



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Energias Alternativas e Renováveis
Departamento de Engenharia Elétrica

Milton Ribeiro da Costa Neto

**DIMENSIONAMENTO E SUPERVISÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE**

João Pessoa – PB
Novembro 2018

MILTON RIBEIRO DA COSTA NETO

**DIMENSIONAMENTO E SUPERVISÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTÁICOS CONECTADOS À REDE**

**Relatório de Estágio Integrado apresentado à
coordenação do curso de Engenharia Elétrica
como um dos pré-requisitos para a obtenção
do título de Engenheiro Eletricista.**

**João Pessoa – PB
Novembro 2018**

Milton Ribeiro da Costa Neto

**Dimensionamento E Supervisão De Sistemas Fotovoltaicos
Conectados à Rede**

Relatório de Estágio Integrado Submetido à Coordenação do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Data de Aprovação: ____/____/____

Nota: _____

Aprovado por:

Prof. Dr. Rogério Gaspar de Almeida (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba

Eng. Rafael Cavalcanti Camelo (Avaliador)
SmartSun Energia Inteligente

Prof. Dr. Alexandre Cezar de Castro (Avaliador)
Universidade Federal da Paraíba

João Pessoa – PB
Novembro 2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado saúde, sabedoria e força durante toda minha vida.

Agradeço a toda minha família, em especial meus pais (Paulo Germano e Solange Araújo) e minha irmã Ana Paula por todo apoio e incentivo ao longo de todos esses anos.

Agradeço a minha namorada Geday, por sempre me incentivar em todos os momentos, e por estar sempre do meu lado.

Agradeço ao professor Rogério pela disposição e orientação, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus companheiros de trabalho Alanna Feijó e Diogo Campos por tornar o ambiente de trabalho mais descontraído e por sempre me incentivar a alcançar meus objetivos.

Por fim, agradeço a empresa SmartSun nas pessoas de Bayron Silveira e Rafael Cavalcanti por ter me dado esta oportunidade e ter me acolhido tão bem durante o estágio.

IDENTIFICAÇÃO

EMPRESA:

Nome: Silveira & Camelo Projeto, Instalação, Engenharia Solar LTDA-ME

Endereço: Rua Geraldo Costa 320, Sala 101

Bairro: Manaíra

Cidade: João Pessoa

Estado: Paraíba

ESTÁGIO:

Área da Instituição: Energias Renováveis e Instalações Elétricas

Data de Início: 31/07/2018

Data de Término: 09/11/2018

Carga Horária Semanal: 20 horas

Carga Horária Total: 280 horas

Supervisor de Estágio: Eng. Rafael Cavalcanti Camelo

RESUMO

Este relatório de estágio tem como principal objetivo a descrição das atividades realizadas pelo estagiário na empresa SMARTSUN ENERGIA INTELIGENTE. As atividades realizadas na empresa são direcionadas a energias renováveis, mais precisamente, a elaboração e execução de projetos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR). Serão mostrados neste documento os passos para a elaboração de um projeto de um SFCR, começando pela inspeção do local, dimensionamento dos arranjos fotovoltaicos, *softwares* utilizados, instalação do sistema e o seu monitoramento após a instalação.

Palavras-Chaves: Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos, Arranjo Fotovoltaico, Arranjo, Rede Elétrica, Instalação de Sistemas Fotovoltaicos.

ABSTRACT

This report has as main objective the description of the activities carried out by the intern at SMARTSUN ENERGIA INTELIGENTE. The activities carried out in the company are directed to renewable energies, more precisely, to the elaboration and execution of grid-connected photovoltaic systems (GCPVS). This document will show the steps for the preparation of a GCPVS project, the local inspection project, design of photovoltaic arrangements, software used, the installation of the system and the post-installation activities.

Keywords: Sizing of Photovoltaic Systems, Photovoltaic Arrangement, Arrangement, Electrical Network, Installation of Photovoltaic Systems.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Ampére
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e eólica Sérgio de S. Brito
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surto
GW	GigaWatt
kW	QuiloWatt
kWh	QuiloWatt-hora
kW_p	QuiloWatt-pico
MPPT	Rastreador do Ponto de Máxima Potência
MWh	MegaWatt-hora
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede
V	Volt

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Logo da empresa.....	13
Figura 2-Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	16
Figura 3-Gráfico V- I para um módulo fotovoltaico	17
Figura 4-Inversor Solar.....	18
Figura 5-SFCR com dois arranjos fotovoltaicos	19
Figura 6-Interface inicial do programa <i>PVSyst</i> ® para dimensionamento de um SFCR ...	21
Figura 7-Janela de configuração para um SFCR	22
Figura 8-Vista Aérea de um telhado capturado pelo drone da empresa.....	24
Figura 9-Vista aérea do SFCR da <i>Via Campo Rações e Medicamentos Veterinários</i>	25
Figura 10- Parâmetros do inversor Fronius Eco-25.0-3-S.....	26
Figura 11-Janela para inserção da localização do SFCR.....	27
Figura 12-Janela para inserção de dados de irradiação do local do SFCR.....	28
Figura 13-Simulação para Arranjo Fotovoltaico voltado para o Leste	29
Figura 14-Detalhamento do SFCR pelo <i>software PVSyst</i> ®	30
Figura 15-Diagrama de Perdas do SFCR	30
Figura 16-Planta de Localização	31
Figura 17-Diagrama Unifilar	32
Figura 18-Diagrama Multifilar	33
Figura 19-Planta de Arranjo Fotovoltaico	34
Figura 20-Esquema de Fixação de painéis fotovoltaicos	34
Figura 21-Processo de fixação dos trilhos e painéis no telhado da <i>Via Campo Rações e Medicamentos Veterinários</i>	35
Figura 22-Esquema de montagem dos grampos nos trilhos	35
Figura 23-String box CC - Inversor- String box CA.....	36
Figura 24-String box CC-CA	37
Figura 25-Placa de Advertência	38
Figura 26- Interação entre SFCR e o usuário	39
Figura 27-Gráfico de geração diária de um SFCR	40
Figura 28-Gráfico de geração mensal de um SFCR.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Parâmetros do Módulo Canadian CS6U-330P.....	26
Tabela 2-Ajustes para parametrização do inversor.....	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 A Empresa	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Organização do Trabalho	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.....	16
2.1.1 Módulos Fotovoltaicos	17
2.1.2 Inversor Solar	18
2.2 Dimensionamento de um SFCR	19
2.3 PVSyst®	20
3 ATIVIDADES REALIZADAS	23
3.1 Elaboração de Projetos de SFCR	23
3.1.1 Visita Técnica.....	23
3.1.2 Simulação do SFCR	24
3.1.3 Requisitos da Concessionária de Energia Elétrica	31
3.1.3.1 Planta de Localização.....	31
3.1.3.2 Diagrama Unifilar	31
3.1.3.3 Arranjo Fotovoltaico	33
3.2 Supervisão das Instalações	34
3.3 Monitoramento	39
4 CONCLUSÕES.....	42
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

O estágio curricular supervisionado é um componente curricular norteado pelos princípios da integração teoria-prática e da indissociabilidade ensino-pesquisa-extensão, realizado pelo aluno na própria Instituição, ou em unidades concedentes de estágios, sob a forma de vivência profissional sistemática, intencional, acompanhada e constituída na interface dos projetos políticos pedagógicos – PPP dos cursos de graduação, ou de educação profissional técnico de nível médio, propiciando a complementação do ensino-aprendizagem no campo profissional[1].

O estágio supervisionado torna-se uma ponte entre os conhecimentos teóricos adquiridos durante a graduação e suas aplicações na prática, além de propiciar ao estagiário, o mínimo de experiência necessária para o ingresso no mercado de trabalho e para uma boa formação profissional.

Durante o estágio supervisionado, o estagiário tem a oportunidade de vivenciar na prática, o ofício da engenharia em uma empresa real e por meio desta experiência pode adquirir habilidades e competências essenciais para uma eventual contratação como engenheiro.

Neste relatório serão expostas as atividades do estagiário ao longo do período de estágio supervisionado na empresa SmartSun.

1.1 A Empresa

A SmartSun Energia Inteligente, é uma empresa paraibana, que tem o propósito de inovar o mercado brasileiro com soluções ambientalmente sustentáveis e igualmente acessíveis aos seus clientes [2].

Fundada em 2016, fruto da sociedade entre Bayron Silveira e Rafael Cavalcanti, dois jovens engenheiros eletricitas egressos da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), a SmartSun tem como principal atividade a realização e execução de projetos de energias renováveis sobretudo, projetos de sistemas fotovoltaicos conectados a rede, além disso, a empresa também atua no ramo de projetos elétricos, consultorias na área de eficiência energética e promoção de cursos, palestras e workshops na área de energia fotovoltaica [2].

A Smartsun tem atuação em todo Brasil, e possui dois escritórios físicos, sendo o escritório sede localizado em João Pessoa, e uma filial na cidade de São Bento no interior da Paraíba. A empresa já realizou e/ou executou projetos de usinas solares em residências e prédios comerciais nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte, Alagoas e Pernambuco.

A seguir, a figura ilustra a logomarca utilizada pela empresa:

Figura 1-Logo da empresa



Fonte: Do Autor

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal descrever as atividades desenvolvidas pelo estagiário na empresa durante o período de estágio supervisionado.

1.2.2 Objetivos Específicos

Neste relatório pretende-se descrever especificamente:

- Visita técnica prévia ao local da instalação;
- Dimensionamento e elaboração de projetos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede;
- Supervisão e execução das instalações;
- Vistoria do sistema realizada em conjunto com as concessionárias de energia elétrica;
- Monitoramento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede após instalações.

1.3 Organização do Trabalho

A organização deste relatório está feita da seguinte forma:

- No Capítulo 2 (FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA), será feito um breve resumo da fundamentação teórica onde a atividade está inserida, descrevendo os sistemas fotovoltaicos conectados à rede bem como os componentes necessários para o seu funcionamento;
- Capítulo 3 (ATIVIDADES REALIZADAS) - neste item serão descritas todas as atividades referentes ao dimensionamento e supervisão dos sistemas fotovoltaicos realizadas pelo estagiário durante o período de estágio na empresa SmartSun Energia Inteligente;
- No Capítulo 4 (CONCLUSÕES) - serão abordadas as últimas considerações, e conclusões feitas pelo estagiário a respeito do estágio supervisionado;
- No Capítulo 5 (REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS): aqui serão citadas todas as fontes necessárias para a produção deste documento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Devido à preocupação com o aquecimento global causado pela inserção de gases de efeito estufa na atmosfera, muito se tem pesquisado e investido a fim de se obter novas fontes de energias renováveis e não poluentes para geração de energia elétrica. Dentre as fontes renováveis mais utilizadas, a fotovoltaica tem sido muito difundida e estudada no mundo todo por ser a forma mais direta de se obter energia.

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas em um eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz [3]. A partir daí os avanços tecnológicos não pararam de acontecer e permitiram uma melhor eficiência das placas solares permitindo assim, o seu uso para uma geração de energia limpa.

No Brasil, a energia fotovoltaica vem crescendo fortemente, a capacidade instalada em energia solar no país deve fechar o ano de 2018 perto de 2,5GW, um salto de cerca de 115% ante a marca de 1,15 GW no final do ano de 2017 [4].

A agência que regula a energia elétrica no Brasil (ANEEL) tem estimulado o uso da energia solar através de programas de incentivo voltados para os sistemas distribuídos, que visam o uso de sistemas de geração de pequeno porte, geralmente a partir de fontes renováveis conectados à rede, o surgimento de tais programas, fez com o que os índices de geração de energia fotovoltaica distribuída no país crescessem mais ainda.

Um destes incentivos da ANEEL foi criado desde abril de 2012 (Resolução Normativa nº 482/2012), que é o *Sistema de Compensação de Energia Elétrica*, este permite que o consumidor não só gere sua própria energia a partir de fontes renováveis, como também possa fornecer excedentes de energia à rede elétrica. Neste caso o consumidor acumula créditos para descontar em sua conta de energia em períodos em que sua geração for menor que o seu consumo. É importante destacar que no Brasil, ainda não se pode vender a energia gerada por estes tipos de sistemas e o no momento, só é válido o sistema de créditos [5].

2.1 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica

Esse sistema é caracterizado por fazer um balanço do fluxo de energia da seguinte maneira:

Em alguns momentos do dia, quando a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é suficiente para suprir a demanda de energia das cargas, a energia excedente gerada pelo arranjo fotovoltaico é injetada na rede elétrica da concessionária de energia. Em outros momentos, especialmente durante a noite, quando o sistema gerador não consegue suprir a demanda de energia das cargas, a rede elétrica da concessionária de energia é quem passa a fornecer a energia para a alimentação das mesmas.

Os SFCR são compostos basicamente pelos módulos solares e inversores de frequência operando em conjunto e ligados à rede elétrica. A energia elétrica é medida através de um medidor de energia bidirecional instalado geralmente na entrada do estabelecimento ou residência, nele, é medida tanto a energia fornecida à rede pelo SFCR quanto à energia fornecida pela concessionária de energia durante a ausência de energia vinda do sistema fotovoltaico.

A figura 6 ilustra um típico SFCR:

Figura 2-Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede



Fonte: [6]

Para níveis baixos de geração de energia elétrica, as fontes podem produzir energia das seguintes formas:

- Isolada – Usada mais para atender cargas que não tem rede elétrica em suas proximidades, sendo assim, é necessário o uso de baterias para fazer o

armazenamento da energia que será utilizada em períodos que não se tenha geração de energia. Esse tipo de sistema é também conhecido como *Off Grid*.

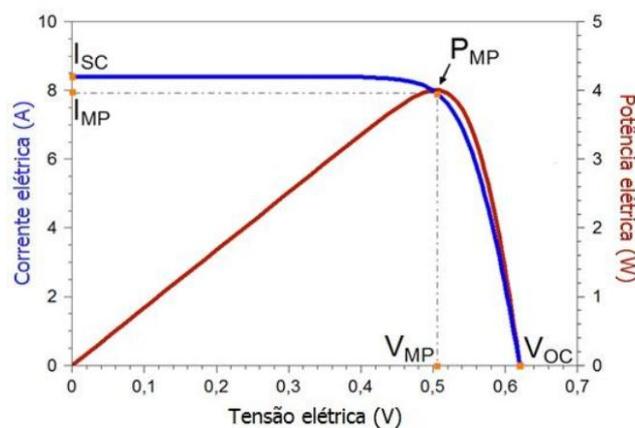
- Distribuída – A fonte é conectada a carga e a rede elétrica. Assim quando a geração for maior que a demanda da carga, energia é injetada na rede. Por outro lado, se a geração não for maior que a potência necessitada pela carga, a rede elétrica irá fornecer a energia faltante para alimentar a demanda elétrica. Esse sistema é conhecido também como Sistema *On Grid*.

2.1.1 Módulos Fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos ou também conhecidos como módulos fotovoltaicos são construídos com células fotovoltaicas, as quais são essencialmente materiais semicondutores que são dopados e assim formam junções *pn*, equivalentes a diodos semicondutores de Silício. A incidência de fótons (energia luminosa) nesta junção causa o aparecimento de cargas elétricas sob a forma de pares elétron-lacuna e, conseqüentemente, de uma corrente elétrica [7].

Devido aos módulos solares variarem a potência fornecida de acordo com as condições externas como a irradiação solar, a potência destes é medida através da unidade Watt-pico (W_p). A figura 3 mostra o comportamento de um módulo fotovoltaico:

Figura 3-Gráfico V- I para um módulo fotovoltaico



Fonte: [8]

No gráfico da Figura 3, nota-se que o mesmo não se comporta como uma fonte elétrica convencional, uma vez que não apresenta tensão de saída constante, pois esta depende da

corrente de saída e vice-versa. Este módulo somente opera com valores de tensão e corrente que estejam de acordo com as curvas $I - V$ (em azul) e $P - V$ (em vermelho). Seu ponto de operação depende da carga conectada aos terminais. Se a carga consome muita corrente, a tensão tende a cair, se a corrente diminui, a tensão tende à tensão de circuito aberto (V_{oc}) conforme a curva $I - V$, em azul. Nota-se na curva $P - V$, um ponto P_{mp} , este é o ponto de potência máxima do módulo ou sistema, e é neste ponto que devemos operá-lo obter um máximo rendimento [8].

Além do parâmetro de máxima potência, outros parâmetros são importantes para a escolha dos módulos fotovoltaicos, tais parâmetros incluem a eficiência do módulo (η), Tensão de aberto (V_{oc}) e Corrente de Curto (I_{sc}).

Os parâmetros dos módulos são definidos para uma radiação de 1000 W/m^2 (valor médio de superfície terrestre em dia claro, ao meio dia), e temperatura de 25°C (a eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura), padronização denominada STC (Standard Test Conditions) que torna possível a comparação entre módulos de diversos fabricantes [8].

2.1.2 Inversor Solar

Os inversores solares são os responsáveis por transformar a corrente contínua (CC) vinda dos painéis fotovoltaicos para corrente (CA) presente na rede elétrica da distribuidora de energia. Além da função de transformação do tipo de energia, os inversores também monitoram a qualidade da energia gerada pelo SFCR através de um sistema de controle modificando parâmetros elétricos, os quais garantem a segurança e integridade do sistema. A Figura 4 ilustra um modelo de inversor de frequência do fabricante *Fronius*® utilizado para um SFCR.

Figura 4-Inversor Solar



Fonte: [9]

Nos inversores também estão presentes os rastreador da máxima potência (MPPT), onde este por meio de um sistema de controle, estes buscam otimizar a geração de energia tentando encontrar o ponto de máxima potência do sistema. Normalmente, os inversores solares possuem 1 (um) ou 2 (dois) MPPT's, de acordo com o fabricante ou modelo.

Quando se utiliza painéis solares divididos em duas direções opostas é ideal que se utilize um inversor com pelo menos 2 MPPT's. A vantagem deste tipo de inversor é que um arranjo não prejudicará o outro, assim, quando um lado estiver sob alta irradiação, o ponto de máxima potência será encontrado para este lado sem prejudicar o lado oposto que estará sob baixa irradiação. A Figura 5 mostra a vista aérea de um telhado onde foi instalado um arranjo duplo em direções opostas (Leste-Oeste), para esse sistema, foi utilizado um inversor com 2 MPPT da marca *ABB*®, instalação desse sistema foi feita pela empresa SMARTSUN.

Figura 5-SFCR com dois arranjos fotovoltaicos



Fonte: Do Autor

2.2 Dimensionamento de um SFCR

A primeira etapa para o dimensionamento de um SFCR é saber quanto de energia o cliente deseja gerar e qual o local da instalação do sistema. Em geral, o cliente deseja que a geração fotovoltaica seja suficiente para abater por completo o valor da sua conta de energia e assim, o sistema deve ser capaz de suprir a demanda de energia do local. É importante frisar que por mais que o sistema gere por completo a energia demandada na unidade, o cliente ainda pagará uma taxa, responsável pelos custos de disponibilidade, à concessionária de energia elétrica que varia de acordo ao tipo de ligação entre a unidade consumidora e a rede.

De posse da quantidade de energia a ser gerada e dos dados de irradiação do local a ser instalado o sistema, pode-se calcular a potência-pico do sistema fotovoltaico através da Equação 1:

$$P_{FV} = \frac{\left(\frac{E_c}{TD}\right)}{HSP_{MA}} \quad (1)$$

Tal que:

- P_{FV} é a Potência pico do arranjo fotovoltaico;
- E_c é Geração desejada (kWh/dia);
- TD é o Fator de performance;
- HSP_{MA} é a radiação solar no plano de instalação dos painéis (kWh/m²/ano)

O fator de performance citado na literatura gira em torno de 0,7 e 0,8 e está associado às perdas por sombreamento, temperatura, sujeira nas placas, cabeamentos, inversor entre outros [8].

A partir da Potência do arranjo fotovoltaico pode-se dimensionar o inversor de frequência compatível com o arranjo e os cabos CC e CA a serem utilizados.

2.3 PVSyst®

O *software PVSyst®* é um dos mais completos do mercado para dimensionamento de SFCR, através dele, é possível dimensionar os módulos fotovoltaicos, inversores de frequência, calcular perdas e até desenhar uma planta 3D do sistema à ser instalado. Tal programa é uma ferramenta poderosa para projetos de engenharia de energias renováveis e sendo for utilizada corretamente auxilia bastante o engenheiro enquanto ao dimensionamento de um SFCR. O programa conta com uma vasta biblioteca na qual conta com um amplo catálogo com diversos fabricantes de módulos fotovoltaicos e inversores de frequência, o *software* não é gratuito, sendo comercializado pela *PVSyst SA*, com direitos tutorais pertencentes à Universidade de Genebra [10].

O *PVSyst*® fornece relatórios detalhados de um projeto, onde são disponibilizados ao usuário o dimensionamento de um SFCR, estudos do sombreamento nos módulos, estimativa de perdas, análise econômica, eficiência de configuração do sistema entre outros resultados. Na interface principal do *software*, é descrito os tipos de projetos que podem ser realizados, conforme é mostrado na Figura 6.

Figura 6-Interface inicial do programa *PVSyst*® para dimensionamento de um SFCR



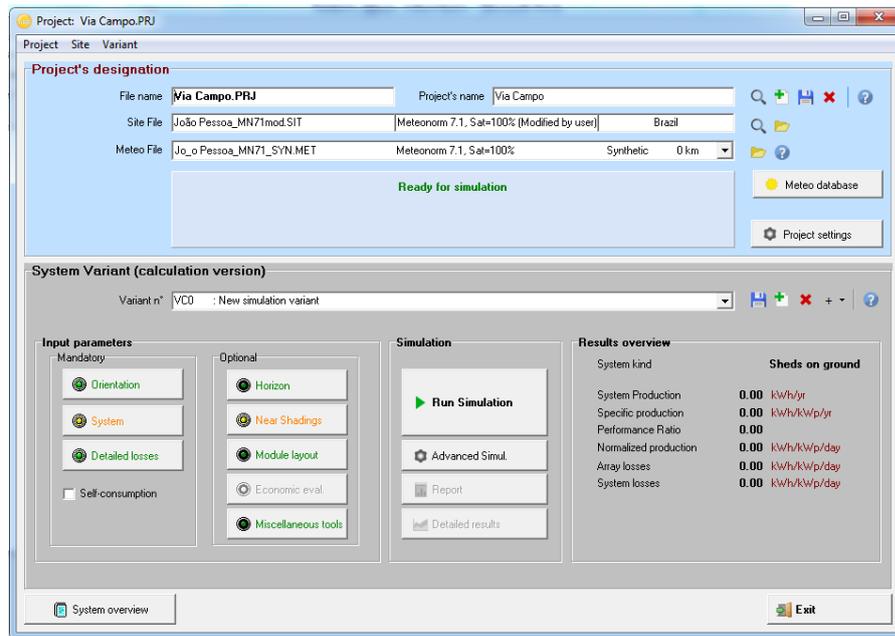
Fonte: Do Autor

Para se inicializar o projeto de um SFCR deve ser selecionada a opção *Project design* e em seguida *Grid-Connected*, pois se trata de um sistema conectado à rede.

Em seguida, é mostrada uma janela onde devem ser inseridos os parâmetros referentes à localização, orientação dos módulos, ângulo de inclinação e azimute, fator de perdas entre outros parâmetros do sistema a ser projetado.

A utilização do programa é de extrema importância, pois através dele pode se comparar os resultados analíticos obtidos através da Equação (1) e os resultados obtidos por simulação. Quando usado corretamente, o software apresenta resultados bastante satisfatório e bem próximo da realidade principalmente no que se refere às perdas associadas ao sistema. A janela apresentada no programa para a configuração do SFCR é mostrada pela Figura 7.

Figura 7-Janela de configuração para um SFCR



Fonte: Do Autor

3 ATIVIDADES REALIZADAS

Neste capítulo, serão descritas as atividades de estágio realizadas pelo estagiário na SMARTSUN ENERGIA INTELIGENTE. Além de ser responsável pela elaboração de projetos de SFCR, o estagiário também pôde, durante o período de estágio na empresa, acompanhar a instalação dos sistemas, realizar vistorias técnicas com a concessionária de energia (ENERGISA), além de acompanhar o monitoramento do sistema após a instalação no local.

3.1 Elaboração de Projetos de SFCR

Durante o estágio supervisionado, o estagiário elaborou mais de 10 projetos de SFCR, e acompanhou dois projetos desde a parte inicial até a finalização onde é trocado o medidor de energia no ramal de entrada do local e o cliente passa a participar do sistema de compensação de energia elétrica.

A elaboração de projetos de sistemas fotovoltaicos pela a empresa apresenta várias etapas, sendo elas: Visita técnica pré-projeto, modelo 3D da planta do local para eventuais sombreamentos do local, simulação em *software*, planta de localização, diagrama multifilar e unifilar do sistema, elaboração de memorial descritivo, conexões das *strings* (Arranjo de placas em série) dos painéis fotovoltaicos, entres outras etapas que poderiam ajudar na elaboração a depender do sistema a ser instalado.

Para a aprovação dos projetos fotovoltaicos por parte da concessionária de energia deve ser obedecida uma série de normas e exigências que se referem às etapas como os diagramas multifilar, unifilar, padrão de entrada, planta de localização e memorial descritivo. As etapas como simulação em *software*, conexões de *strings* e modelo 3D, não são exigidas pela concessionária de energia, mas são de extrema importância visando a otimização dos processos internos, e a prestação de um serviço de qualidade para os clientes.

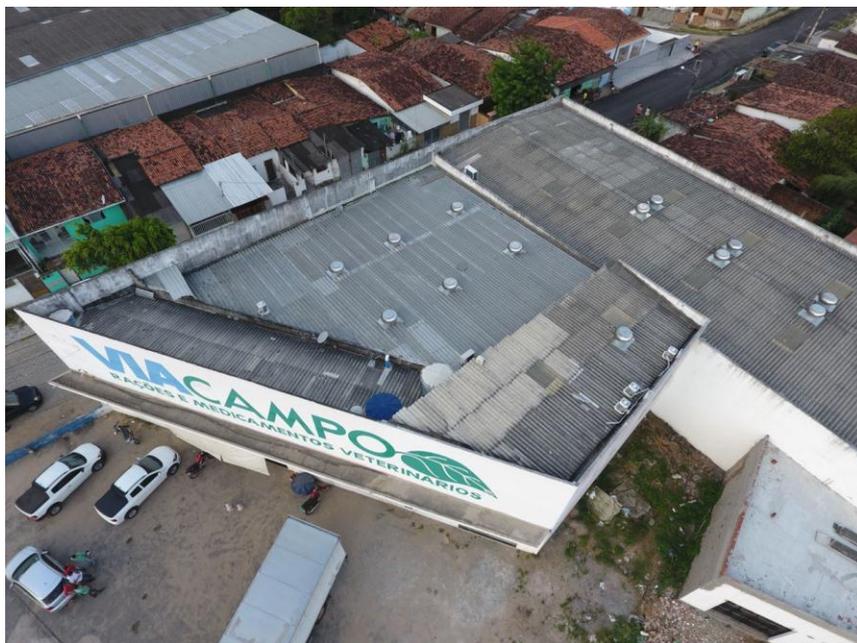
3.1.1 Visita Técnica

Durante a visita técnica pré-projeto, uma equipe da empresa, geralmente composta pelo estagiário e um engenheiro, vai até o local para a vistoria de alguns pontos importantes para a realização do projeto de um SFCR, sendo eles:

- Condição, tipo de material, inclinação e orientação do telhado onde serão instalados os módulos fotovoltaicos;
- Padrão de entrada e quadros de distribuição do local;
- Local para fixação do inversor de frequência;
- Inspeção do local buscando um eventual sombreamento durante o dia.

Em locais onde o acesso ao telhado não era seguro, a empresa disponibilizou um drone para que fosse feitas imagens aéreas do telhado e/ou outros detalhes. A Figura 8 mostra a imagem aérea de um telhado de um cliente realizada pelo drone da empresa.

Figura 8-Vista Aérea de um telhado capturado pelo drone da empresa



Fonte: Do Autor

3.1.2 Simulação do SFCR

Durante o período de estágio, foram realizadas várias simulações de SFCR, cada um com suas características, onde o intuito era conhecer a potência real que seria entregue ao cliente. Foi escolhido um desses projetos para ser mostrado mais detalhadamente neste relatório. A escolha deste projeto se deu pelo tamanho do sistema e pela oportunidade de acompanhamento do

projeto pelo estagiário do começo ao fim da instalação no local. A figura 9 mostra uma vista aérea do telhado antes e depois da instalação do SFCR.

Figura 9-Vista aérea do SFCR da *Via Campo Rações e Medicamentos Veterinários*



Fonte: Do Autor

O cliente desejava que o sistema gerasse uma energia anual média capaz de suprir o consumo de energia médio anual não só do local onde seria instalado o sistema, mas como também de outras unidades pertencentes a ele, mas em outros locais.

Através da quantidade de energia que o sistema devia ser capaz de gerar, o índice de irradiação do local onde seria instalado o SFCR obtido pelo site CRESEB, e as condições financeiras do cliente, foram escolhidos os módulos fotovoltaicos e o inversor. Os parâmetros dos módulos fotovoltaicos utilizados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1-Parâmetros do Módulo Canadian CS6U-330P

PARÂMETROS DO MÓDULO CANADIAN CS6U-330P	
Tensão de circuito aberto (V_{roc})	45,6 V
Corrente de curto circuito (I_{rsc})	9,45 A
Tensão no ponto de máxima potência (V_{rpm})	37,2 V
Corrente no ponto de máxima potência (I_{rpm})	8,88 (amperes)
Potência máxima (P_{rmax})	330W
Temperatura padrão de operação (T_r)	25°C
Irradiação padrão de operação (G_r)	1000 W/m ²
Número de módulos utilizados	63
Faixa de Temperatura de Operação	-40°C~ +80°C
Número de strings	3
Número de módulos em cada string	21

Fonte: Do Autor

A seguir, a figura mostra os parâmetros do inversor escolhido para o projeto em questão:

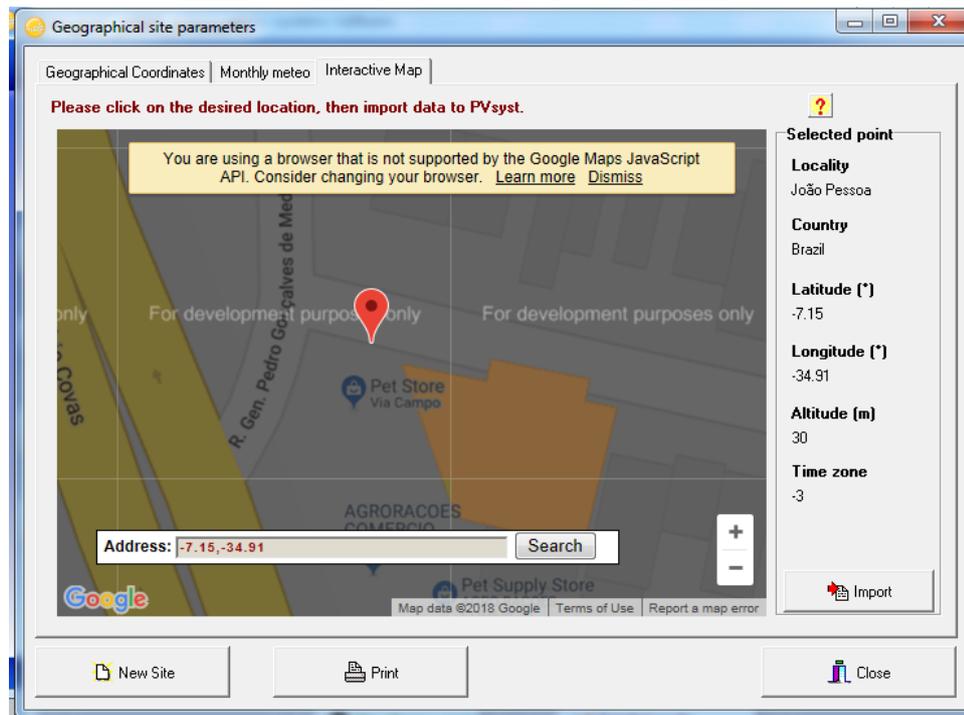
Figura 10- Parâmetros do inversor Fronius Eco-25.0-3-S

DADOS TÉCNICOS FRONIUS ECO	
DADOS DE ENTRADA	
	FRONIUS ECO 25.0-3-S
Max. corrente de entrada ($I_{dc\ max}$)	44.2 A
Max. conjunto corrente curto-circuito	66.3 A
Min. tensão de entrada ($U_{dc\ min}$)	580 V
Feed-in tensão de entrada ($U_{dc\ start}$)	650 V
Tensão nominal de entrada ($U_{dc,r}$)	580 V
Max. tensão de entrada ($U_{dc\ max}$)	1,000 V
Faixa de tensão MPP ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)	580 - 850 V
Numero de rastreadores MPP	11
Numero de conexões CC	6
DADOS DE SAÍDA	
	FRONIUS ECO 25.0-3-S
Tensão nominal de saída ($P_{ac,r}$)	25,000 W
Max.potência de saída	25,000 VA
Max. corrente de saída ($I_{ac\ nom}$)	36.1 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	3-NPE 380 V / 220 V or 3-NPE 400 V / 230 V (+20% / - 30%)
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)
Distorção harmônica total	≤ 2.0 %
Fator de potência ($\cos \phi_{ac,r}$)	0 - 1 ind. / cap.

Fonte: [9]

Com parâmetros do sistema definidos, foi possível realizar a simulação via o *software PV Syst*®. Para a determinação da localização do SFCR o software conta com uma extensão do *Google Maps* para uma localização mais precisa. A janela gerada pelo programa para o ajuste da localização é mostrada na Figura 11.

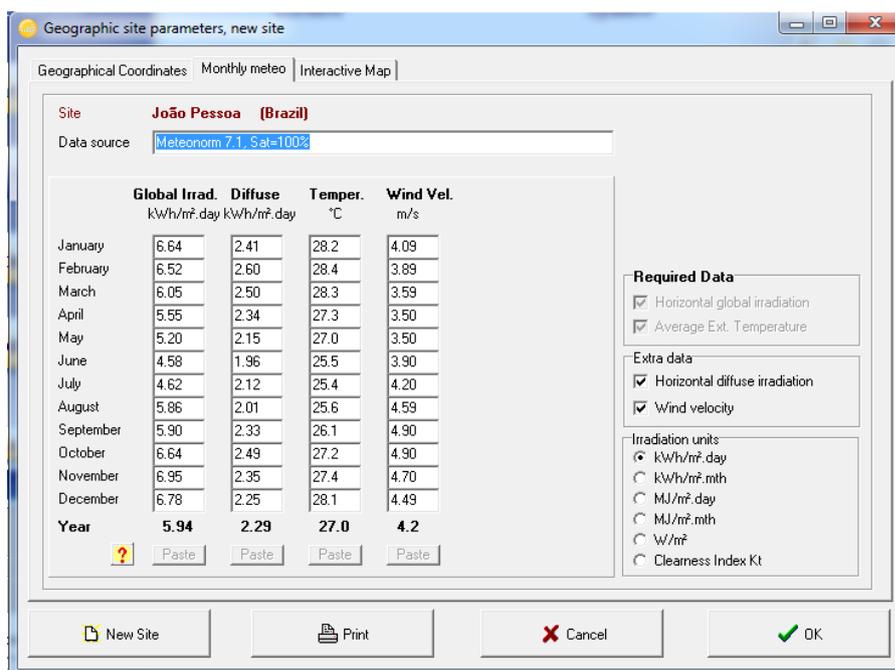
Figura 11-Janela para inserção da localização do SFCR



Fonte: Do Autor

Para a determinação dos parâmetros de irradiação sobre o local onde será instalado o SFCR, o *software* conta com uma ferramenta de importação de dados da NASA e/ou do *software* Meteonorm. Pela experiência com projetos realizados na Paraíba pela empresa SMARTSUN, foi observado que os dados do CRESESB (Centro de referência para as energias solar e eólica Sérgio de S. Brito) são mais precisos para a região e por isso, os dados de irradiação no local foram extraídos do site do CRESESB. A Figura 12 mostra onde são inseridos os dados sobre a localização de instalação do SFCR.

Figura 12-Janela para inserção de dados de irradiação do local do SFCR



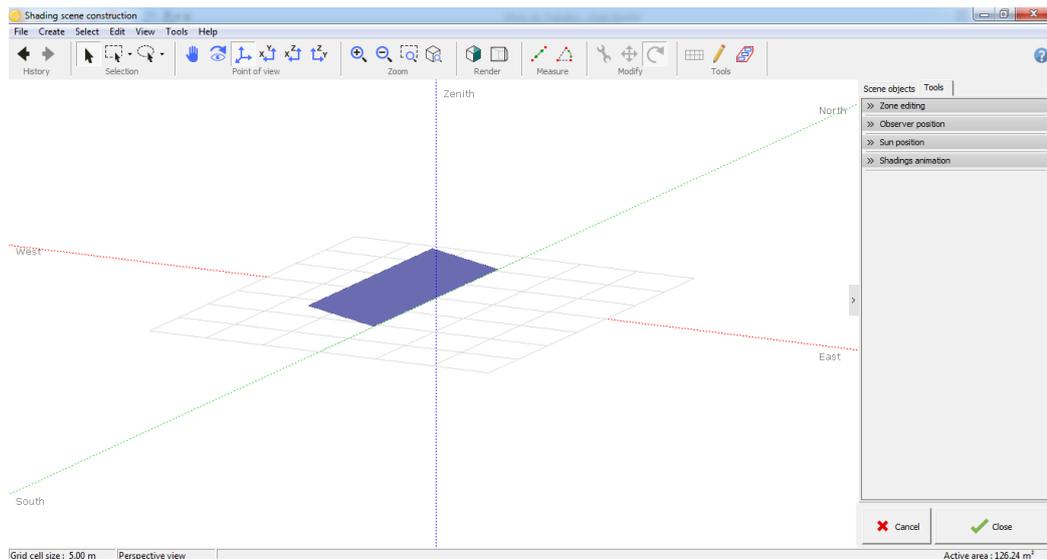
Fonte: Do Autor

Como mostrado na Figura 10, o inversor utilizado para esse sistema possui um único MPPT, assim, as *strings* não deveriam ser sombreadas durante o dia visando fornecer uma maior potência pelo sistema.

Foi verificado também, que entre os telhados do local, o telhado com inclinação leste, localizado mais a direita da Figura 9 tinha uma maior capacidade de geração, pois nele não existia sombreamento durante o dia, ao contrário dos outros telhados que além de ter a capacidade de geração afetada pelo sombreamento durante uma parte do dia, impossibilitavam a instalação dos módulos por conta dos exaustores industriais presentes no telhado.

Sendo assim, os módulos foram instalados no telhado mais à direita, voltados para o leste e com mesma inclinação do telhado, aproximadamente 10°. A seguir, a Figura 13 mostra uma simulação feita pelo *PVSystem*® do arranjo fotovoltaico instalado:

Figura 13-Simulação para Arranjo Fotovoltaico voltado para o Leste



Fonte: Do Autor

Através das ferramentas do *software PVSystem®*, também é possível gerar um relatório do SFCR com os parâmetros escolhidos para compor o sistema bem como um diagrama de perdas detalhado, tais detalhes são mostrados na Figura 14, Figura 15.

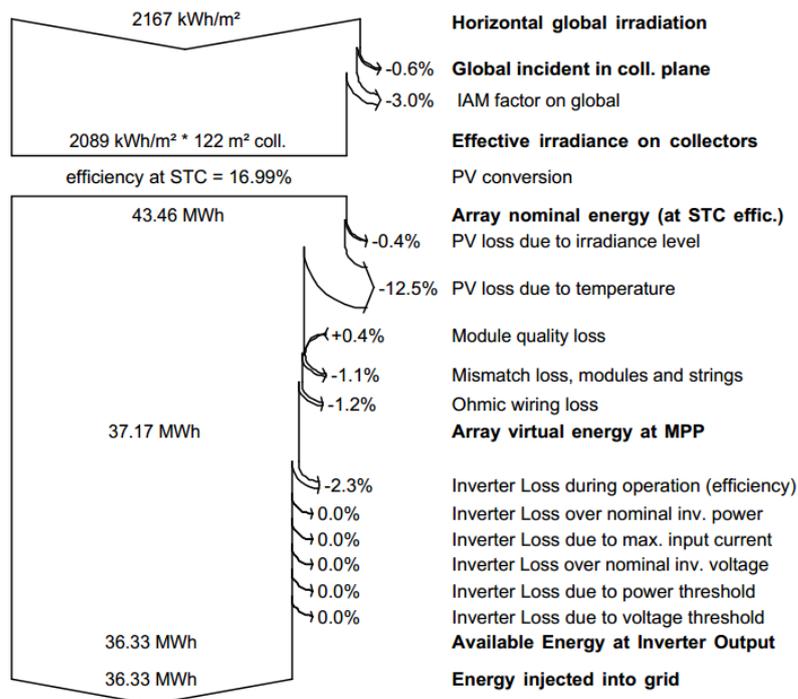
Na Figura 15, podemos observar que o SFCR terá capacidade de geração anual média de 36,33MWh o que resulta em aproximadamente 3.028kWh Mensal.

Figura 14-Detalhamento do SFCR pelo software PVSyst®

PVSYST V6.68		23/10/18		Page 1/4	
Grid-Connected System: Simulation parameters					
Project : Via Campo					
Geographical Site		João Pessoa	Country	Brazil	
Situation		Latitude -7.15° S	Longitude	-34.93° W	
Time defined as		Legal Time	Time zone	UT-3	
		Albedo	Altitude	30 m	
Meteo data:		João Pessoa	Meteonorm 7.1, Sat=100% - Synthetic		
Simulation variant : New simulation variant					
Simulation date 23/10/18 19h39					
Simulation parameters		System type No 3D scene defined			
Collector Plane Orientation		Tilt	10°	Azimuth	-90°
Models used		Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		No Shadings			
PV Array Characteristics					
PV module		Si-poly	Model	CS6U - 330P 1000V	
Custom parameters definition		Manufacturer Canadian Solar Inc.			
Number of PV modules		In series	21 modules	In parallel	3 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	63	Unit Nom. Power	330 Wp
Array global power		Nominal (STC)	20.79 kWp	At operating cond.	18.67 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	697 V	I mpp	27 A
Total area		Module area	122 m²	Cell area	110 m²
Inverter					
Original PVSyst database		Model	ECO 25.0-3-S		
Characteristics		Manufacturer	Fronius International		
Inverter pack		Operating Voltage	580-850 V	Unit Nom. Power	25.0 kWac
		Nb. of inverters	1 units	Total Power	25 kWac
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	439 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.4 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss				Loss Fraction	0.10 %
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)		bo Param.	0.05
User's needs :		Unlimited load (grid)			

Fonte: Do Autor

Figura 15-Diagrama de Perdas do SFCR



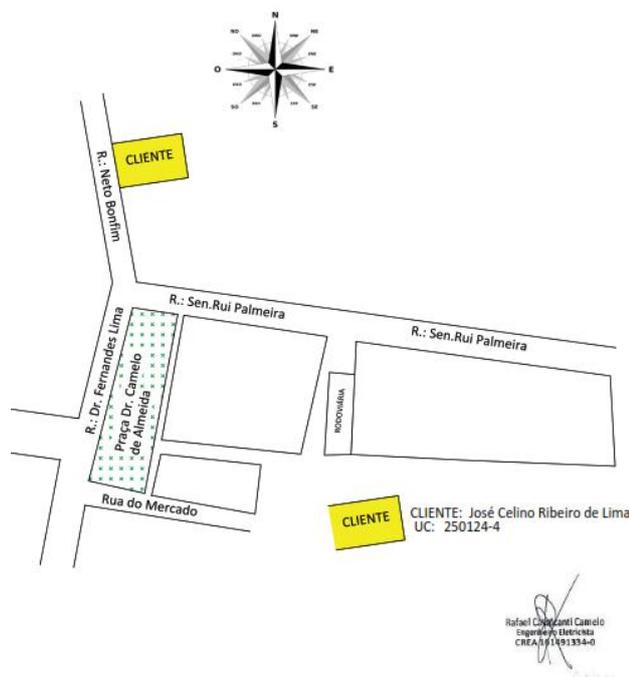
Fonte: Do Autor

3.1.3 Requisitos da Concessionária de Energia Elétrica

3.1.3.1 Planta de Localização

Para a aprovação do projeto de energia fotovoltaico, é exigida uma planta de localização do local onde se pretende instalar o SFCCR, para a elaboração da planta, o estagiário utilizou o *software AutoCad®* e o auxílio da ferramenta *Google Maps*. A Figura 16 ilustra uma planta de localização elaborada pelo estagiário.

Figura 16-Planta de Localização



Fonte: Do Autor

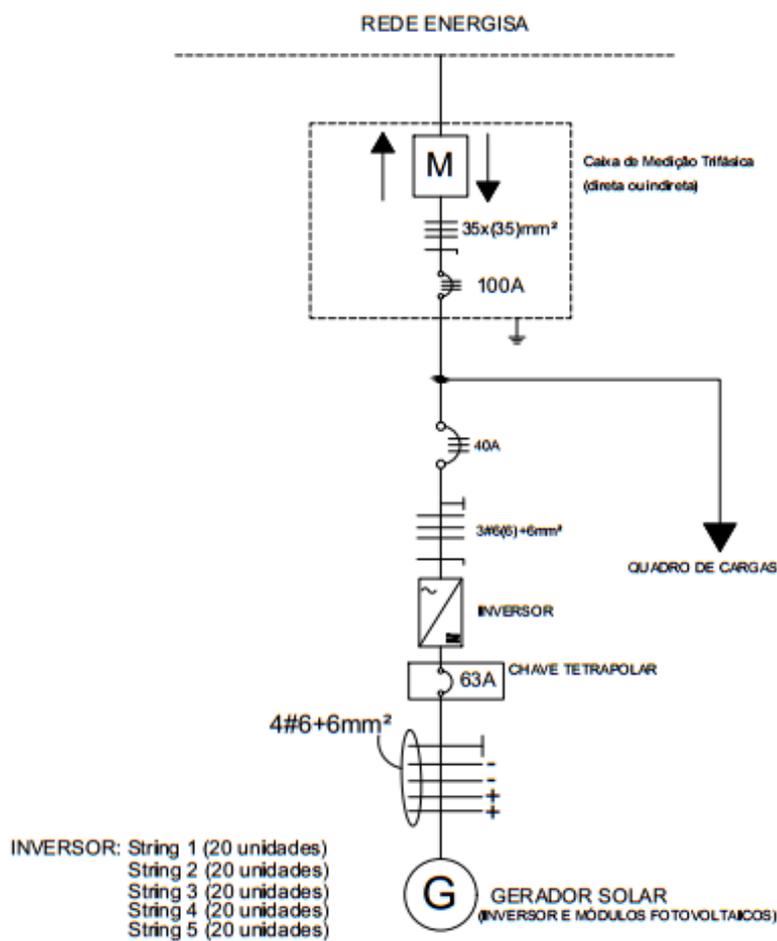
3.1.3.2 Diagrama Unifilar

Geralmente, em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica se tem a necessidade de usar módulos fotovoltaicos conectados em série e/ou paralelo para a obtenção de níveis de tensão, corrente e, conseqüentemente, potência, compatíveis com o projeto de geração desejado. Assim, a concessionária de energia elétrica exige um desenho com o Diagrama unifilar para a aprovação do projeto. Algumas concessionárias de energia elétrica, como a ENERGISA, além do

diagrama unifilar, também é exigido um desenho contendo um diagrama multifilar do sistema de acordo com a Norma de Distribuição Unificada (NDU-013).

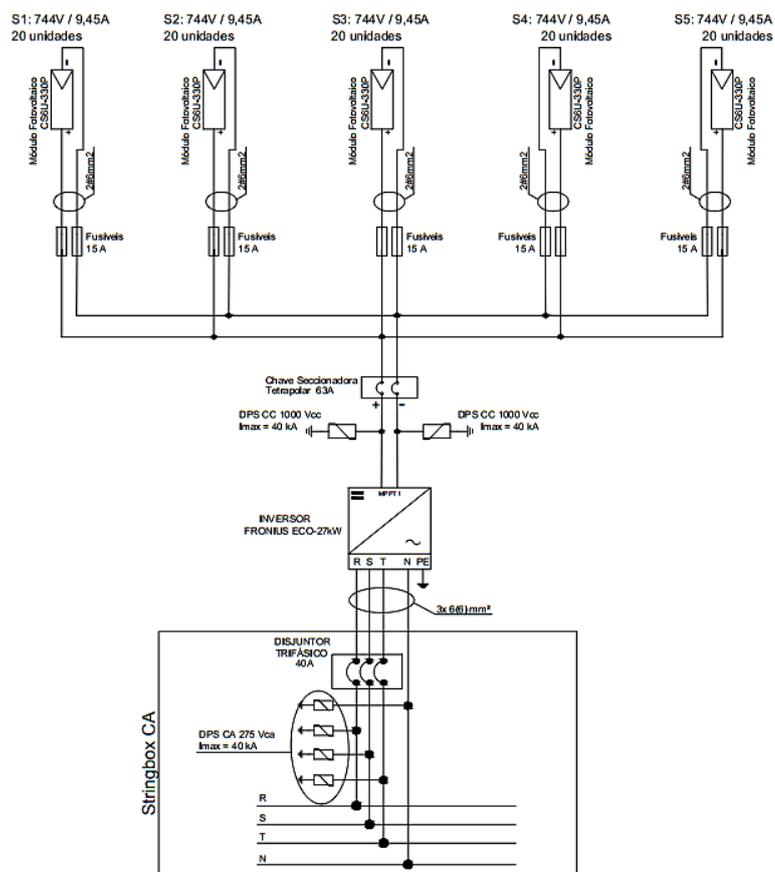
Para a elaboração de tais diagramas, o estagiário utilizou o *software AutoCad®* e as normas internas para geração distribuída. A seguir, as Figuras 17 e 18 ilustram os diagramas Unifilar e Multifilar respectivamente pertencentes a um projeto de 33kWp de um posto de combustíveis localizado na cidade São Bento no interior da Paraíba. Ambos os diagramas foram elaborados pelo estagiário durante o estágio.

Figura 17-Diagrama Unifilar



Fonte: Do Autor

Figura 18-Diagrama Multifilar

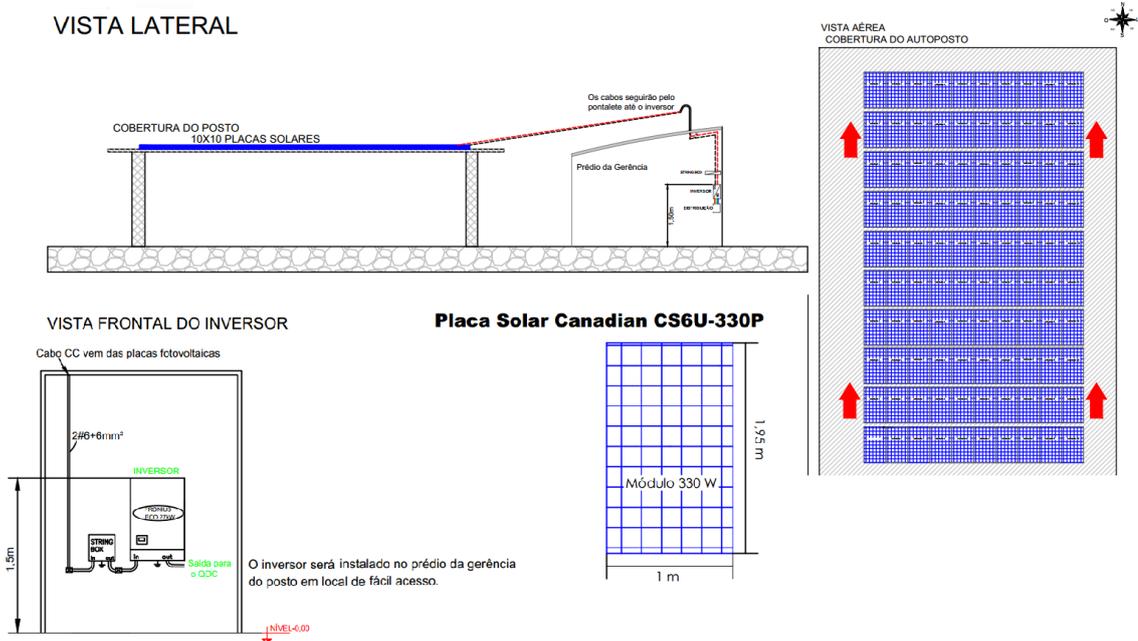


Fonte: Do Autor

3.1.3.3 Arranjo Fotovoltaico

É necessário também para a aprovação do projeto fotovoltaico uma planta mostrando como será feito o arranjo fotovoltaico dos módulos bem como a localização do inversor no local da instalação, para essa planta em questão, o estagiário também utilizou o *software AutoCad®*. A seguir, a Figura 19 mostra a planta de arranjo fotovoltaico do mesmo posto de combustíveis já citado anteriormente.

Figura 19-Planta de Arranjo Fotovoltaico

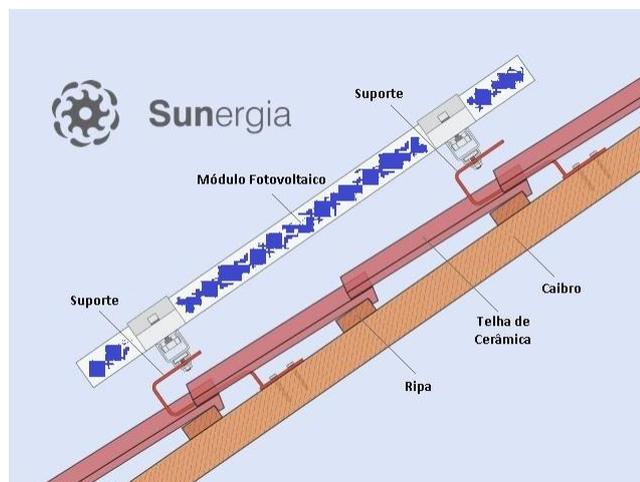


Fonte: Do Autor

3.2 Supervisão das Instalações

Durante o estágio, o estagiário acompanhou a instalações de alguns SFCR, no processo de supervisão das instalações uma das tarefas era verificar a fixação dos painéis nos trilhos de suporte, a Figura 20 mostra como deve ser fixado os trilhos no telhado em seguida, as Figura 21, mostra o processo de fixação dos trilhos nos telhados realizado pela empresa SMARTSUN.

Figura 20-Esquema de Fixação de painéis fotovoltaicos



Fonte: [11]

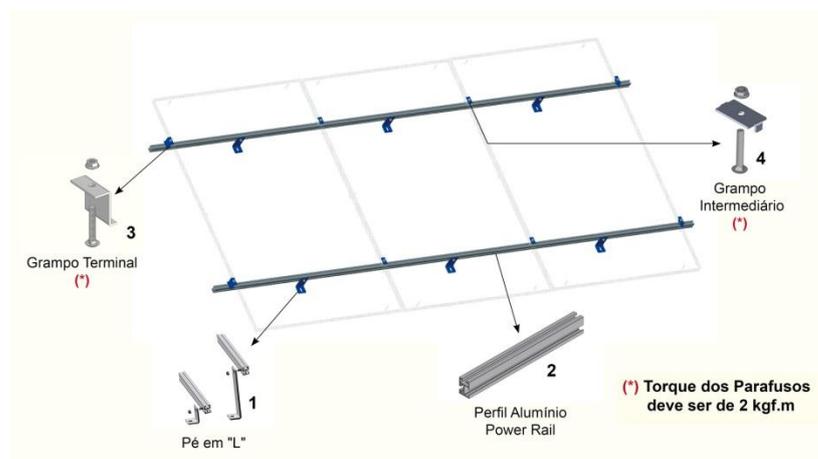
Figura 21-Processo de fixação dos trilhos e painéis no telhado da *Via Campo Rações e Medicamentos Veterinários*



Fonte: Do Autor

Após a fixação dos trilhos, os módulos são presos através de grampos chamados de grampos terminais e grampos intermediários, a seguir, a Figura 22 ilustra de uma forma geral a fixação dos grampos nos trilhos.

Figura 22-Esquema de montagem dos grampos nos trilhos



Fonte: [12]

Após a instalação dos módulos solares, os cabos CC devem descer do telhado através de um eletroduto (podendo ser flexível ou rígido) até chegar a *string box* CC, onde estão os dispositivos de proteção como Fusíveis, DPS's e Chaves Seccionadoras, a Figura 23 mostra uma *string box* CC à esquerda, inversor de frequência no meio da figura e *string box* CA à direita.

Figura 23-String box CC - Inversor- String box CA



Fonte: Do Autor

Após passar pela proteção da parte CC localizada na *string box* CC, os cabos seguem para o inversor de frequência onde a corrente contínua vinda dos módulos será transformada em corrente alternada e de lá seguirão para a *string box* CA. Na *string box* CA, estarão localizados os dispositivos de proteção para o circuito CA como DPS, Disjuntores e Chave seccionadora.

Em algumas vezes, as proteções CC e CA ficavam localizadas em um mesmo quadro, mas na maioria das vezes, a empresa adota a instalação das *strings* CC e CA separadas para fim de uma melhor organização. A Figura 24 mostra uma *string box* CA contendo DPS e um disjuntor monofásico de proteção:

Figura 24-String box CC-CA



Fonte: Do Autor

Finalizada a instalação, é feito o pedido de vistoria da instalação para a concessionária de energia. Durante a vistoria do sistema, são configurados os parâmetros do inversor de frequência, o estagiário pôde acompanhar algumas vistorias técnicas feitas juntamente com a concessionária de energia local. A Tabela 2 mostra os parâmetros elétricos configurados no inversor que são exigidos pela concessionária:

Tabela 2-Ajustes para parametrização do inversor

Ajustes Recomendados das Proteções - Parametrização do Inversor		
<u>Descrição</u>	<u>Parâmetros</u>	<u>Tempo de Atuação</u>
<u>Tensão no ponto de Conexão:</u>	$V < 80\% (0,8 \text{ PU}) V_n$	Desligar em 0,4 s
<u>Tensão no ponto de Conexão:</u>	$V < 110\% (1,1 \text{ PU}) V_n$	Desligar em 0,2 s
<u>Regime Normal de Operação</u>	$80\% \leq V = < 110\%$	Condições normais
<u>Subfrequência</u>	$f < 57,5 \text{ HZ}$	Desligar em até 0,2 s
<u>Sobrefrequência</u>	$f > 62,0 \text{ HZ}$	Desligar em 0,2 s
<u>Frequência Nominal da Rede</u>	$f = 60 \text{ HZ}$	Condições normais
<u>Após a perda da rede (ilhamento), deverá interromper o fornecimento de energia a rede:</u>	Ilhamento	Interromper em até 2s
<u>Após a retomada das condições normais de tensão e frequência da red, religar:</u>	Reconexão	Após 180s

Fonte: Do Autor

É de extrema importância que a parametrização do inversor seja feita corretamente, para que seja garantida a segurança e qualidade da energia elétrica injetada pelo inversor na rede elétrica da concessionária.

Os parâmetros de ilhamento e reconexão com a rede eram testados pelo funcionário da concessionária e pelo estagiário, no teste de ilhamento, o inversor deveria interromper o seu funcionamento em até 2 segundos visando à segurança dos funcionários da concessionária que eventualmente estiverem realizando manutenção na rede elétrica.

Além da parametrização do inversor, alguns outros requisitos eram exigidos pelo responsável técnico da concessionária, eram eles:

- Os inversores deverão estar instalados em local de fácil e permanente acesso, onde o visor do inversor deverá ficar a uma altura máxima de 1,50m do piso acabado ao seu topo;
- Próximo à caixa de medição deverá ser instalada uma placa de advertência com os seguintes dizeres: “CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO –GERAÇÃO PRÓPRIA”;
- A placa de advertência deverá ser confeccionada em PVC ou acrílico com espessura mínima de 1mm e conforme modelo apresentado na Figura 25 deste relatório, e em anexo à Norma Técnica NDU 013;
- Para as ramal de entrada monofásico deverá ser instalado a caixa de medição trifásica, pois a monofásica não suporta um medidor bidirecional;

Após a vistoria da concessionária de energia no local onde foi instalado o SFCR, a troca do medidor é realizada e o sistema passa a funcionar de fato, fazendo com que o cliente passe a usufruir do sistema de compensação de energia elétrica.

Figura 25-Placa de Advertência



Fonte: [13]

3.3 Monitoramento

Para um melhor acompanhamento da geração da usina solar instalada, é realizado o monitoramento diário, através da rede de internet. Os inversores utilizados nos sistemas instalados pela empresa possuem um sistema interativo e utilizando uma plataforma na internet, é possível acessar os dados de geração do sistema diariamente e assim obter um *feedback* de como está a geração nas instalações realizadas pela empresa. A Figura 26 ilustra como é feita a interação entre o sistema e o usuário.

Figura 26- Interação entre SFCR e o usuário



Fonte: [9]

Para o projeto da loja de rações e medicamentos veterinários (*Via Campo*) não foi possível fazer o monitoramento até o fim do período de estágio no qual o estagiário estava presente devido à um problema com a internet do local. Sendo assim, a parte referente ao monitoramento que será mostrada no presente relatório se refere a um projeto de 4,8kWp executado pela empresa na cidade de João Pessoa no bairro de Cabedelo, a residência onde foi instalado o SFCR está ilustrada na Figura 5.

A Figura 27 mostra um exemplo de monitoramento da geração de um dia do sistema descrito no parágrafo anterior. As quedas repentinas na curva de geração se dão normalmente pelo sombreamento dos painéis por nuvens sobre o sistema ou chuvas durante determinado período do dia.

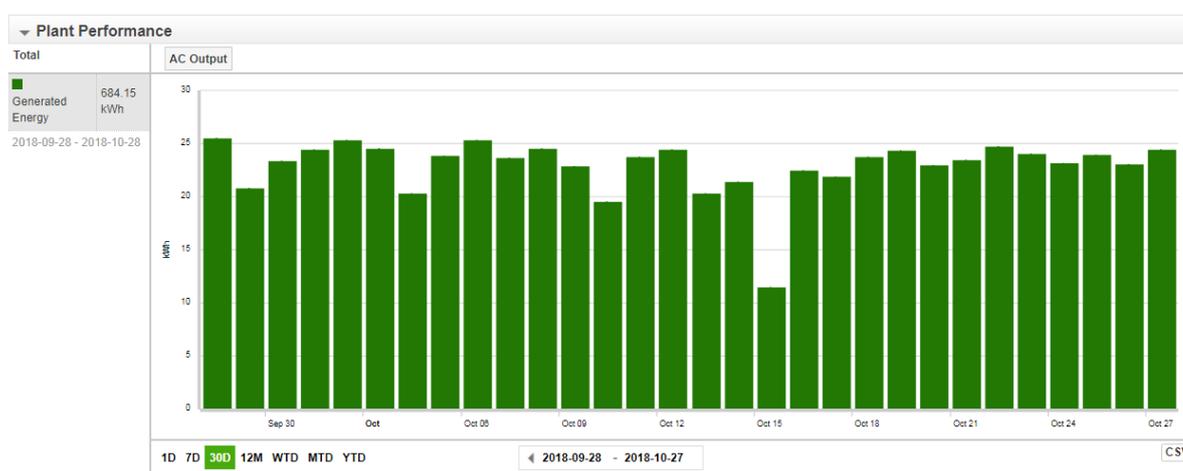
Figura 27-Gráfico de geração diária de um SFCR



Fonte: Do Autor

O acompanhamento mensal do sistema também pôde ser monitorado pela plataforma *Aurora Vision*, assim um eventual mau funcionamento do sistema gerador poderia ser detectado pela empresa e logo em ser averiguado no local a fim de se detectar o problema no local da geração. A Figura 28 mostra a geração mensal de um sistema instalado pela empresa SMARTSUN e dimensionado para uma geração 650kWh/mês.

Figura 28-Gráfico de geração mensal de um SFCR



Fonte: Do Autor

Na Figura 27, podemos ver que o sistema conseguiu ultrapassar a meta de geração mensal de 650kWh/mês, gerando no mês em questão, 684,15kWh/mês, assim, as condições de

dimensionamento para a geração solicitada pelo cliente foram atendidas e o sistema ainda conseguiu gerar, um excedente de energia que será revertido sob for de crédito em meses futuros onde o sistema por alguma razão não consiga atingir a geração de 650kWh/mês.

4 CONCLUSÕES

No estágio supervisionado realizado, o estagiário pôde não só aplicar diversos conceitos adquiridos durante a graduação, como também, adquirir novos conhecimentos técnicos principalmente na área de atuação da empresa. Através das visitas técnicas, projetos realizados, cotações de preços de equipamentos, o estagiário pode vivenciar na prática algumas das funções atribuídas a um engenheiro em uma empresa.

Através do estágio, pode se vivenciar os grandes desafios ligados ao mercado de trabalho, como cumprimento de metas e prazos, e a necessidade de lidar com diversos profissionais de diferentes escalões. Isso resultou ao estagiário, um grande crescimento profissional e pessoal, essenciais para a formação de um engenheiro.

Assim, conclui-se que o estágio realizado foi muito proveitoso, consolidando ainda mais os conhecimentos adquiridos ao longo do curso de graduação em Engenharia Elétrica e mostrando assim, que o estágio é de fundamental importância na formação de um engenheiro, complementando de forma prática, o que foi estudado durante o curso de graduação.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1][Online] <http://www.cear.ufpb.br/arquivos/resolucoes/Estagios%20-%20Resolucao%2047-2007.pdf>.
- [2] **SmartSun.** *Smartsun Energia Inteligente.* [Online] SmartSun . [Citado em: 24 de 10 de 2018.] <http://smartsunpb.com.br/>.
- [3] **Becquerel, E.** Memoires sur les effets életroniques produits sous l'influence des rayons. 1859.
- [4] RENOVÁVEIS NO BRASIL: Maturidades diferentes para cada fonte exigem cuidados especiais.*Absolar.* [Online] 27 de 09 de 2018. [Citado em: 24 de 10 de 2018.] <http://absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/renovaveis-no-brasil-maturidades-cada-fonte-exigem-cuidados-especiais.html>.
- [5] **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL.** RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482. *ANEEL.* [Online] 17 de 04 de 2012. [Citado em: 24 de 10 de 2018.] <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.
- [6] **Cassini, Marcio Eli Moreira de Souza e Dênio Alves.** Uso da energia solar fotovoltaica no meio rural. [Online] Maio de 2016. [Citado em: 24 de 10 de 2018.] <http://www.ccprmg.com.br/pagina/3151/uso-da-energia-solar-fotovoltaica-no-meio-rural---marcio-eli-moreira-de-souza-e-de-234-nio-alves-cassini.aspx>.
- [7] **CRESESB.** Como Funciona os módulos fotovoltaicos. [Online] [Citado em: 24 de 10 de 2018.] [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid\[\]=2&catid\[\]=5](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid[]=2&catid[]=5).
- [8] **CEPEL-CRESESB.** Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. [A. do livro] CRESESB. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.* Rio de Janeiro : s.n., 2014.
- [9] *Fronius.* [Online] [Citado em: 24 de 10 de 2018.] <http://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos>.
- [10] **Contextual Help User's Guide PVsyst.**
- [11] Sun Energia. *Sun Energia.* [Online] <https://sunergia.com.br/blog/como-instalar-estrutura-de-suporte-para-fixacao-de-painel-solar/>.
- [12] **Power Rail.** Power Rail - Estruturas para Telhados. *Power Rail.* [Online] <http://www.plp.com.br/site/component/k2/item/428-power-rail-tm-montagens-prm>.

[13] **Energisa.** NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA. [A. do livro] ENERGISA. *Crêterios para a Conexão de Acessantes de Gera o Distribuída ao Sistema de Distribui o para Conexão em Baixa Tensão .* Dezembro /2017.