrão (STC)

Parâmetros Elétricos na Temperatura Nominal de Operação da Célula (NOCT)	
Potência máxima de saída	182,40 W
Tensão na máxima potência	27,20 V
Corrente na máxima potência	6,71
Tensão de circuito aberto	34,70 V
Corrente de curto-circuito	7,21 A

Tabela 4.4: Parâmetros Elétricos na Temperatura Nominal de Operação da Célula (NOCT)

Características Gerais	
Dimensões	
Comprimento	1640 mm
Largura	990 mm
Altura	35 mm
Massa	18,5 kg

Tabela 4.5: Características Gerais dos Módulos

Portanto, a quantidade de módulos de 250Wp necessária equivale a 15,38 unidades, de acordo com a equação (3) do Capítulo 3 desse trabalho.

Como não é possível a aquisição de unidades fracionadas de módulos fotovoltaicos e sabendo que o sistema apresenta perdas, consideram-se 16 unidades de módulos fotovoltaicos.

Portanto, a partir dessas unidades o sistema apresentará potência de pico equivalente a 4 kWp e energia diária produzida igual a 20,52 kWh a partir de uma irradiação de 5,13 $\mathrm{kwh/m^2.dia}$.

e) Área útil do telhado para alocação dos módulos.

As características gerais dos módulos escolhidos são conhecidas, portanto a área necessária para alocar os módulos obedece à Equação (4) e resulta em 26 m^2.

f) Dimensionamento do Inversor e Arranjo dos Módulos Fotovoltaicos

O correto dimensionamento de inversores analisa a tensão de circuito aberto do *string*, a qual não pode ultrapassar a tensão máxima permitida na entrada do inversor. Mais ainda, o inversor deve ser especificado para uma potência igual o superior à potência de pico do conjunto de módulos.

Adquiriu-se o inversor PVI-4.2-TL-OUTD cujas características constam nas tabelas 4.6 e 4.7.

Características Técnicas	
Entrada (CC)	
Tensão máxima	600 V
Tensão de ativação	200 V
Potência Nominal	4375 Wp
Corrente máxima	32 A
Corrente máxima de curto-circuito	20 A
Saída (CA)	
Conexão na rede	Monofásica

Potência Nominal	4200 W
Potência máxima	4600 W
Tensão nominal da rede	230 V
Corrente máxima	20 A
Frequência nominal	60 Hz
Fator de Potência	>0,995
Eficiência	96,8%

Tabela 4.6: Características Técnicas do Inversor

Características Gerais	
Dimensões	
Comprimento	618 mm
Largura	325 mm
Altura	222 mm
Massa	17,5 kg

Tabela 4.7: Características Gerais do Inversor

Percebe-se que a potência nominal do inversor é de 4,375 kWp, ou seja, respeitou-se a condição de potência igual ou superior à potência de pico do conjunto de módulos visto que uma string com 16 módulos de 250 Wp fornece uma potência máxima de 4 kWp.

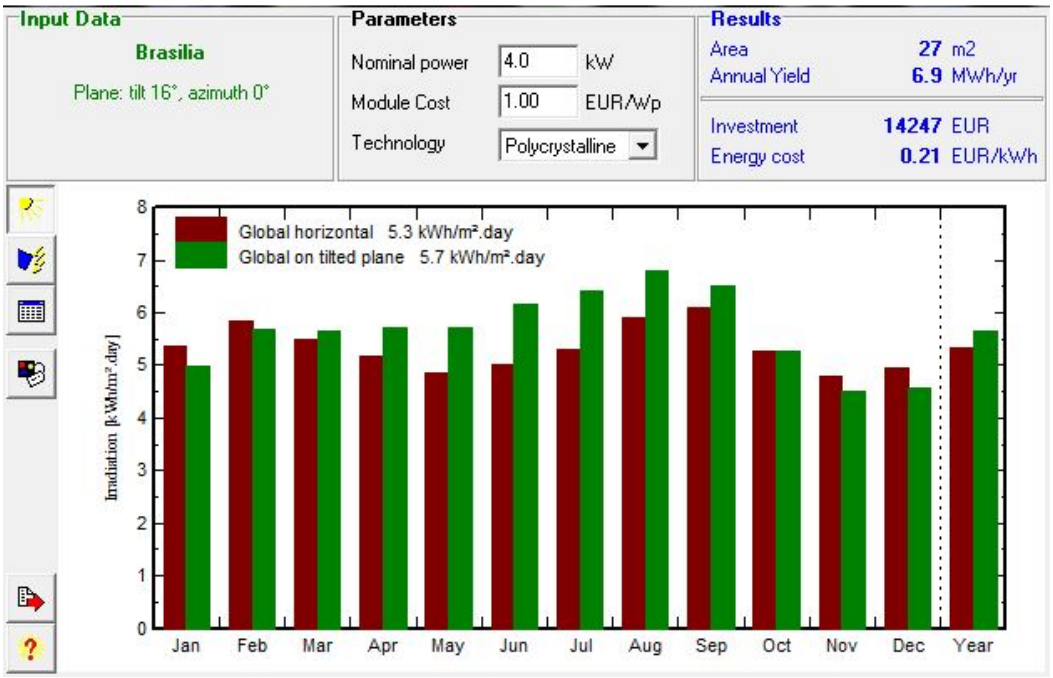
A tensão de circuito aberto dos módulos fotovoltaicos em STC é conhecida e equivalente a $V_{oc} = 37{,}6V$. Dessa forma, caso os 16 módulos fotovoltaicos adquiridos fossem conectados em série, a tensão de circuito aberto do string equivaleria a 601,6 V, ultrapassando a tensão máxima no inversor de 600 V.

Portanto, opta-se por duas strings conectadas em paralelo, cada uma com 8 módulos fotovoltaicos em série ofertando 300,8 V de tensão em circuito aberto, isso é, dentro dos limites do inversor.

4.1.2 MODELAMENTO DO SISTEMA A PARTIR DO *SOFTWARE* PVSYST

Utilizou-se o *software* PVsyst para confirmar o dimensionamento à partir do fluxograma, além de simular a estimativa de produção de energia do SFCR.

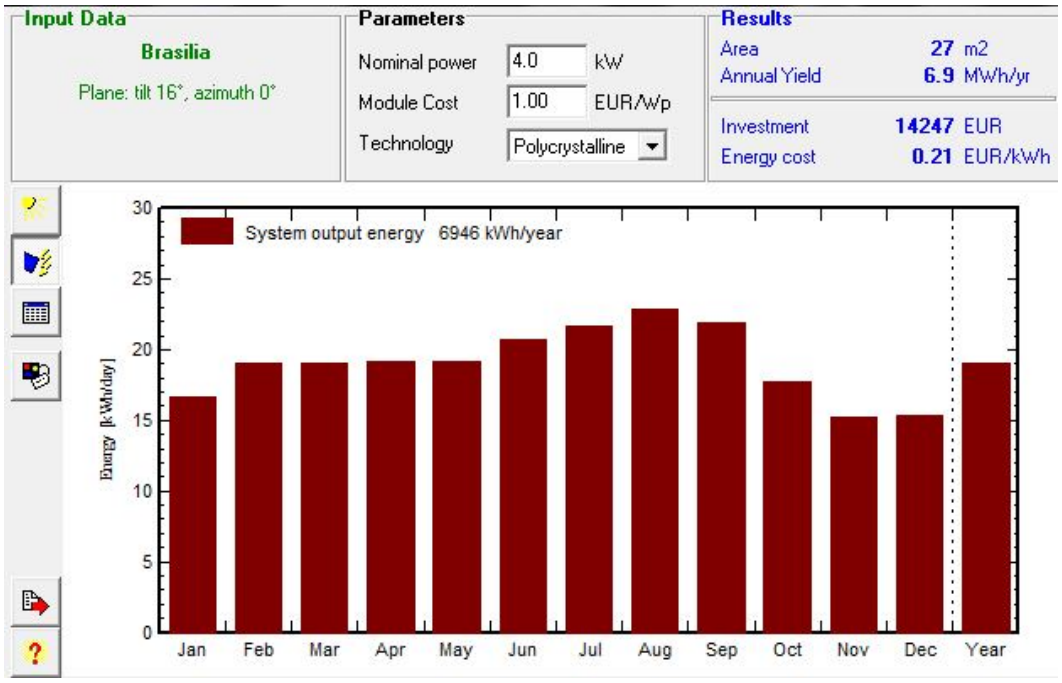
Percebe-se pelo Gráfico 4.1 que o valor de irradiação disposto na Tabela 4.2, referente ao *software* SunData, média de 4,93 $\mathrm{kwh/m^2.dia}$ no plano horizontal com delta de 1,05 é menor que o valor adquirido na simulação, de 5,3 $\mathrm{kwh/m^2.dia}$ no plano horizontal, mas entende-se que essa diferença não é significativa na análise, uma vez que o valor da irradiação anual é variável para qualquer localidade.



Fonte: Simulação software PVsyst, jun 2015.

Gráfico 4.1: Dados de Irradiação diária para cada mês

O Gráfico 4.2 evidencia os cálculos de projeto para produção anual de energia. Mostra-se um valor de 6946 kWh/ano, enquanto o valor projetado foi de 7103 kWh/ano. A diferença entre esses resultados é pequena e pode ser explicada pelo acúmulo de discrepâncias de outros parâmetros, como a própria irradiação, previamente mencionada.

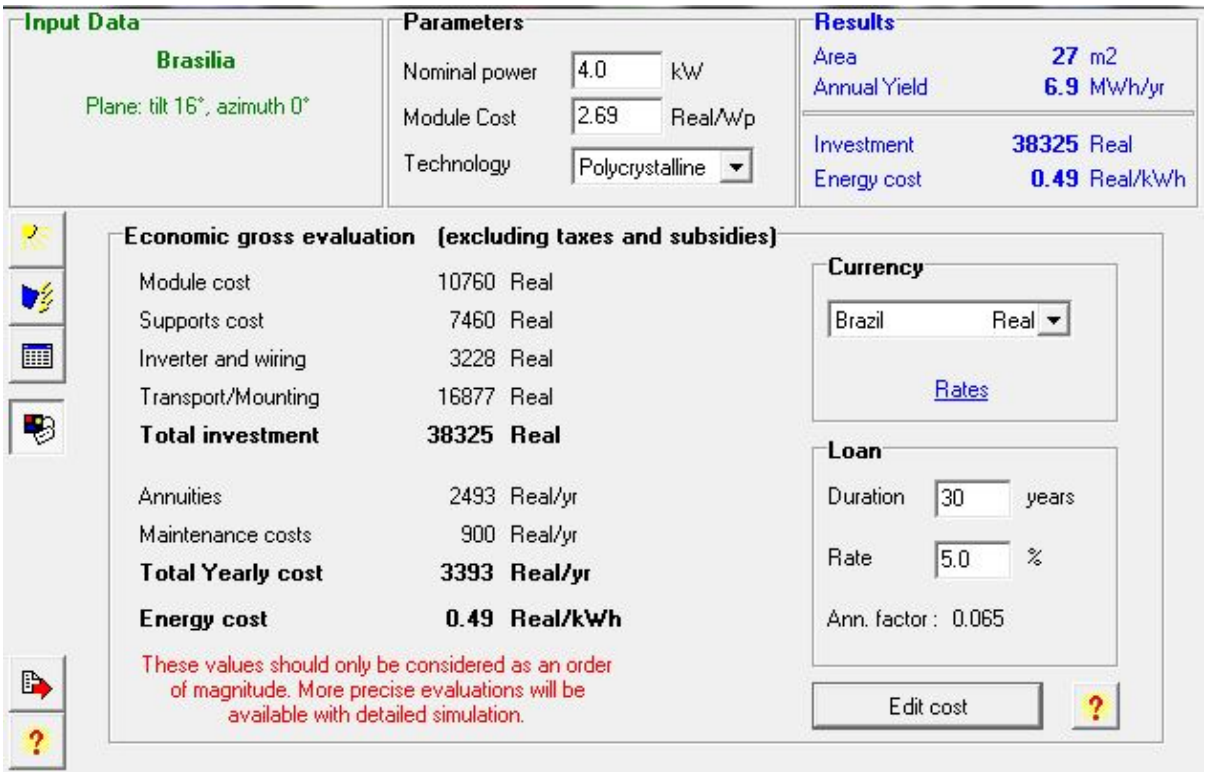


Fonte: Simulação software PVsyst, jun 2015.

Gráfico 4.2: Energia produzida pelo SFCR ao longo de um ano

O *software* PVsyst também possibilita um cálculo prévio do custo de geração de energia com valores monetários previamente determinados para cada item do SFCR.

A Figura 4.3 esclarece essas considerações e a simulação gera o valor de 0,49 R$/kWh como o custo de geração de energia fotovoltaica para o sistema simulado.



Fonte: Simulação *software* PVsyst, jun 2015.

Figura 4.3: Estimativa do Custo de Geração a partir do *software* PVsyst

Finaliza-se aqui a contribuição da simulação do sistema a partir do *software* PVsyst, mas reitera-se que o *software* possui outras diversas funcionalidades que agregam conhecimento a quem se interessa por dimensionamentos de projetos fotovoltaicos. Entende-se que os resultados projetados coincidem com os obtidos satisfatoriamente.

4.2 AVALIAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA

4.2.1 ÁREA DISPONÍVEL PARA INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O dimensionamento do SFCR considera relevante a análise prévia do local disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos, visto que deve-se conseguir a maior incidência de radiação solar, evitar sombreamentos e, preferencialmente, orientá-los ao norte geográfico.

O projeto arquitetônico da residência disponibilizado possibilitou verificação de possíveis áreas e a visita técnica permitiu análise de sombreamento. Nas Figuras 4.2 e 4.3 verificam-se a delimitação da área escolhida para instalação dos módulos e a orientação ideal para o Norte geográfico que os módulos tendem a seguir.

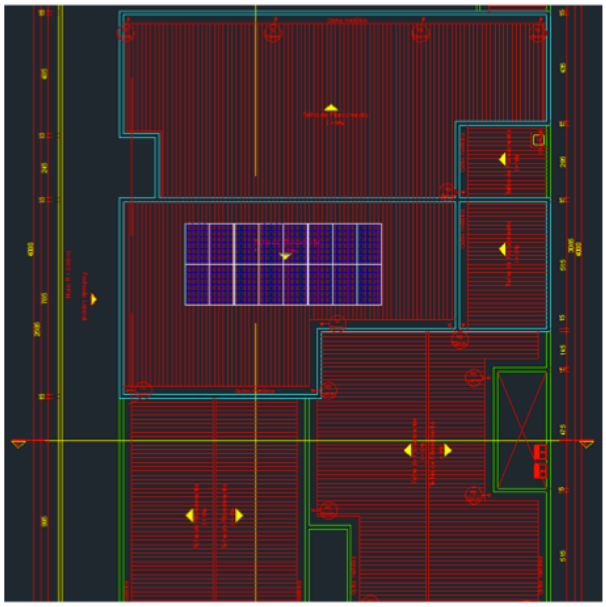


Figura 4.2: Área do telhado determinada para instalação dos módulos fotovoltaicos

Fonte: *Software* GOOGLE Maps – acessado em maio de 2015

Figura 4.3: Orientação ideal dos módulos fotovoltaicos

O telhado horizontal com leve inclinação de 14° não sofreu modificações estruturais para receber a instalação e nenhum fator externo influenciava em um possível sombreamento, visto que a residência é localizada em área exclusivamente residencial, onde as construções seguem determinados padrões e limitação do número de pavimentos, além de não existir vegetação suficientemente alta capaz de interferir na radiação que alcança os módulos.

4.2.2 CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS DA UNIDADE CONSUMIDORA

A residência em estudo aplica boas práticas de eficiência energética, isso é, uso racional da energia elétrica e baixo impacto ambiental.

O projeto arquitetônico considerou tecnologias e estratégias para adequação climática, com o aproveitamento da ventilação e da luz natural. Também precisou-se considerar alternativas para refrigeração e iluminação artificial adequadas: equipamentos de ar-condicionado com tecnologia *inverter* e lâmpadas de *LED*. A residência conta ainda com aproveitamento da energia solar térmica para aquecimento de água, tanto para uso geral quanto para a piscina, além da geração de eletricidade por meio do SFCR.

Os eletrodomésticos são modernos e eficientes energeticamente, atestados pelo selo PROCEL de economia de energia e com etiqueta "A" de eficiência energética avaliados pelo INMETRO, exceto um aparelho refrigerador de fabricação antiga.

4.2.3 CURVA DE CARGA

A unidade consumidora em estudo é de caráter residencial, ou seja, é alimentada em baixa tensão e apresenta uma típica curva de carga, a qual foi obtida pela média da medição semanal e apresenta-se no Gráfico 4.3.

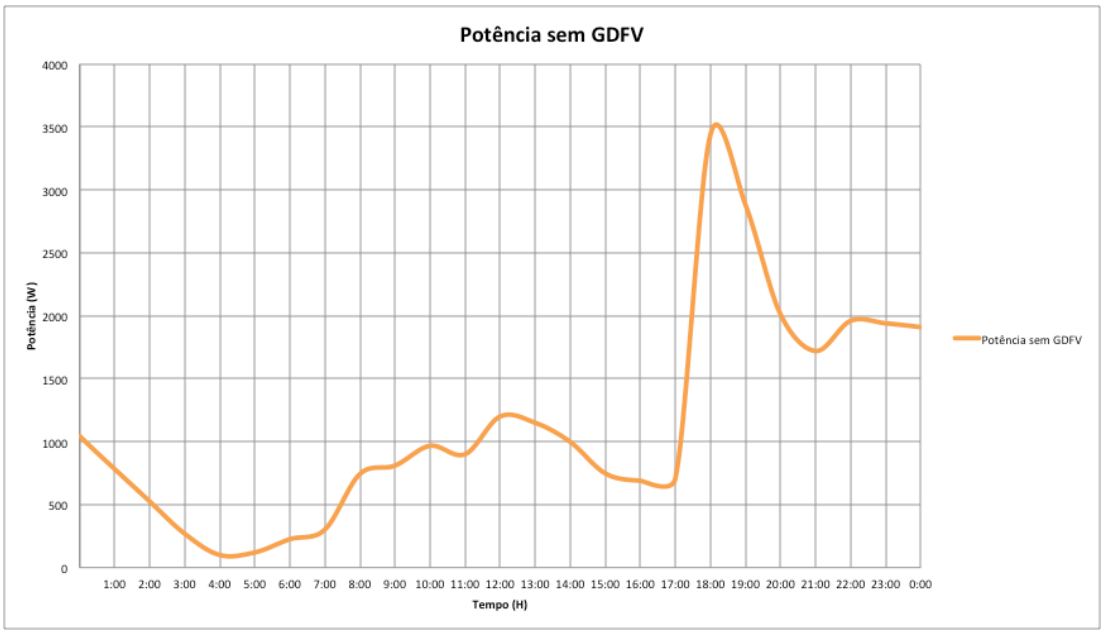


Gráfico 4.3 – Potência sem GDFV

Uma vez instalado o SFCR na residência, adquirem-se os dados de potência diária, e calcula-se a média para consolidação da nova curva de carga da residência com GDFV, observada no Gráfico 4.4.

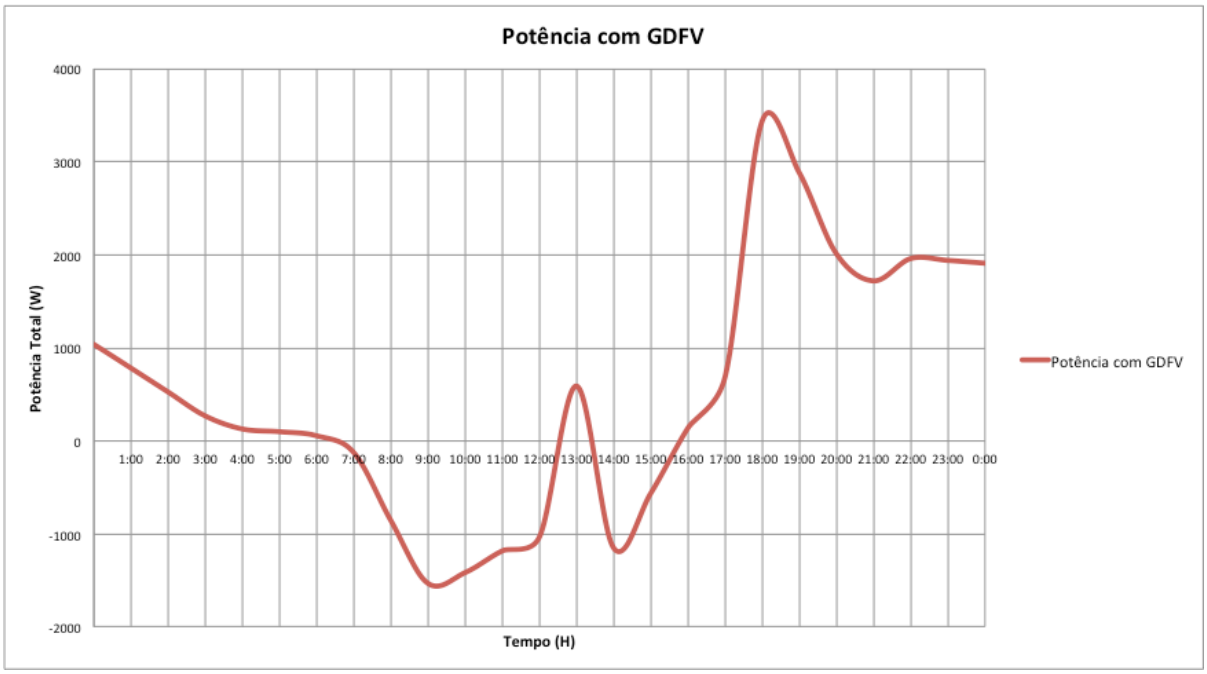


Gráfico 4.4 – Potência com GDFV

Percebe-se uma mudança no perfil de potência consumida devido à geração de energia, de forma que se observam valores negativos na curva de carga da residência com GDFV, os quais representam a injeção de potência na rede de distribuição ao invés de consumo, ou ainda, maior injeção de potência na rede que consumo. Ilustra-se esse cenário no Gráfico 4.5.

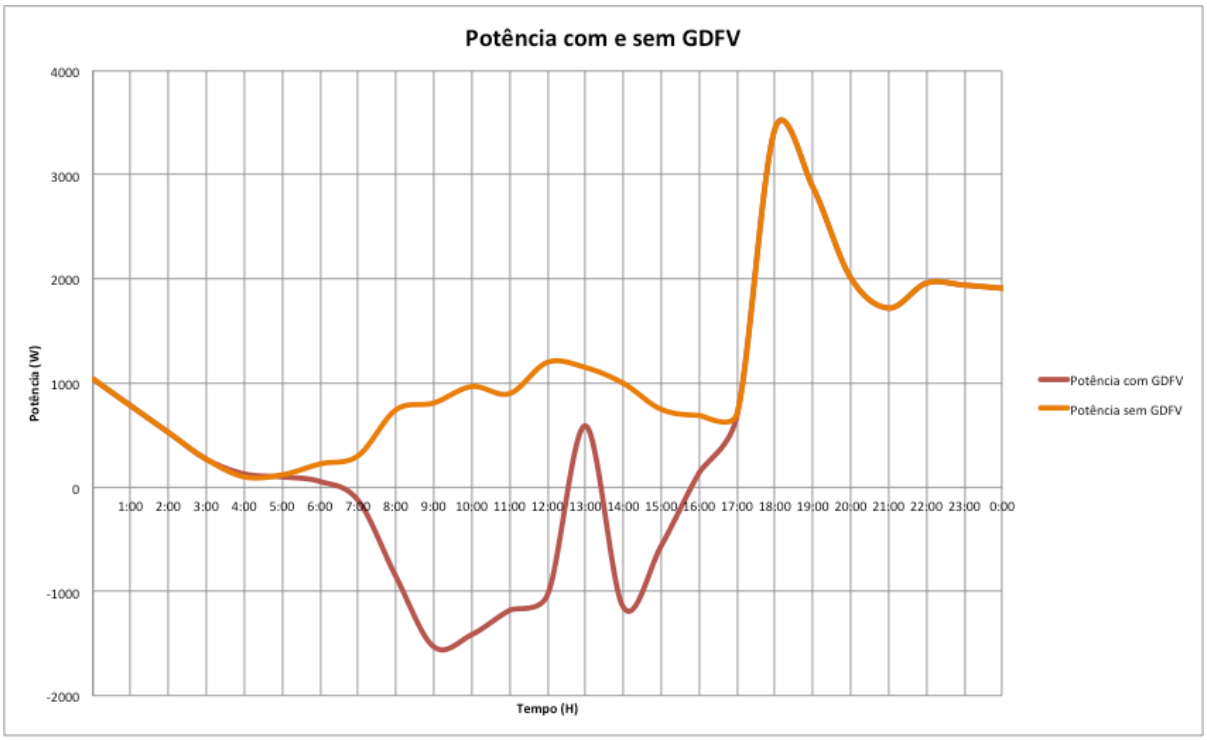


Gráfico 4.5 – Potência com e sem GDFV

Para que seja mensurada a incidência de raios solares no local da instalação dos módulos fotovoltaicos e para comprovar a inexistência de sombreamento no local de instalação ao longo do dia, é de suma importância a realização da medição da irradiância solar por meio do piranômetro.

A Tabela B.1 com os dados obtidos ao longo do período de 30 (trinta) dias encontra-se no Anexo B. A média dessas medições foi calculada e representada no Gráfico 4.6.

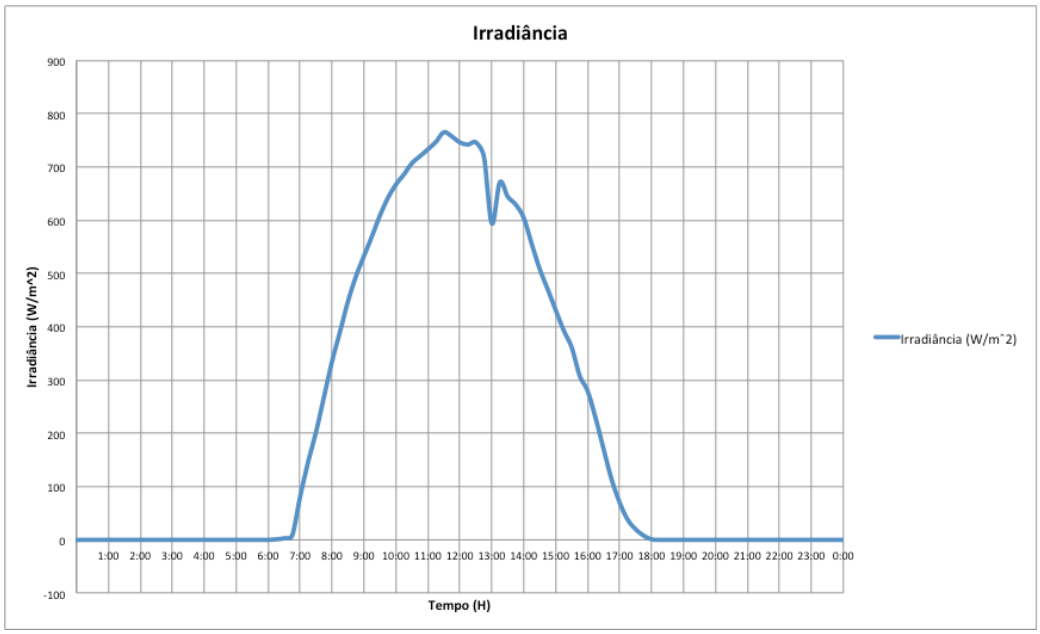


Gráfico 4.6 – Irradiância

Para constatar a relação entre a potência gerada com GDFV e a curva de irradiância, evidencia-se que nos momentos de maiores valores de irradiância são os mesmos nos quais a potência consumida apresenta os menores valores. O Gráfico 4.7 representa visualmente essa analogia.

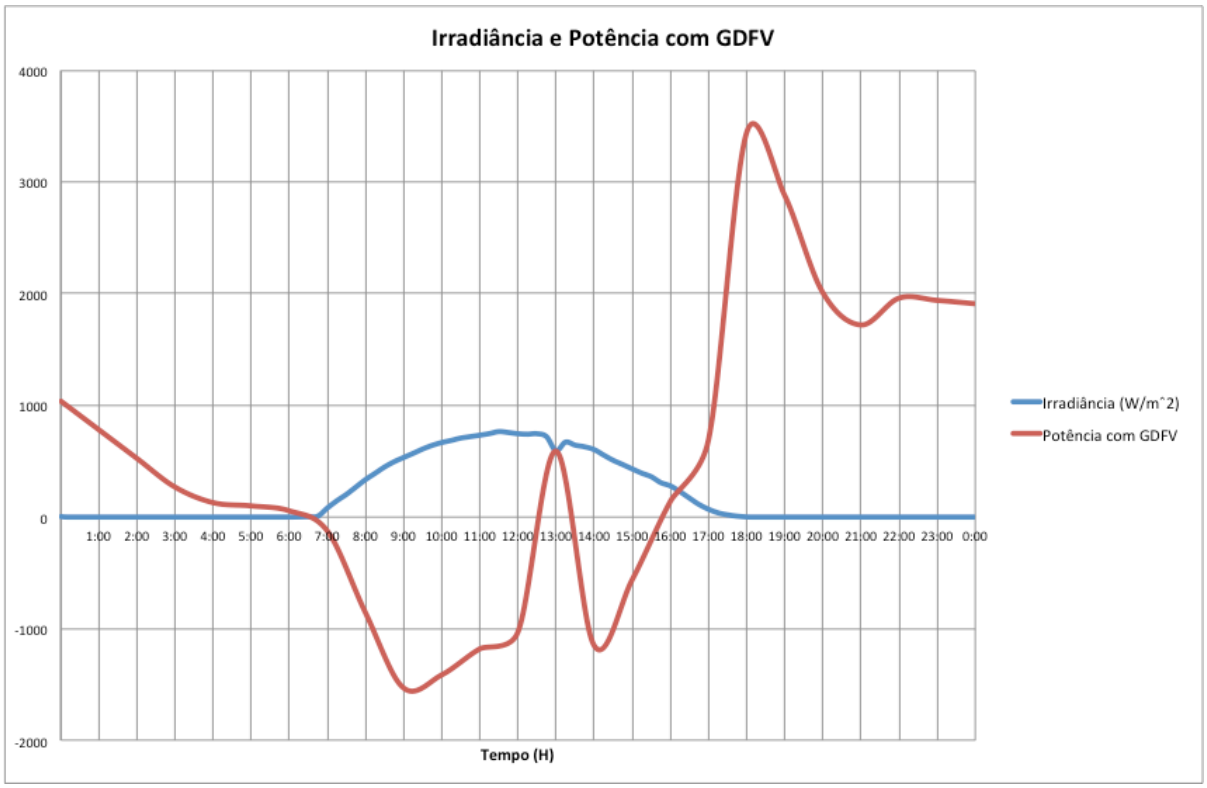


Gráfico 4.7 – Irradiância e Potência com GDFV

O inversor fotovoltaico escolhido foi dimensionado para a potência projetada de 4 kWp. De acordo com dados técnicos do equipamento, para potências de até 10 kWp a injeção na rede de distribuição poderá ser feita somente em uma das fases.

Para a residência em estudo, foi escolhida a fase B para a conexão do SFCR, visto que o projeto elétrico balanceou intencionalmente todas as cargas, entretanto alguns equipamentos de alto consumo energético, como máquinas de lavar, de uso comumente diurno também se encontram conectados na fase em questão.

A curva de carga do consumo de potência do sistema trifásico é evidenciada no Gráfico 4.8, o qual ilustra separadamente a curva de carga das fases existentes.

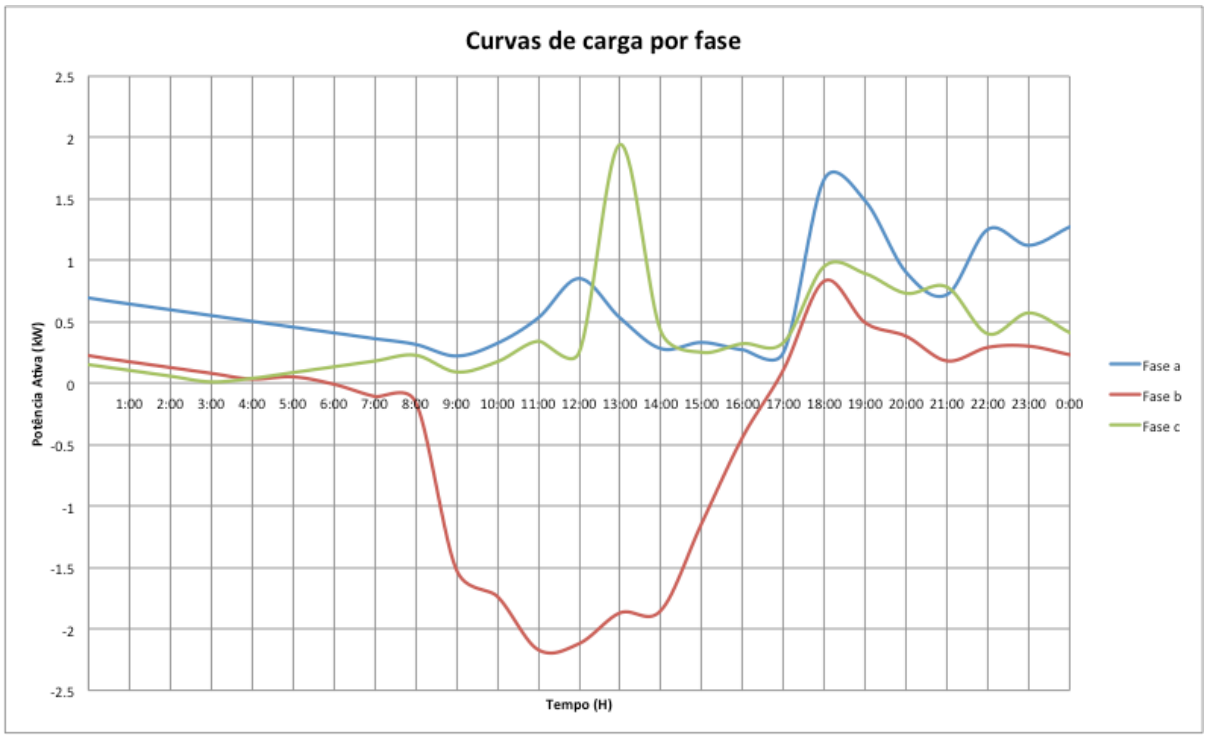


Gráfico 4.8 – Curvas de carga por fase

Nota-se que somente a fase B apresenta valores negativos de potência ativa, justamente nos horários de maior incidência solar, o que confirma a conexão do SFCR monofásica na fase B do sistema trifásico residencial.

4.2.3.1 BALANÇO ENERGÉTICO NULO

A partir dos dados do multimedidor instalado no quadro de distribuição geral da residência, calcula-se a energia ativa média consumida por fases e a total, de acordo com a Tabela 4.8.

Energia Ativa	Dia Útil Normal	Dia Útil com GDFV
Fase A	12,87 kWh	13,99 kWh
Fase B	9,11 kWh	-9,80 kWh
Fase C	9,01 kWh	9,39 kWh
Total	30,99 kWh	13,58 kWh

Tabela 4.8 – Energia Ativa consumida na residência

A compensação de energia que ocorre na Fase B equivale a 18,91 kWh e da Curva de Irradiância medida, calcula-se a Irradiação solar média diária, equivalente à área abaixo do gráfico, de valor $5{,}4\ kWh/m^2.dia$.

Esses dados nos permitem calcular a eficiência do SFCR instalado, uma vez que com 18,91 kWh de geração de energia e $5{,}4\ kWh/m^2$ de irradiação, apresenta-se um sistema de 3,5 kWp, enquanto o sistema projetado é de 4 kWp.

Dessa forma, observa-se que o sistema deveria produzir 20,52 kWh/dia, mas no período considerado produziu 18,91 kWh/dia, ou seja a eficiência do sistema para o período estudado foi de 92,15%.

Desejava-se que o SFCR fosse capaz de proporcionar ao usuário o balanço energético nulo, isso é a energia gerada equivalente à energia consumida subtraída do custo de disponibilidade, no caso apresentado pelas medições esse valor deveria ser de 27,66 kWh, valor inatingível ao SFCR considerando às condições de estudo.

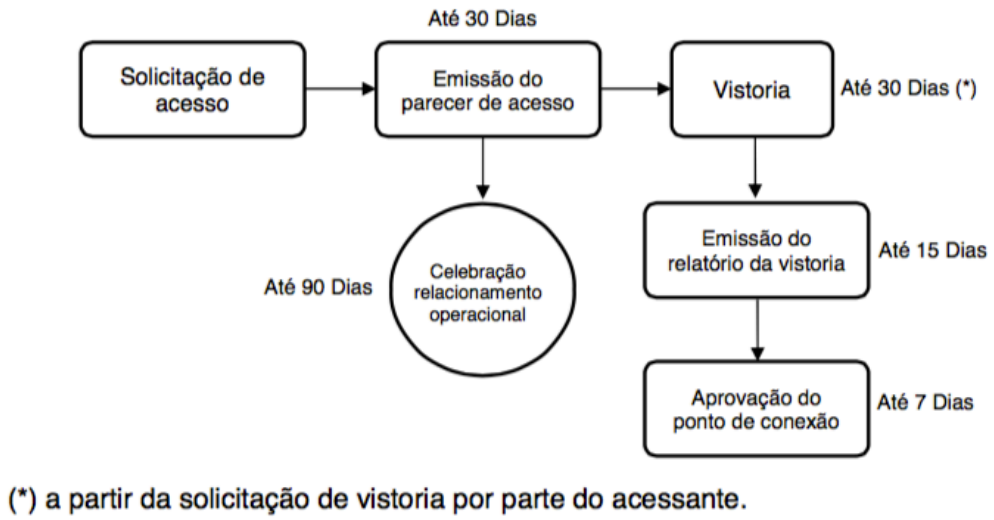
Apesar da boa eficiência do sistema, o mesmo não atingiu o objetivo, visto que no período em questão o consumo energético da residência superou o considerado no projeto, que se baseou no consumo médio mensal.

Nos dias analisados, o maior consumo energético na residência foi provocado, provavelmente pela maior quantidade de pessoas convivendo no local e ao uso atípico de aparelhos eletrodomésticos.

4.4 LEGISLAÇÃO E INTERFACE JUNTO À CEB

Visto que a instalação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede é um tema bastante recente, é de grande valia realizar uma descrição detalhada de todo o processo envolvido desde o início do contato com a distribuidora de energia local até a aprovação do sistema e início das medições e compensações.

Descreve-se, então, o processo que é constituído pelas etapas descritas na Figura 4.4.



Fonte: CEB, NTD 6.09

Figura 4.4: Etapas de acesso de microgeradores ao sistema de distribuição da CEB

1. Solicitação de Acesso

Nesta etapa o acessante solicita formalmente o acesso ao sistema de distribuição. Formaliza-se a solicitação através de formulário específico para fonte fotovoltaica, no qual o acessante propõe interligar o sistema de microgeração ao sistema de distribuição. Havendo pendências nas informações fornecidas pelo acessante, o mesmo deverá regularizá-las em até 60 dias a partir da notificação feita pela distribuidora.

2. Parecer de Acesso

O parecer de acesso é documento obrigatório apresentado pela distribuidora, sem ônus para o acessante, onde são informadas as condições técnicas e comerciais de acesso e os requisitos técnicos que permitem a conexão das instalações do acessante e os respectivos prazos.

A distribuidora tem até 30 dias para emissão do parecer de acesso. Quando o acesso ao sistema de distribuição exigir execução de obras de reforço ou ampliação no sistema de distribuição, devem ser observados os procedimentos e prazos praticados pela distribuidora para tal fim.

Depois de emitido o parecer de acesso, o Relacionamento Operacional referente ao acesso deve ser assinado entre as partes no prazo máximo de 90 dias após a emissão do parecer de acesso.

3. Relacionamento Operacional

Acessantes do sistema de distribuição de baixa tensão, devem celebrar com a Distribuidora o Relacionamento Operacional, o qual deverá ser assinado no máximo em 90 dias após a apresentação do parecer de acesso ao acessante e nenhuma obra pode ser iniciada sem a celebração do Relacionamento Operacional.

4. Acordo Operativo

O acordo operativo é o documento que complementa as definições, atribuições, responsabilidades e procedimentos técnicos, operacionais e administrativos necessários ao relacionamento operacional entre as partes, levando em consideração as particularidades de cada ponto de conexão.

5. Obras

Após a celebração do Relacionamento Operacional referente à conexão, são executadas as obras necessárias.

São de responsabilidade do acessante as obras de conexão de uso restrito e as instalações do ponto de conexão. Sua execução somente deverá iniciar após liberação formal da distribuidora.

Todas as obras para a conexão deverão ser construídas segundo os padrões da distribuidora, de acordo com os projetos aprovados na fase de solicitação do acesso.

As obras de conexão devem ser executadas observando-se as características técnicas, normas, padrões e procedimentos específicos do sistema de distribuição da distribuidora, além das normas da ABNT.

Cabe à distribuidora a execução de obras de reforma ou reforço em seu próprio sistema de distribuição para viabilizar a conexão da microgeração, respeitando os prazos habitualmente utilizados para tal.

6. <u>Solicitação de Vistoria</u>

Após a conclusão das obras necessárias para início da operação do sistema, o acessante deverá informar à distribuidora, que terá o prazo de até 30 dias para realização de vistoria.

4.4.1 RELAÇÃO DISTRIBUIDORA – USUÁRIO

No presente trabalho, foi possível analisar a relação necessária para implantação de uma GDFV entre a distribuidora e o usuário.

De acordo com o Banco de Informações de Geração da ANEEL, percebe-se que o Distrito Federal ainda realiza poucas instalações de sistemas fotovoltaicos, conclui-se então que a distribuidora da região, CEB, tem pouca experiência com a instalação de sistemas de geração fotovoltaica distribuída, fato que já foi confirmado em relação a todas as distribuidoras brasileiras pelo estudo "O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica em 2013", do instituto IDEAL.

O tempo médio para conclusão de todas as etapas da instalação de um SFCR, ou seja, desde a assinatura do contrato entre o usuário e a empresa instaladora até a aprovação pela distribuidora e efetiva conexão do sistema na rede da mesma foi equivalente a três meses. Esse resultado foi bom, visto que países como Alemanha e Reino Unido apresentam processos de conexão ágeis e padronizados, que permitem conclusão dos projetos num tempo médio de sete a três semanas (PV GRID CONSORTIUM, 2014). Entretanto, a correlação entre a rapidez no processo de instalação e a capacidade instalada é muito diferente entre os países citados quando comparada à do Brasil, o que não implica necessariamente que uma variável seja causa da outra, mas deve-se estimular a desburocratização dos processos de solicitação e aprovação da conexão da geração distribuída, como indicado no estudo "O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica em 2013", do instituto IDEAL.

A coerência entre as normas nacionais, seja da ANEEL ou do INMETRO, e específicas das distribuidoras é um fator importante para avaliar o processo. Ao longo do projeto, constatou-se que a CEB cumpre os prazos determinados pela ANEEL, exceto a troca do medidor, que, segundo o artigo 10 do capítulo IV da Resolução Normativa N° 482, 2012 da ANEEL, o sistema de medição deverá ser adequado pela distribuidora dentro do prazo para realizar a vistoria e ligação das instalações, ou seja, até 30 dias. No caso em estudo, a troca do medidor levou cerca de um mês após a vistoria realizada.

Pode-se concluir que com a legislação vigente e todos os procedimentos já definidos, a distribuidora foi assertiva quanto aos prazos previamente estabelecidos senão o prazo para instalação do medidor bidirecional, uma vez que, após vistoria da distribuidora, a residência já estaria apta a iniciar a geração de energia pela fonte fotovoltaica, entretanto foi impossibilitada diante da ausência do mesmo.

4.5 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

A partir da metodologia apresentada no Capítulo 3, calculam-se os parâmetros para estudo da estimativa de geração de energia do SFCR.

A Tabela 4.9 apresenta os dados de energia mensal produzida pelo SFCR considerando um rendimento de 85% do sistema.

Mês	Dias	Potência Instalada (kWp)	Irradiação solar diária média (kWh/m2.dia)	Rendimento do Sistema	Energia mensal produzida (kWh)
Jan	31	4	4,35	0,85	458,50
Fev	28	4	5,35	0,85	509,32
Mar	31	4	4,56	0,85	480,62
Abr	30	4	5,39	0,85	549,78
Mai	31	4	5,42	0,85	571,27
Jun	30	4	5,67	0,85	578,34
Jul	31	4	5,86	0,85	617,65
Ago	31	4	6,14	0,85	647,16
Set	30	4	5,43	0,85	553,86
Out	31	4	4,57	0,85	481,68
Nov	30	4	4,45	0,85	453,9
Dez	31	4	4,35	0,85	458,50
Total					6360,58
Média					530,05
Produtividade Annual do SFCR					1590,15 kWh/kWp

Tabela 4.9: Energia produzida mensalmente por um sistema de 4 kWp

Observa-se que a Produtividade Anual é de 1590,15 $\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}$/ano.

O Fator de Capacidade calculado foi de 18%.

A Energia Economizada pelo sistema, considerando a Tarifa Final imposta pela distribuidora CEB de 0,6006651, foi equivalente a R$3820,58/ano.

Para definição e estimativa dos custos do sistema, são tomados como base os preços dos equipamentos e serviços reais do projeto estudado, resultando no preço por Watt-pico instalado.

Diante do valor do Investimento Inicial de R$26880,00, calcula-se o preço por Watt-pico instalado, equivalente a R$6,72/Wp.

Item	Componente do SFCR	Quantidade	Preço [R$]
1	Módulo Fotovoltaico - 60 células - Silício Policristalino - 250 Wp	16	13600,00
2	Inversor 4,2 kWp	1	5080,00
3	Kit para fixação em telha de fibrocimento	1	2500,00
4	Serviço de Instalação		3500,00
5	Acessórios		2200,00
	Total		**R$ 26880,00**

Tabela 4.10: Investimento Inicial

4.6 ANÁLISE ECONÔMICA

Finalmente o Período de Retorno Simples do investimento do SFCR é calculado, equivalente a 7,03, ou seja, em aproximadamente 7 anos o sistema será pago, visto que a vida útil considerada é de 30 anos, o PRS é um bom valor.

O Custo da Energia Produzida calculado, considerou o tempo de vida útil equivalente a 30 (trinta) anos, a taxa de desconto referente ao custo de oportunidade é de 12,25%, mas para o cálculo do custo nivelado da energia é mais adequado utilizar a taxa de desconto real, isto é, a taxa nominal descontada da inflação. Visto que o uso da taxa de desconto nominal, de 12,25%, acarretaria em uma distorção na comparação do custo nivelado da energia com a tarifa de energia elétrica convencional atual, portanto taxa de desconto de 6,3%, isto é, a taxa de 12,25% descontada de 5,6% referente à inflação. A porcentagem do investimento inicial gasta anualmente na operação e manutenção do sistema é de 1% e o valor de Custo de Capital inicial considerado foi de R$26880,00/4kWp, ou seja, R$6720,00/kWp. Portanto, tem-se o Custo da Energia Produzida equivalente a R$0,3622.

O valor do custo da geração de energia fotovoltaico está otimizado em relação ao custo de geração de energia elétrica informado pela ANEEL para a classe B1 – Residencial da distribuidora CEB, equivalente a R$0,36931.

4.6.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Diante dos valores obtidos, é feita uma Análise de Sensibilidade. Variam-se alguns valores fundamentais do SFCR de forma a perceber a alteração no custo de geração a partir da fonte fotovoltaica.

Os parâmetros que serão variados:

- Vida útil do sistema
- Investimento Inicial
- Taxa de desconto real
- Fator de Capacidade
- Porcentagem do Investimento Inicial reservado para manutenções anuais (OM)

4.6.1.1 VIDA ÚTIL DO SISTEMA

Considera-se a taxa de desconto real igual a 6,3%, o fator de capacidade de 18,15%, a porcentagem do investimento inicial para manutenções anuais de 1% além do custo de capital inicial de R$6720,00/kWp. A Tabela 4.11 expõe a variação da vida útil do sistema, considerou-se uma variação de 20 a 40 anos, e sua interferência no custo de geração da energia fotovoltaica.

Variável	Descrição	Unidade	Obs.	**Vida Útil (Anos)**	Custo da Geração (Centavos)
C	Custo da Geração em centavos	R$/kWh	-	Valor Inicial	36.22
r	Taxa de desconto do custo de oportunidade	-	6.30%	20	42.33
N	Vida útil do sistema	Anos	30	25	38.56
OM	% do investimento inicial reservado para manutenções anuais	%	1%	30	36.22
Inv	Custo de capital inicial	R$/kWp	6,720.00	35	34.70
Cf	Fator de capacidade	-	18%	40	33.66

Tabela 4.11: Análise de sensibilidade – variação da vida útil do sistema

4.6.1.2 INVESTIMENTO INICIAL

Considera a vida útil do sistema constante igual a 30 anos, a taxa de desconto real igual a 6,3%, o fator de capacidade de 18% e a porcentagem do investimento inicial para

manutenções anuais de 1%. A Tabela 4.12 exibe as alterações referentes à variação do investimento inicial, de R$6000,00/kWp a R$9000,00/kWp.

Variável	Descrição	Unidade	Obs.	**Investimento Inicial (R$/kWh)**	Custo da Geração (Centavos)
C	Custo da Geração em centavos	R$/kWh	-	Valor Inicial	36.22
r	Taxa de desconto do custo de oportunidade	-	6.30%	6,000.00	32.34
N	Vida útil do sistema	Anos	30	6,500.00	35.04
OM	% do investimento inicial reservado para manutenções anuais	%	1%	7,000.00	37.73
Inv	Custo de capital inicial	R$/kWp	6,720.00	8,000.00	43.12
Cf	Fator de capacidade	-	18%	9,000.00	48.51

Tabela 4.12: Análise de sensibilidade – variação do Investimento Inicial

4.6.1.3 TAXA DE DESCONTO REAL

Para a análise de sensibilidade considerando uma variação na taxa de desconto real, de 4,5% a 12,30%, consideram-se constantes os parâmetros de vida útil de 30 anos, o fator de capacidade de 18%, a porcentagem do investimento inicial para manutenções anuais de 1% e o investimento inicial de R$6720,00/kWp. A Tabela 4.13 indica como essa variação altera os valores para o custo de geração de energia fotovoltaica.

Variável	Descrição	Unidade	Obs.	**Taxa de Desconto (%)**	Custo da Geração (Centavos)
C	Custo da Geração em centavos	R$/kWh	-	Valor Inicial	36.22
r	Taxa de desconto do custo de oportunidade	-	6.30%	4.50%	30.43
N	Vida útil do sistema	Anos	30	5%	31.99
OM	% do investimento inicial reservado para manutenções anuais	%	1%	6.30%	36.22
Inv	Custo de capital inicial	R$/kWp	6,720.00	9%	45.74
Cf	Fator de capacidade	-	18%	12.30%	58.35

Tabela 4.13: Análise de sensibilidade – variação da irradiação diária

4.6.1.4 FATOR DE CAPACIDADE

Para a análise de sensibilidade considerando uma variação no fator de capacidade, de 15% a 22%, consideram-se constantes os parâmetros de vida útil de 30 anos, a taxa de desconto real igual a 6,3%, a porcentagem do investimento inicial para manutenções anuais de 1% além do custo de capital inicial de R$6720,00/kWp. Uma mudança no fator de capacidade acarreta diferenças significativas nos valores para o custo de geração de energia fotovoltaica, como observa-se na Tabela 4.14.

Variável	Descrição	Unidade	Obs.	**Fator de Capacidade (%)**	Custo da Geração (Centavos)
C	Custo da Geração em centavos	R$/kWh	-	Valor Inicial	36.22
r	Taxa de desconto do custo de oportunidade	-	6.30%	15%	43.47
N	Vida útil do sistema	Anos	30	16%	40.75
OM	% do investimento inicial reservado para manutenções anuais	%	1%	18%	36.22
Inv	Custo de capital inicial	R$/kWp	6,720.00	19%	34.32
Cf	Fator de capacidade	-	18%	21%	31.05
				22%	29.64

Tabela 4.14: Análise de sensibilidade – variação da taxa de desconto real

4.6.1.4 PORCENTAGEM DO INVESTIMENTO INICIAL RESERVADO PARA MANUTENÇÕES ANUAIS

Para a análise de sensibilidade considerando uma variação na porcentagem do investimento inicial reservado para manutenções anuais, de 1% a 5%, consideram-se constantes os parâmetros de vida útil de 30 anos, a taxa de desconto real igual a 6,3%, o fator de capacidade de 18%, além do custo de capital inicial de R$6720,00/kWp. Observa-se na Tabela 4.15 a consequência dessa variação no custo de geração de energia a partir da fonte fotovoltaica.

Variável	Descrição	Unidade	Obs.	**OM (%)**	Custo da Geração (Centavos)
C	Custo da Geração em centavos	R$/kWh	-	Valor Inicial	36.22
r	Taxa de desconto do custo de oportunidade	-	6.30%	1%	36.22
N	Vida útil do sistema	Anos	30	2%	40.49
OM	% do investimento inicial reservado para manutenções anuais	%	1%	3%	44.75
Inv	Custo de capital inicial	R$/kWp	6,720.00	4%	49.01
Cf	Fator de capacidade	-	18%	5%	53.27

Tabela 4.15: Análise de sensibilidade – variação da taxa do OM

Dessa forma, conclui-se que a geração fotovoltaica é viável e competitiva no momento, uma vez que o Brasil enfrenta um momento de crise e a geração de energia encontra-se onerosa.

Entretanto, com a modificação de alguns valores de parâmetros, percebe-se brusca alteração desse custo de forma que o sistema fique fora da zona de competitividade.

Finaliza-se assim o Capítulo 4, no qual desenvolve-se o projeto real do SFCR com análise de resultados harmônicos com as expectativas.

Pode-se afirmar que a metodologia aqui apresentada representa um estudo atual que aborda o tema de forma realista.

No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões deste trabalho e, também, propostas de estudos futuros que permitam o prosseguimento da evolução de estudos na área de fontes renováveis de energia.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 VISÃO GLOBAL DO PROJETO

Este trabalho, assim como outros que abordaram o assunto Geração Distribuída, apresentou um estudo sobre a implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. A contribuição principal é ao consumidor residencial, visando-se o balanço energético nulo.

Ao longo do Capítulo 2 foi construída uma definição de GDFV que se adequou ao cenário abordado. Desenvolveu-se também um portfólio de casos de sucesso de SFCR no Brasil, especialmente na cidade de Brasília, onde o presente estudo aconteceu.

O Capítulo 3 apresentou, com o intuito de facilitar o entendimento do leitor, a estrutura utilizada para o desenvolvimento dos estudos do presente trabalho e a metodologia seguida. Com essa lógica montada, tornou-se possível o entendimento da situação real apresentada.

Por fim, o Capítulo 4 apresenta resultados obtidos e análises dos mesmos, de forma a contribuir para futuros estudos que abordem o conceito de GDFV. Tratou-se de explicar cada valor encontrado a fim de traçar comportamentos de sistemas com as características descritas.

A análise de um sistema real possibilitou a construção de um fluxograma que evidencia um passo-a-passo para dimensionamento de SFCR além da metodologia para estimativa do Custo de Geração da energia.

Partindo da análise do comportamento das curvas de carga da unidade consumidora, foi possível aprofundar o estudo técnico dos impactos da instalação da GDFV na rede.

As curvas de carga analisadas são de perfil residencial com presença de picos de consumo durante parte do horário comercial, mas maior pico no início da noite.

Com a adição da GDFV no local, com módulos de silício policristalino com eficiência em torno de 15% e curva de irradiância solar medida a partir de piranômetro, observa-se atuação do sistema condizente com a esperada, de forma que a injeção monofásica de potência, caracterizou uma modificação na curva de carga de uma das fases da residência, além da curva de carga geral, a qual obedeceu ao período com radiação solar disponível.

Percebe-se que no momento atual, a geração de energia pela fonte fotovoltaica para o caso real estudado é viável, com custo inferior ao praticado pela geração de energia elétrica convencional. Entretanto, variando-se os parâmetros essenciais para determinação do custo de geração de energia, por exemplo, a taxa de desconto real, essa situação otimizada é perdida e a geração fotovoltaica não se torna competitiva.

Pode-se concluir que, quanto aos objetivos apresentados no Capítulo 1, obteve-se sucesso, pois se conseguiu dimensionar o sistema fotovoltaico conectado à rede, avaliar a unidade consumidora, aferir os parâmetros essenciais ao sistema, como a irradiância no local além do consumo de potência ao longo do dia, estimar o custo de geração de energia a partir de uma fonte fotovoltaica e analisar a relação entre a distribuidora de energia e o usuário.

Dessa forma, uma GDFV se torna fonte de estudos e possibilidades para diversas áreas da engenharia, visto que é uma área ainda em desenvolvimento e carente de soluções e oportunidades.

Em seguida, serão apresentadas as conclusões e propostas que permitirão a continuidade do estudo de redes elétricas inteligentes.

5.2 CONCLUSÕES

Após o desenvolvimento de todos os capítulos do presente trabalho, é possível perceber a importância que a evolução dos estudos realizados, a respeito do tema, possui para que, futuramente, a implantação da GDFV seja possibilitada em grande escala.

Com este trabalho desenvolvido é esperado que a sua contribuição possibilite a evolução do estudo de GDFV, visando maior interesse acerca do tema, tanto dentro da área acadêmica quanto para futuros usuários e profissionais das distribuidoras de energia.

5.3 SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO

Para que o estudo seja continuado, apresentam-se a seguir sugestões e considerações para aprofundamento das análises realizadas e futuros trabalhos.

(1) Profunda análise econômica para sistemas residenciais, comerciais e industriais, considerando possíveis cenários de incentivos fiscais.

(2) Desenvolver projeto que especifique estrutura laboratorial, possibilitando, assim, a realização de experimentos relacionados ao tema.

(3) Considerar projeto que analise a compensação de Energia Reativa, visto que atualmente os sistemas podem ser perniciosos à rede pois a unidade consumidora mesmo gerando energia ativa, ainda solicita da rede de distribuição energia reativa.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, Y. V.; OLIVEIRA, M. A. G.; GUERRA, S. M. G. Energia, Sociedade e Meio Ambiente. Brasil, 2010b;

ALCÂNTARA, E. C. (2013). Ferramenta para estimar o desempenho de sistemas fotovoltaicos com diferentes estruturas de inclinação e tecnologias – uma análise comparativa do ganho proveniente da utilização de seguidor de Sol e concentrador solar. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, 2013, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117p;

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Audiência Pública n.° 43/2010. Obtenção de dados para regulamentar os requisitos mínimos dos sistemas de medição de energia elétrica instalados em unidades consumidoras do Grupo B classificadas no subgrupo B1 Residencial, não enquadrados como Baixa Renda, e no subgrupo B3. 2011a. Disponível em: <www.aneel.gov.br>;

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Audiência Pública n.° 120/2010. Obtenção de subsídios e informações adicionais referentes à alteração da Estrutura Tarifária aplicada ao setor de distribuição de energia elétrica no Brasil.. 2011b. Disponível em: <www.aneel.gov.br>;

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n.º 502/2012. Regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B. 2012. Disponível em: <www.aneel.gov.br>;

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n.º 482/2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. 2012b. Disponível em: <www.aneel.gov.br>;

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, Módulo 3. Disponível em http://www.aneel.gov.br ;

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Resolução Aneel n° 456/2000, 2000;

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Audiência Pública n° 042/2011, 2011;

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Micro e minigeração distribuída : sistema de compensação de energia elétrica / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília : ANEEL, 2014. 28 p. : il. - (Cadernos temáticos ANEEL) ;

Banco de Informações de Geração. Brasília, ANEEL, 2014. Disponível em: http://www.aneel.gov.br;

Barreto, Gustavo de Andrade. Metodologia de aplicação de geração distribuída fotovoltaica em baixa tensão nos reticulados subterrâneos das distribuidoras de energia elétrica./ Gustavo de Andrade Barreto; orientador : José Aquiles Baesso Grimoni. – São Paulo, 2014;

BENEDITO, R.; Zilles, R. O Problema da Inserção da Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos em Unidades Consumidoras de Baixa Tensão no Brasil, 2011;

BENEDITO, R. S. Caracterização da Geração Distribuída de eletricidade por meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. 2009. 108 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo;

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional - BEN. Brasília: MME, 2010;

BRASIL. Presidência da República. Conselho Nacional de Política Energética. O setor elétrico brasileiro: situação atual e perspectivas. Brasília: MME, 2000;

CAMARGOS, R. S. C. (2013). Análise técnica de impactos e limite de penetração da geração distribuída fotovoltaica em uma rede radial de distribuição – Estudo de caso para o alimentador da embaixada da Itália em Brasília. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, 2013, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 220p;

CEB – Companhia Energética de Brasília. Norma técnica de distribuição NTD – 6.01: Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária a Unidades Consumidoras Individuais . Brasília, out. 2004;

CEB – Companhia Energética de Brasília. Norma técnica de distribuição NTD – 6.09: Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição CEB-D – Conexão em Baixa e Média Tensão. Brasília, abr. 2014;

Contribuição a Consulta Pública no 0015/2009, de 28.01.2009, publicada por ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica;

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014;

CLARIM, C. E. L. (2013). Redes Inteligentes e Sua Aplicação em Sistemas de Distribuição de Energia Durante Falha de Suprimento da Distribuidora. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica, Publicação FT. Departamento de Engenharia Elétrica,Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 126p;

ELTON FAGUNDES BERTOI. Análise dos incentivos à microgeração distribuída sob a perspectiva da viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. 2012. 68 fl. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Gestão de Energia) – Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre;

ELETROBRAS – 2011. Embaixada da Itália em Brasília. Disponível em: <http://www.eletrobras.com>;

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2014;

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. EPE, 2012. Disponível em: www.epe.gov.br;

FERNANDES, J. F. T. (2013). Avaliação da viabilidade técnica da microgeração eólica. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, 2013, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 78p;

GONÇALVES, C. Metodologia de Planejamento para Inserção de Geradores Fotovoltaicos em Redes Elétricas Isoladas e Supridas por Geradores a Diesel. 2013;

IBM Brasil - Contribuição a Consulta Pública no 0015/2009, de 28.01.2009, publicada por ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica;

IEA. Trends 2014 in PV Applications. Disponível em: <www.iea.org> ;

LOPES, L. Z. (2011). Alimentador Radial de Distribuição para Simulações de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 125p;

MME - Ministério de Minas e Energia. Relatório do Grupo de Trabalho de Geração Distribuída em Sistemas Fotovoltaicos – GT – GDSF. Brasília: MME, 2009. Disponível em www.mme.gov.br;

MME - Ministério de Minas e Energia, EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia – 2030. Rio de Janeiro, MME/EPE, 2008. Disponível em www.mme.gov.br;

MIAN, H. M. (2015). Análise regulatória da participação da energia solar fotovoltaica e estudo do melhor mecanismo de suporte para inseri-la na matriz elétrica brasileira. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 108p;

NAKABAYASHI, Rennyo. Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras. 2014. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014;

OLIVEIRA, M. A. V. de (2011). Dimensionamento de Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes Radiais de Distribuição Considerando Curvas de Irradiância Solar e de Carga. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, 2011, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 105p;

PARECER N° 0108/2012/PGE- ANEEL/PGF/AGU;

PINTO, A.; ZILLES, R.; BET, I. Excedente de Reativos em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. São Paulo, set. 2012;

Portal O Setor Elétrico publicado em 07/11/2012. Disponível em: < http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed83_fasc_energia_renovavel_cap11.pdf>;

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Publicações. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>;

PV GRID CONSORTIUM. PV GRID Database [Internet]. Disponível em: http://www.pvgrid.eu/database.html. Acesso em Maio de 2015;

Relatório ABINEE: Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira –. Brasil, jun. 2012;

Relatório EPE: Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Rio de Janeiro, mai 2012;

SEVERINO, Mauro Moura. Avaliação Técnico-Econômica de um Sistema Híbrido de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas da Amazônia. Distrito Federal, 2008. xxiii, 335p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Doutor, Engenharia Elétrica, 2008);

SHAYANI, Rafael Amaral. Método para Determinação do Limite de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes de Distribuição Radial. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.TD – 051/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010, 161p.

SCHEIDT, Paula e KONZEN, Gabriel – O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica em 2013, IDEAL;

SWERA; Solar: Monthly and Annual Average Direct normal Irradiance GIS Data at One-degree Resolution of the World form NASA/SSE, 2008. Disponível em: http://swera.unep.net/index.php?id=metainfo&rowid=277&metaid=386;

TOLEDO, Fábio de Oliveira. Desvendando as redes elétricas inteligentes / coordenação geral Fábio Toledo. Rio de Janeiro: Brasport, 2012;

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. "Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações – Sistemas Isolados e Conectados à Rede". Editora Érica, 2012 ;

VINHAES, E.A.S. A reestruturação da indústria de energia elétrica brasileira: uma avaliação da possibilidade de competição através da Teoria de mercados contestáveis. 1999. Dissertação (Mestrado em Economia Industrial) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

ANEXOS

ANEXO A: CURVA DE CARGA TÍPICA

Tabela A.1: Parâmetros Elétricos da Residência para obtenção da Curva de Carga – Média de 7 dias

00h		
Tensão Vph-n	a	219 V
	b	216 V
	c	220 V
Tensão Vph-Vph	a b	376 V
	b c	377 V
	ca	380 V
Corrente	a	3,5 A
	b	1,1 A
	c	0,8 A
	n	3,4 A
Potência S	a	0,80 kVA
	b	0,23 kVA
	c	0,17 kVA
Potência Total S		1,15 kVA
Potência P	a	0,69 kW
	b	0,22 kW
	c	0,15 kW
Potência Total P		1,04 kW
Potência Q	a	0,25 kvar
	b	0,03 kvar
	c	0,06 kvar
Potência Total Q		0,26 kvar neg
Fator de Potência		0,91
Frequência		60 Hz
Energia Ativa	a	0,05 kWh
	b	0,01 kWh

9h		
Tensão Vph-n	a	215 V
	b	217 V
	c	217 V
Tensão Vph-Vph	a b	374 V
	b c	375 V
	ca	377 V
Corrente	a	1,1 A
	b	8,5 A
	c	0,5 A
	n	7,7 A
Potência S	a	0,23 kVA
	b	1,53 kVA
	c	0,11 kVA
Potência Total S		2,19 kVA
Potência P	a	0,22 kW
	b	1,52 kW neg
	c	0,09 kW
Potência Total P		1,53 kW neg
Potência Q	a	0,03 kvar
	b	0,06 kvar
	c	0,04 kvar
Potência Total Q		0,01 kvar
Fator de Potência		0,89
Frequência		59,96 Hz
Energia Ativa	a	3,51 kWh
	b	0,31 kWh neg

11h		
Tensão Vph-n	a	215 V
	b	218 V
	c	216 V
Tensão Vph-Vph	a b	375 V
	b c	372 V
	ca	376 V
Corrente	a	2,7 A
	b	10,1 A
	c	1,9 A
	n	10,5 A
Potência S	a	0,58 kVA
	b	2,19 kVA
	c	0,42 kVA
Potência Total S		3,57 kVA
Potência P	a	0,53 kW
	b	2,17 kW neg
	c	0,34 kW
Potência Total P		1,18 kW neg
Potência Q	a	0,18 kvar
	b	0,18 kvar
	c	0,65 kvar
Potência Total Q		0,65 kvar
Fator de Potência		0,92
Frequência		60 Hz
Energia Ativa	a	4,07 kWh
	b	3,29 kWh neg

	c	0,01 kWh
Energia Ativa Total		0,07 kWh
Energia Reativa	a	0,02 kvarh neg
	b	0,00 kvarh
	c	0,00 kvarh
Energia Reativa Total		0,02 kvarh neg

	c	1,99 kWh
Energia Ativa Total		5,2 kWh
Energia Reativa	a	0,46 kvarh
	b	1,21 kvarh
	c	0,8 kvarh
Energia Reativa Total		2,46 kvarh

	c	2,20 kWh
Energia Ativa Total		2,98 kWh
Energia Reativa	a	0,30 kvarh
	b	1,43 kvarh
	c	0,91 kvarh
Energia Reativa Total		2,63 kvarh

12h		
Tensão Vph-n	a	214 V
	b	217 V
	c	215 V
Tensão Vph-Vph	a b	374 V
	b c	371 V
	ca	374 V
Corrente	a	4,0 A
	b	9,9 A
	c	1,4 A
	n	12,2 A
Potência S	a	0,86 kVA
	b	2,14 kVA
	c	0,30 kVA
Potência Total S		3,29 kVA
Potência P	a	0,85 kW
	b	2,12 kW neg
	c	0,25 kW
Potência Total P		1,03 kW neg
Potência Q	a	0,00 kvar
	b	0,18 kvar
	c	0,15 kvar
Potência Total Q		0,33 kvar
Fator de Potência		0,88
Frequência		60 Hz
Energia Ativa	a	4,82 kWh
	b	5,56 kWh neg
	c	2,48 kWh
Energia Ativa Total		1,75 kWh
Energia Reativa	a	0,20 kvarh
	b	1,56 kvarh

13h		
Tensão Vph-n	a	216 V
	b	216 V
	c	217 V
Tensão Vph-Vph	a b	374 V
	b c	373 V
	ca	375 V
Corrente	a	2,6 A
	b	8,8 A
	c	1,4 A
	n	9,8 A
Potência S	a	0,56 kVA
	b	1,92 kVA
	c	1,94 kVA
Potência Total S		4,42 kVA
Potência P	a	0,53 kW
	b	1,87 kW neg
	c	1,94 kW
Potência Total P		0,59 kW
Potência Q	a	0,11 kvar
	b	0,33 kvar
	c	0,09 kvar
Potência Total Q		0,31 kvar
Fator de Potência		0,91
Frequência		59,96 Hz
Energia Ativa	a	5,46 kWh
	b	7,81 kWh neg
	c	2,79 kWh
Energia Ativa Total		0,44 kWh
Energia Reativa	a	0,09 kvarh
	b	1,76 kvarh

14h		
Tensão Vph-n	a	215 V
	b	214 V
	c	215 V
Tensão Vph-Vph	a b	370 V
	b c	372 V
	ca	374 V
Corrente	a	1,4 A
	b	8,8 A
	c	2,2 A
	n	9,6 A
Potência S	a	0,31 kVA
	b	1,87 kVA
	c	0,47 kVA
Potência Total S		2,66 kVA
Potência P	a	0,28 kW
	b	1,85 kW neg
	c	0,42 kW
Potência Total P		1,15 kW neg
Potência Q	a	0,01 kvar
	b	0,10 kvar
	c	0,20 kvar
Potência Total Q		0,32 kvar
Fator de Potência		0,93
Frequência		59,96 Hz
Energia Ativa	a	5,68 kWh
	b	9,69 kWh neg
	c	3,94 kwh
Energia Ativa Total		0,08 kWh neg
Energia Reativa	a	0
	b	1,99 kvarh

	c	1,09 kvarh
Energia Reativa Total		2,85 kvarh

	c	1,29 kvarh
Energia Reativa Total		3,15 kvarh

	c	1,44 kvarh
Energia Reativa Total		3,43 kvarh

15h		
Tensão Vph-n	a	215 V
	b	215 V
	c	216 V
Tensão Vph-Vph	a b	373 V
	b c	372 V
	ca	375 V
Corrente	a	1,9 A
	b	5,7 A
	c	1,4 A
	n	6,5 A
Potência S	a	0,40 kVA
	b	1,22 kVA
	c	0,29 kVA
Potência Total S		1,90 kVa
Potência P	a	0,33 kW
	b	1,14 kW neg
	c	0,25 kW
Potência Total P		0,56 kW neg
Potência Q	a	0
	b	0,33 kvar
	c	0,15 kvar
Potência Total Q		0,48 kvar
Fator de Potência		0,87
Frequência		60 Hz
Energia Ativa	a	5,88 kWh
	b	11,08 kWh neg
	c	4,51 kWh
Energia Ativa Total		0,68 kWh neg
Energia Reativa	a	0,06 kvarh
	b	2,17 kvarh
	c	1,58 kvarh
Energia Reativa Total		3,69 kvarh

16h		
Tensão Vph-n	a	216 V
	b	215 V
	c	216 V
Tensão Vph-Vph	a b	374 V
	b c	373 V
	c a	375 V
Corrente	a	1,7 A
	b	2,5 A
	c	1,9 A
	n	2,4 A
Potência S	a	0,35 kVA
	b	0,53 kVA
	c	0,40 kVA
Potência Total S		1,39 kVA
Potência P	a	0,27 kW
	b	0,44 kW neg
	c	0,32 kW
Potência Total P		0,14 kW
Potência Q	a	0,19 kvar
	b	0,08 kvar
	c	0,23 kvar
Potência Total Q		0,03 kvar neg
Fator de Potência		0,90
Frequência		60 Hz
Energia Ativa	a	6,09 kWh
	b	11,90 kWh neg
	c	4,78 kWh
Energia Ativa Total		1,03 kWh neg
Energia Reativa	a	0,16 kvarh neg
	b	2,33 kvarh
	c	1,76 kvarh
Energia Reativa Total		3,92 kvarh

17h		
Tensão Vph-n	a	217 V
	b	217 V
	c	218 V
Tensão Vph-Vph	a b	377 V
	b c	377 V
	c a	378 V
Corrente	a	1,3 A
	b	1,3 A
	c	1,9 A
	n	1,4 A
Potência S	a	0,29 kVA
	b	0,29 kVA
	c	0,41 kVA
Potência Total S		0,98 kVA
Potência P	a	0,25 kW
	b	0,11 kW
	c	0,33 kW
Potência Total P		0,69 kW
Potência Q	a	0,03 kvar
	b	0,08 kvar
	c	0,24 kvar
Potência Total Q		0,34 kvar
Fator de Potência		0,94
Frequência		60,01 Hz
Energia Ativa	a	6,33 kWh
	b	11,93 kWh neg
	c	5,09 kWh
Energia Ativa Total		0,51 kWh neg
Energia Reativa	a	0,27 kvarh neg
	b	2,48 kvarh
	c	1,96 kvarh
Energia Reativa Total		4,17 kvarh

18h	19h	20h

Tensão Vph-n	a	218 V
	b	218 V
	c	220 V
Tensão Vph-Vph	a b	378 V
	b c	378 V
	ca	380 V
Corrente	a	8,9 A
	b	5,6 A
	c	6,3 A
	n	3,3 A
Potência S	a	1,75 kVA
	b	1,04 kVA
	c	1,21 kVA
Potência Total S		3,98 kVA
Potência P	a	1,66 kW
	b	0,83 kW
	c	0,95 kW
Potência Total P		3,44 kW
Potência Q	a	0,49 kvar
	b	0,55 kvar
	c	0,75 kvar
Potência Total Q		1,78 kvar
Fator de Potência		0,95
Frequência		60,05 Hz
Energia Ativa	a	6,70 kWh
	b	11,71 kWh neg
	c	5,32 kWh
Energia Ativa Total		0,31 kWh
Energia Reativa	a	0,35 kvarh neg
	b	2,51 kvarh
	c	2,12 kvarh
Energia Reativa Total		4,29 kvarh

Tensão Vph-n	a	214 V
	b	213 V
	c	217 V
Tensão Vph-Vph	a b	370 V
	b c	372 V
	c a	375 V
Corrente	a	6,7 A
	b	2,7 A
	c	4,4 A
	n	5,1 A
Potência S	a	1,50 kVA
	b	0,57 kVA
	c	0,96 kVA
Potência Total S		3,15 kVA
Potência P	a	1,48 kW
	b	0,49 kW
	c	0,89 kW
Potência Total P		2,88 kW
Potência Q	a	0,46 kvar
	b	0,18 kvar
	c	0,19 kvar
Potência Total Q		0,48 kvar
Fator de Potência		0,90
Frequência		59,99 Hz
Energia Ativa	a	8,69 kWh
	b	11,12 kWh neg
	c	6,30 kWh
Energia Ativa Total		3,88 kWh
Energia Reativa	a	0,33 kvarh
	b	2,84 kvarh
	c	2,47 kvarh
Energia Reativa Total		5,64 kvarh

Tensão Vph-n	a	217 V
	b	216 V
	c	218 V
Tensão Vph-Vph	a b	375 V
	b c	375 V
	c a	379 V
Corrente	a	4,1 A
	b	2,2 A
	c	3,5 A
	n	2,6 A
Potência S	a	0,91 kVA
	b	0,46 kVA
	c	0,77 kVA
Potência Total S		2,13 kVA
Potência P	a	0,90 kW
	b	0,38 kW
	c	0,73 kW
Potência Total P		2,01 kW
Potência Q	a	0,03 kvar
	b	0,24 kvar
	c	0,09 kvar
Potência Total Q		0,30 kvar
Fator de Potência		0,94
Frequência		60 Hz
Energia Ativa	a	9,99 kWh
	b	10,77 kWh neg
	c	7,08 kWh
Energia Ativa Total		6,29 kWh
Energia Reativa	a	0,62 kvarh
	b	2,92 kvarh
	c	2,58 kvarh
Energia Reativa Total		6,12 kvarh

21h		
Tensão Vph-n	a	216 V
	b	213 V
	c	216 V
Tensão Vph-Vph	a b	371 V

22h		
Tensão Vph-n	a	214 V
	b	214 V
	c	218 V
Tensão Vph-Vph	a b	372 V

23h		
Tensão Vph-n	a	219 V
	b	216 V
	c	220 V
Tensão Vph-Vph	a b	376 V

	bc	372 V
	ca	376 V
Corrente	a	3,7 A
	b	0,9 A
	c	3,8 A
	n	2,2 A
Potência S	a	0,78 kVA
	b	0,19 kVA
	c	0,82 kVA
Potência Total S		1,81 kVA
Potência P	a	0,72 kW
	b	0,18 kW
	c	0,78 kW
Potência Total P		1,72 kW
Potência Q	a	0,16 kvar
	b	0,03 kvar
	c	0,17 kvar
Potência Total Q		0,03 kvar
Fator de Potência		0,95
Frequência		59,96 Hz
Energia Ativa	a	10,84 kWh
	b	10,52 kWh neg
	c	7,86 kWh
Energia Ativa Total		8,17 kWh
Energia Reativa	a	0,53 kvarh
	b	3,09 kvarh
	c	2,71 kvarh
Energia Reativa Total		6,32 kvarh

	bc	373 V
	ca	374 V
Corrente	a	5,8 A
	b	1,5 A
	c	2,0 A
	n	4,2 A
Potência S	a	1,23 kVA
	b	0,32 kVA
	c	0,43 kVA
Potência Total S		2,07 kVA
Potência P	a	1,25 kW
	b	0,29 kW
	c	0,40 kW
Potência Total P		1,96 kW
Potência Q	a	0,27 kvar
	b	0,09 kvar
	c	0,13 kvar
Potência Total Q		0,05 kvar neg
Fator de Potência		0,95
Frequência		60,02 Hz
Energia Ativa	a	12,04 kWh
	b	10,33 kWh neg
	c	8,36 kWh
Energia Ativa Total		10,06 kWh
Energia Reativa	a	0,35 kvarh
	b	3,15 kvarh
	c	2,84 kvarh
Energia Reativa Total		6,35 kvarh

	bc	377 V
	ca	381 V
Corrente	a	5,1 A
	b	1,5 A
	c	2,8 A
	n	3,0 A
Potência S	a	1,15 kVA
	b	0,33 kVA
	c	0,62 kVA
Potência Total S		2,02 kVA
Potência P	a	1,12 kW
	b	0,30 kW
	c	0,57 kW
Potência Total P		1,94 kW
Potência Q	a	0,06 kvar
	b	0,09 kvar
	c	0,20 kvar
Potência Total Q		0,19 kvar
Fator de Potência		0,96
Frequência		60 Hz
Energia Ativa	a	13,08 kWh
	b	10,09 kWh neg
	c	8,89 kWh
Energia Ativa Total		11,88 kWh
Energia Reativa	a	0,23 kvarh
	b	3,15 kvarh
	c	3,00 kvarh
Energia Reativa Total		6,37 kvarh

00h		
Tensão Vph-n	a	219 V
	b	217 V
	c	221 V
Tensão Vph-Vph	ab	378 V
	bc	379 V
	ca	382 V
Corrente	a	5,5 A
	b	1,1 A
	c	2,0 A

	n	4,3 A
Potência S	a	1,32 kVA
	b	0,25 kVA
	c	0,44 kVA
Potência Total S		1,88 kVA
Potência P	a	1,27 kW
	b	0,23 kW
	c	0,41 kW
Potência Total P		1,91 kW
Potência Q	a	0,07 kvar
	b	0,03 kvar
	c	0,13 kvar
Potência Total Q		0,10 kvar
Fator de Potência		0,96
Frequência		60 Hz
Energia Ativa	a	13,99 kWh
	b	9,80 kWh neg
	c	9,39 kWh
Energia Ativa Total		13,59 kWh
Energia Reativa	a	0,11 kvarh
	b	3,29 kvarh
	c	3,15 kvarh
Energia Reativa Total		6,55 kvarh

ANEXO B: CURVA DE IRRADIÂNCIA SOLAR

Tabela B.1: Curva de Irradiância medida com piranômetro

Data	10/6/15												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	1	4	18	83	146	187	232	318
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	1	4	17	74	131	168	210	286

Data	10/6/15

Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	358	421	477	535	628	628	637	695	700	756	750	651	682
Irradiância (W/m^2) - 2	320	386	433	479	562	570	632	672	676	714	706	613	644

Data	10/6/15												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	789	855	855	914	176	191	221	625	217	117	633	607	566
Irradiância (W/m^2) - 2	740	800	800	861	168	185	213	588	211	110	585	560	520

Data	10/6/15												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	516	471	428	396	335	121	65	51	34	30	32	22	5
Irradiância (W/m^2) - 2	473	428	387	355	297	111	62	49	33	30	31	22	5

Data	10/6/15												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	8	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	7	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	11/6/15												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	4	50	46	103	113	250	213
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	4	48	44	97	107	235	199

Data	11/6/15												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	136	133	218	480	670	707	690	460	777	804	803	830	378
Irradiância (W/m^2) - 2	129	126	206	449	616	641	672	432	753	760	751	781	355

Data	11/6/15												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	424	741	505	363	336	383	772	827	263	678	654	279	463
Irradiância (W/m^2) - 2	398	690	466	341	320	368	708	744	254	591	566	262	390

Data	11/6/15												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	524	498	402	350	305	249	190	134	91	42	34	9	2
Irradiância (W/m^2) - 2	438	413	321	269	224	175	78	75	46	33	32	9	2

Data	11/6/15												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	12/6/15												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	6	14	93	158	191	137	241
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	6	14	90	149	179	130	223

Data	12/6/15												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	343	444	522	552	621	430	589	595	701	487	427	511	414
Irradiância (W/m^2) - 2	312	410	473	528	577	404	557	558	657	454	400	477	390

Data	12/6/15												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	378	419	576	616	768	639	872	784	658	524	624	608	487
Irradiância (W/m^2) - 2	362	405	548	579	762	628	790	701	581	348	536	516	419

Data	12/6/15												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	226	228	197	398	357	328	88	177	114	38	32	13	4
Irradiância (W/m^2) - 2	201	200	189	337	278	251	75	114	63	38	30	13	3

Data	12/6/15												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Irradiância (W/m^2) - 2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	13/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	5	23	103	53	74	76	154
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	5	23	100	52	70	74	150

Data	13/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	215	306	631	329	240	670	690	717	735	739	744	756	769
Irradiância (W/m^2) - 2	206	293	598	317	229	625	650	677	708	691	690	711	713

Data	13/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	784	771	775	772	760	747	795	720	695	680	200	193	644
Irradiância (W/m^2) - 2	723	706	705	694	680	667	655	638	612	594	179	179	548

Data	13/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	560	467	414	353	299	242	191	144	100	61	30	15	5
Irradiância (W/m^2) - 2	472	381	328	267	215	165	44	77	46	36	27	14	5

Data	13/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	14/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	2	16	96	159	220	281	339
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	2	15	91	147	201	252	309

Data	14/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15

Irradiância (W/m^2) - 1	405	458	515	574	604	633	660	681	711	731	748	754	764
Irradiância (W/m^2) - 2	371	440	479	543	574	598	622	640	664	679	690	693	702

Data	14/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	765	772	803	843	538	646	271	237	246	736	143	653	158
Irradiância (W/m^2) - 2	701	703	725	760	476	589	257	225	227	646	133	560	151

Data	14/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	557	523	349	395	337	262	227	148	102	62	40	15	5
Irradiância (W/m^2) - 2	460	424	289	299	249	178	175	73	65	46	37	14	5

Data	14/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	15/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	2	13	96	155	221	287	355
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	2	13	92	149	206	262	328

Data	15/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	424	481	522	565	599	629	612	675	709	736	317	757	764
Irradiância (W/m^2) - 2	397	449	497	532	563	592	643	638	668	690	296	711	716

Data	15/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	789	766	744	734	748	149	662	659	113	726	731	250	646
Irradiância (W/m^2) - 2	728	707	688	673	673	140	608	591	107	642	641	237	552

Data	15/6/2015

Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	599	550	483	419	339	284	173	127	56	39	31	15	5
Irradiância (W/m^2) - 2	504	456	394	332	253	205	73	70	41	36	28	14	5

Data	15/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	16/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	2	13	96	155	221	287	355
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	2	13	92	149	206	262	328

Data	16/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	424	481	522	565	599	629	643	675	709	736	317	757	764
Irradiância (W/m^2) - 2	397	449	497	532	563	592	612	638	668	690	296	711	716

Data	16/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	789	766	744	734	748	149	662	659	113	726	731	250	646
Irradiância (W/m^2) - 2	728	707	688	673	673	140	608	591	107	642	641	237	552

Data	16/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	599	550	483	419	339	284	173	127	56	39	31	15	5
Irradiância (W/m^2) - 2	504	456	394	332	253	205	73	100	41	36	28	14	5

Data	16/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	17/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	2	3	13	97	132	223	268	339
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	2	3	11	88	131	211	247	312

Data	17/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	415	478	512	576	590	600	677	702	762	748	765	788	689
Irradiância (W/m^2) - 2	401	436	500	524	554	543	609	698	711	702	714	753	697

Data	17/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	789	778	799	763	745	754	759	801	811	765	739	601	543
Irradiância (W/m^2) - 2	764	691	754	675	663	667	678	792	802	678	699	557	479

Data	17/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	503	482	402	389	414	219	182	100	88	67	43	21	14
Irradiância (W/m^2) - 2	456	333	344	302	394	205	175	89	76	55	31	20	14

Data	17/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	18/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	2	10	85	142	200	267	338
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	2	11	83	138	190	249	312

Data	18/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	406	466	515	556	588	610	646	688	742	749	748	754	763
Irradiância (W/m^2) -	366	438	489	525	552	579	607	644	692	697	699	692	695

2													

Data	18/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	764	764	763	761	750	753	758	226	97	653	639	599	537
Irradiância (W/m^2) - 2	694	691	682	678	666	666	670	207	90	558	539	494	435

Data	18/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	497	463	404	359	119	264	82	95	79	50	36	18	12
Irradiância (W/m^2) - 2	397	364	311	269	99	173	75	89	74	47	35	17	12

Data	18/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	11	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	19/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	3	13	83	130	196	255	283
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	3	13	83	129	194	244	270

Data	19/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	315	411	474	509	578	636	661	685	705	725	745	754	767
Irradiância (W/m^2) - 2	299	388	456	485	552	594	632	642	662	676	691	699	705

Data	19/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	793	789	799	792	765	767	717	690	688	650	622	593	557
Irradiância (W/m^2) - 2	728	714	722	709	679	674	626	597	591	552	522	497	452

Data	19/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45

Irradiância (W/m^2) - 1	514	450	390	341	294	244	192	127	103	80	35	14	5
Irradiância (W/m^2) - 2	413	429	296	248	201	156	81	75	55	48	30	13	4

Data	19/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	20/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	3	11	84	162	238	251	384
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	3	11	81	152	222	245	354

Data	20/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	403	478	423	553	588	628	659	670	713	763	266	796	718
Irradiância (W/m^2) - 2	383	455	401	523	557	591	620	627	669	716	256	738	658

Data	20/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	957	883	258	209	793	774	275	693	627	639	628	596	118
Irradiância (W/m^2) - 2	877	797	241	196	702	683	247	596	535	541	525	490	103

Data	20/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	572	483	403	349	75	255	198	167	56	88	37	21	11
Irradiância (W/m^2) - 2	466	380	305	253	65	164	92	87	48	64	35	20	8

Data	20/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	21/6/2015

Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	1	4	11	32	147	234	244	300
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	1	4	11	32	146	231	238	280

Data	21/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	315	327	424	497	543	578	679	691	697	713	745	742	244
Irradiância (W/m^2) - 2	298	304	416	473	525	563	600	657	669	699	704	698	213

Data	21/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	425	738	750	698	801	786	730	733	721	657	611	602	567
Irradiância (W/m^2) - 2	413	707	717	645	723	722	653	678	605	545	510	500	505

Data	21/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	202	494	407	335	182	260	86	163	110	54	34	15	5
Irradiância (W/m^2) - 2	129	383	306	241	131	167	70	64	56	39	29	14	5

Data	21/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	22/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	1	8	65	142	210	256	319
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	1	8	63	142	202	249	306

Data	22/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	393	453	507	540	580	618	649	679	703	723	744	752	845
Irradiância (W/m^2) - 2	374	434	485	517	551	584	611	637	655	672	688	692	775

Data	22/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	663	679	757	745	608	721	715	739	623	384	501	611	198
Irradiância (W/m^2) - 2	640	657	730	721	598	704	702	724	611	379	494	601	196

Data	22/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	202	494	407	335	182	209	171	162	83	64	33	16	10
Irradiância (W/m^2) - 2	129	383	306	241	131	158	163	159	69	41	29	16	10

Data	22/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	23/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	1	3	8	26	134	200	236	288
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	1	3	8	26	134	200	231	280

Data	23/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	337	217	421	478	544	605	654	679	691	706	738	567	143
Irradiância (W/m^2) - 2	327	216	416	472	517	562	585	629	665	680	685	527	134

Data	23/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	203	728	202	192	798	754	733	712	679	647	613	604	562
Irradiância (W/m^2) - 2	189	667	195	181	707	664	641	616	580	545	511	501	457

Data	23/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	141	494	407	335	182	260	86	163	110	54	34	15	5

Irradiância (W/m^2) - 2	127	383	306	241	131	167	70	64	56	39	29	14	5

Data	23/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	24/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	2	11	83	138	194	256	319
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	2	10	81	138	193	249	306

Data	24/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	393	453	507	540	580	618	649	679	703	723	744	752	845
Irradiância (W/m^2) - 2	374	434	485	517	551	584	611	637	655	672	688	692	775

Data	24/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	865	363	238	807	820	856	441	762	720	774	686	138	556
Irradiância (W/m^2) - 2	792	338	225	722	726	749	404	656	612	663	577	128	446

Data	24/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	122	90	473	411	319	296	212	151	109	73	42	17	6
Irradiância (W/m^2) - 2	133	85	366	311	219	199	62	50	56	50	36	16	6

Data	24/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	25/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00

Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	4	13	46	159	169	354	292
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	4	12	42	139	154	322	274

Data	25/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	196	140	516	547	615	679	581	493	273	218	274	627	318
Irradiância (W/m^2) - 2	185	132	480	512	583	645	560	483	270	216	272	615	317

Data	25/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	419	336	294	511	739	367	310	580	283	818	276	616	508
Irradiância (W/m^2) - 2	417	334	293	504	730	365	310	574	282	817	272	611	503

Data	25/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	505	457	509	427	98	212	97	76	78	53	29	20	9
Irradiância (W/m^2) - 2	498	446	498	414	97	211	97	50	77	52	29	20	8

Data	25/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	26/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	1	7	20	43	58	69	92
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	1	6	20	43	57	69	92

Data	26/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	89	102	135	172	200	172	114	159	212	242	250	304	386
Irradiância (W/m^2) - 2	88	102	135	171	199	171	114	158	212	242	250	303	386

Data	26/6/2015

Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	458	548	557	852	434	349	428	609	657	627	593	559	519
Irradiância (W/m^2) - 2	455	543	552	837	430	346	423	602	651	625	592	558	517

Data	26/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	480	436	389	345	296	247	192	146	107	66	35	17	6
Irradiância (W/m^2) - 2	476	431	383	337	289	240	182	143	102	63	34	17	6

Data	26/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	27/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	1	2	15	93	160	224	286	345
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	1	2	15	81	143	204	263	318

Data	27/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	398	452	501	558	600	541	665	756	759	736	748	802	763
Irradiância (W/m^2) - 2	372	424	471	529	571	521	636	729	732	713	729	784	745

Data	27/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	737	764	773	762	746	759	749	730	706	679	640	632	623
Irradiância (W/m^2) - 2	715	745	754	744	731	744	735	718	694	685	634	626	619

Data	27/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	187	496	224	240	371	326	85	190	106	36	27	18	7
Irradiância (W/m^2) - 2	186	495	223	240	370	326	83	89	105	35	27	18	7

Data	27/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	28/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	2	13	83	134	158	165	215
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	2	12	87	124	149	164	202

Data	28/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	339	389	404	407	598	615	640	654	655	676	666	687	777
Irradiância (W/m^2) - 2	314	367	382	394	560	587	621	639	635	656	644	663	749

Data	28/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	663	679	757	745	608	721	715	739	623	384	501	611	198
Irradiância (W/m^2) - 2	640	657	730	721	598	704	702	724	611	379	494	601	196

Data	28/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	196	425	167	179	220	225	278	121	99	70	38	22	6
Irradiância (W/m^2) - 2	194	419	164	176	217	219	140	120	96	69	37	22	6

Data	28/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	29/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	1	9	71	121	173	223	277

Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	1	9	71	120	168	221	265

Data	29/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	328	384	456	538	587	596	632	679	695	699	722	750	790
Irradiância (W/m^2) - 2	317	378	455	532	567	587	620	678	679	695	700	745	782

Data	29/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	532	828	658	860	869	714	789	242	273	208	159	523	293
Irradiância (W/m^2) - 2	531	824	658	843	853	712	770	241	272	208	157	511	291

Data	29/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	295	142	124	121	129	190	128	75	76	53	35	17	3
Irradiância (W/m^2) - 2	294	141	123	120	127	181	126	72	75	53	35	17	3

Data	29/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	30/6/2015												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	3	51	102	162	211	250	309
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	3	47	94	149	195	232	283

Data	30/6/2015												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	371	413	486	560	610	675	682	701	722	736	751	765	774
Irradiância (W/m^2) - 2	342	387	464	529	577	650	658	698	696	708	722	734	742

Data	30/6/2015												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30

Irradiância (W/m^2) - 1	797	808	773	760	760	741	707	688	666	228	410	169	294
Irradiância (W/m^2) - 2	764	773	743	727	730	712	685	667	644	225	398	166	235

Data	30/6/2015												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	301	201	150	459	171	255	234	157	103	67	30	27	7
Irradiância (W/m^2) - 2	293	187	148	439	166	239	185	79	97	63	29	27	7

Data	30/6/2015												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	1/7/15												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	1	3	8	81	146	203	269	335
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	1	3	8	74	135	189	249	314

Data	1/7/15												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	391	448	495	533	570	609	642	667	686	707	720	733	747
Irradiância (W/m^2) - 2	374	422	467	507	541	578	613	642	665	684	699	715	714

Data	1/7/15												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	765	757	746	742	746	720	594	671	644	629	604	555	508
Irradiância (W/m^2) - 2	738	726	717	713	718	695	574	645	618	606	577	532	488

Data	1/7/15												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	470	431	393	361	308	279	228	170	113	70	38	20	8
Irradiância (W/m^2) - 2	451	408	372	339	286	257	80	66	95	55	36	19	8

Data	1/7/15

Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	2/7/15												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	1	9	19	47	202	236	308
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	1	9	19	44	188	220	283

Data	2/7/15												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	392	438	486	526	584	601	627	657	681	703	783	870	921
Irradiância (W/m^2) - 2	366	417	450	498	535	572	603	633	655	675	751	834	886

Data	2/7/15												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	821	890	193	236	410	785	766	719	335	704	172	575	578
Irradiância (W/m^2) - 2	789	854	188	231	396	747	729	685	326	670	167	542	549

Data	2/7/15												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	517	446	474	377	342	272	197	125	119	57	68	41	14
Irradiância (W/m^2) - 2	491	420	449	353	319	248	81	81	107	56	65	40	13

Data	2/7/15												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	3/7/15												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	2	10	34	39	169	189	295
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	2	10	33	37	157	179	279

Data	3/7/15												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	362	429	499	408	582	602	645	669	665	686	699	712	727
Irradiância (W/m^2) - 2	338	405	480	387	553	573	617	643	644	662	677	688	695

Data	3/7/15												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	735	729	728	744	743	733	749	294	741	709	644	585	585
Irradiância (W/m^2) - 2	702	700	694	707	704	696	711	283	704	674	604	550	551

Data	3/7/15												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	99	485	122	421	90	279	199	146	102	72	42	18	7
Irradiância (W/m^2) - 2	98	450	119	390	90	246	60	55	78	55	40	18	7

Data	3/7/15												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	4/7/15												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	1	78	92	102	134	201	214
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	1	75	81	92	121	193	202

Data	4/7/15												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	338	379	404	456	500	587	638	646	673	90	253	819	763
Irradiância (W/m^2) - 2	298	313	388	423	495	534	610	635	642	87	228	783	729

Data	4/7/15												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	752	755	747	732	741	675	691	697	659	637	574	584	519

Irradiância (W/m^2) - 2	720	722	708	691	697	637	653	663	621	598	534	547	489

Data	4/7/15												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	368	448	443	103	87	87	224	67	86	57	44	27	14
Irradiância (W/m^2) - 2	344	412	409	103	84	83	186	55	81	54	43	26	13

Data	4/7/15												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	5/7/15												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	0	2	5	34	104	179	239	292
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	0	2	5	39	99	173	230	282

Data	5/7/15												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	341	395	444	490	533	570	604	634	659	682	708	719	728
Irradiância (W/m^2) - 2	328	380	428	469	507	544	576	607	631	651	674	685	692

Data	5/7/15												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	730	735	731	733	752	716	701	675	650	625	590	552	523
Irradiância (W/m^2) - 2	690	695	685	685	701	665	650	625	598	573	539	502	472

Data	5/7/15												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	479	438	321	216	332	137	283	80	46	52	86	70	17
Irradiância (W/m^2) - 2	431	398	285	190	287	122	243	67	44	49	76	68	16

Data	5/7/15												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00

Irradiância (W/m^2) - 1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Data	6/7/15												
Hora	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00
Irradiância (W/m^2) - 1	0	0	0	0	0	1	10	20	28	50	58	71	120
Irradiância (W/m^2) - 2	0	0	0	0	0	1	10	14	27	49	58	70	118

Data	6/7/15												
Hora	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15	9:30	9:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15
Irradiância (W/m^2) - 1	147	312	188	293	505	635	647	357	890	684	669	403	758
Irradiância (W/m^2) - 2	144	305	187	286	485	608	619	345	854	653	637	391	723

Data	6/7/15												
Hora	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30
Irradiância (W/m^2) - 1	646	587	307	408	442	731	701	660	637	461	606	521	431
Irradiância (W/m^2) - 2	616	557	292	387	417	681	649	604	580	422	552	472	441

Data	6/7/15												
Hora	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Irradiância (W/m^2) - 1	451	233	335	285	222	190	210	60	89	70	52	44	20
Irradiância (W/m^2) - 2	398	212	304	247	195	165	117	58	80	70	50	42	17

Data	6/7/15												
Hora	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Irradiância (W/m^2) - 1	10	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irradiância (W/m^2) - 2	9	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO C: EQUIPAMENTOS DO SFCR E DE MEDIÇÃO

Figura C.1: Inversor Fotovoltaico 4,2 kWp

Figura C.2: *String Box* do SFCR de 4kWp instalado

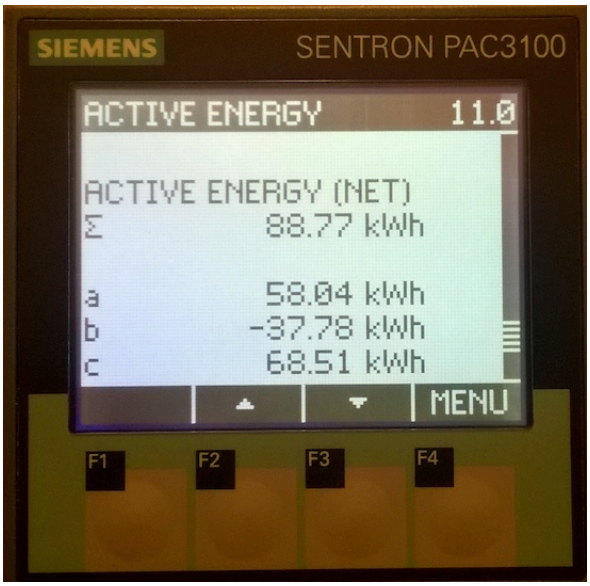


Figura C.3: Multimedidor

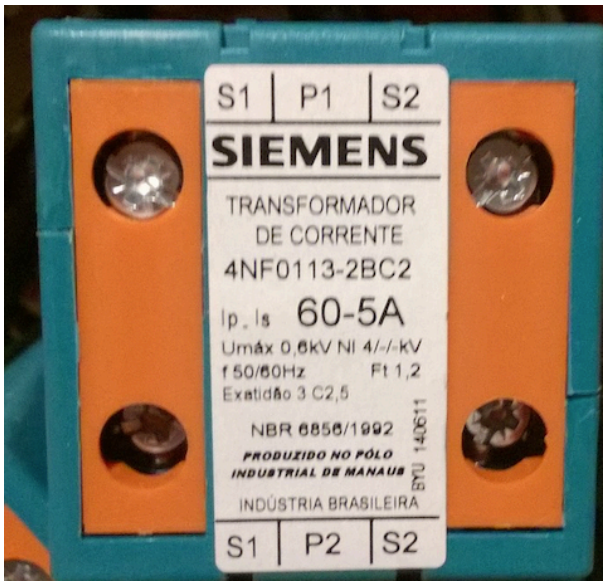


Figura C.4: Transformador de Corrente

Figura C.5: *Datalogger*

Figura C.6: Piranômetro

Figura C.7: Instalação dos módulos fotovoltaicos