

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

EGHON LAMEIRA FERNANDES

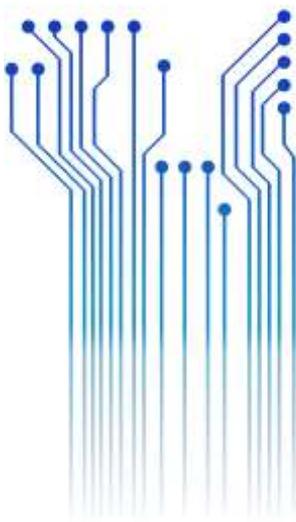


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO:
S4 MAIS SOLAR TECH



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2024

EGHON LAMEIRA FERNANDES

RELATÓRIO DE ESTÁGIO:
S4 MAIS SOLAR TECH

Relatório de Estágio submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Orientador:
Professor Célio Anésio da Silva, D. Sc.

Campina Grande
2024

EGHON LAMEIRA FERNANDES

RELATÓRIO DE ESTÁGIO:
S4 MAIS SOLAR TECH

Relatório de Estágio submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel no domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Aprovado em 29 / 03 / 2024

Professor Ronimack Trajano
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Célio Anésio da Silva, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho ao meu filho Ethan, menino forte, carinhoso e gentil, que dia após dia me motiva a ser um homem e pai melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Agradeço também à minha mãe, Lusia, por ter se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por ter me alimentado com saúde, força e coragem, as quais foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço a minha família, Tainá Venâncio e em especial meu filho Ethan Lameira, no qual dedico cada minuto da minha vida desde de sua chegada. Muito obrigado por cada gesto de carinho, sorriso e alegria que você desde o início emana, tenha certeza que esse é meu combustível.

Agradeço também aos meus amigos, Yan Pontes, Ítalo Aquino e Sofia Isbelo, pelo companheirismo, sinceridade e incentivo, que com todo carinho, estiveram ao meu lado nesta longa caminhada.

Agradeço ao Levante Popular da Juventude, por contribuir no meu entendimento de que a ciência é coletiva e ao coletivo deve servir, ao Movimento de Atingidos e Atingidas por Barragens, por abrir meus olhos para uma geração de energia na qual caiba todas e todos, e ao Movimento dos Trabalhadores e Trabalhadoras Sem-Terra, por lutar veementemente por uma sociedade mais justa e democrática. Um grande salve a todos que os constroem.

Agradeço aos professores, técnicos-administrativos e corpo discente do departamento de Engenharia Elétrica da UFCG por todo acolhimento e atenção, apesar de todas as contradições intrínsecas neste longo processo, sem vocês nada disso seria possível.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

RESUMO

Neste relatório são descritas as principais atividades realizadas pelo estagiário Eghon Lameira Fernandes, concluinte do curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande, durante o estágio integrado na empresa S4 Mais Solar Tech, localizada na cidade de João Pessoa-PB. O estágio foi executado entre 24 de abril de 2023 e 16 de fevereiro de 2024, com carga horária de 30 horas semanais durante os primeiros 6 meses e 40 horas semanais no restante do contrato, totalizando 1394 horas, com orientação do professor Célio Anésio da Silva e supervisão do engenheiro de energias renováveis Lucas Vinícius de Andrade. Durante esse período, o estagiário atuou no setor de engenharia da empresa, estando apto a realizar as atividades de adequação de padrão de entrada, preenchimento de documentação para homologação de projetos, visita técnica e monitoramento e manutenção de usinas solares.

Palavras-chave: Estágio Integrado. Sistemas fotovoltaicos. Instalações Elétricas. Geração de energia. S4 Mais Solar Tech.

ABSTRACT

This report outlines the key activities undertaken by the intern Eghon Lameira Fernandes, a graduate in Electrical Engineering from the Federal University of Campina Grande, during his integrated internship at S4 Mais Solar Tech in João Pessoa-PB. The internship ran from April 24, 2023, to February 16, 2024, with a workload of 30 hours per week for the first 6 months and 40 hours per week thereafter, totaling 1394 hours. Professor Célio Anésio da Silva provided guidance, while the renewable energy engineer Lucas Vinícius de Andrade supervised. Throughout this period, the intern worked in the company's engineering department, handling tasks such as standardizing entry patterns, completing documentation for project approval, conducting technical visits, and monitoring and maintaining solar power plants.

Keywords: Integrated Internship. Photovoltaic Systems. Electrical Installations. Energy Generation. S4 Mais Solar Tech.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Sistema off-grd.....	15
Figura 2: Sistema ON-GRID	16
Figura 3: Sistema híbrido	17
Figura 4: Efeito fotovoltaico.....	18
Figura 5: Estrutura da célula.....	19
Figura 6: Células fotovoltaicas em série	20
Figura 7: células fotovoltaicas em paralelo	21
Figura 8: diodo bypass e bloqueio	22
Figura 9: curva ixv com variação de irradiação	23
Figura 10: Curva ixV com variação de temperatura.....	23
Figura 11: curva pxv com variação de temperatura	23
Figura 12: curva pxV com variação de irradiação.....	23
Figura 13: Correção do norte geográfico.....	24
Figura 14: circuito básico do inversor cc-ca.....	25
Figura 15: Saida do inversor antes do filtro de 60 Hz	26
Figura 16: padrão de entrada do cliente.....	32
Figura 17: diagrama do unifilar do padrão de entrada	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros do inversor	26
Tabela 2: homologações acompanhadas	36
Tabela 3: plataformas de monitoramento de cada fabricante	41

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	5
Resumo.....	6
Abstract.....	7
Lista de Ilustrações.....	8
Lista de Tabelas.....	9
Sumário.....	10
1 Introdução.....	11
1.1 Objetivo Geral.....	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
1.3 Estrutura Textual.....	12
2 A empresa.....	13
3 Referencial Teórico.....	14
3.1 Sistemas Fotoconversores.....	14
3.1.1 Efeito Fotovoltaico.....	17
3.1.2 Célula Fotovoltaica.....	18
3.1.3 Módulos Fotovoltaicos.....	20
3.1.4 Inversores.....	24
3.1.5 String Box.....	27
3.1.6 Aterramento.....	27
3.2 Normas Regulamentadoras.....	27
3.2.1 Lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022.....	28
3.2.2 NBR 5410.....	29
3.2.3 NBR 16690.....	29
3.2.4 NR 10.....	30
3.2.5 NR 35.....	30
3.2.6 NDU 001.....	30
3.2.7 NDU 002.....	31
3.2.8 NDU 013.....	31
4 Desenvolvimento.....	31
4.1 Adequação de padrão de entrada.....	32
4.2 Preenchimento de documentação homologatória.....	34
4.3 Visita técnica.....	38
4.4 Monitoramento e Manutenção.....	40
4.4.1 Monitoramento.....	40
4.4.2 Manutenção.....	44
5 Conclusão.....	48
Referências.....	49
Anexos.....	50

1 INTRODUÇÃO

Neste relatório são descritas as atividades mais relevantes realizadas no setor de engenharia da empresa S4 Mais Solar Tech, no período de 24 de abril de 2023 até 6 de fevereiro de 2024, com carga horária de 30 horas/semanais até 23 de outubro de 2023 e com carga horária de 40 horas/semanais do dia 24 de outubro de 2023 em diante, totalizando assim 1212 horas, sob orientação do professor Célio Anésio da Silva e supervisão do engenheiro Lucas Vinícius de Andrade. A S4 Mais Solar é uma empresa focada na homologação, implementação e manutenção e monitoramento de sistemas fotovoltaicos de micro e mini geração. Dessa forma, as atividades realizadas no período de estágio foram voltadas para elaboração de projetos e manutenção preventiva, preditiva e corretiva das usinas, com destaque no preenchimento de documentos técnicos necessários para envio do projeto para aprovação da concessionária de energia, acompanhamento de obras, parametrização de inversores, acompanhamento de visitas técnicas e análise e diagnóstico de sistemas fotovoltaicos com anomalias na geração.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente relatório tem como objetivo destacar e apresentar as principais atividades desenvolvidas pelo graduando no período em que esteve presente no corpo de colaboradores da S4 Mais Solar Tech.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos destaca-se:

- Dimensionar sistemas fotovoltaicos residenciais e comerciais;
- Preencher documentos técnicos;
- Parametrizar inversores solares fotovoltaicos;
- Realizar o acompanhamento de obras;
- Realizar visitas técnicas;
- Realizar o monitoramento de desempenho de usinas fotovoltaicas.

1.3 ESTRUTURA TEXTUAL

Este trabalho foi dividido em 6 seções, composta de introdução, 4 seções de desenvolvimento e considerações finais.

Na primeira seção é apresentada a introdução, os objetivos e a estrutura do texto.

Na segunda seção é feita uma breve descrição da empresa.

Na terceira seção tem-se a fundamentação teórica necessária para o entendimento do trabalho e que embasa o conhecimento necessário para execução do estágio, bem como as normas regulamentadoras utilizadas.

Na seção quatro estarão descritas as atividades realizadas durante o período de estágio.

Na quinta e última seção são feitas as considerações finais referente a experiência vivida na empresa durante o estágio.

2 A EMPRESA

A S4 Mais Solar Tech é uma empresa paraibana fundada em 2021, por Abraão Leal e Quelly Sales – administradores de carreira e entusiastas da geração solar – com a sede originalmente no município de Bananeiras – PB e posteriormente migrando para a capital paraibana.

A empresa possui solidez e experiência na área de integradores fotovoltaicos. Mesmo com pouco tempo, a empresa atua não só no seu estado de origem, mas também em mais 4 estados do nordeste: Pernambuco, Rio Grande do Norte, Sergipe e Bahia.

Além de projetar, homologar, implementar e realizar a manutenção das suas usinas, a empresa também é especializada em manutenções elétricas residenciais, prediais e comerciais e adequação de padrão de entrada.

As atividades da empresa são executadas com a colaboração de 9 setores, de acordo com a figura 1: diretoria, engenharia, instalação, administrativo, comercial, projetos e homologação, jurídico, marketing e contabilidade, dos quais os quatro primeiros estão presentes diariamente na empresa, os quatro últimos contribuem de forma terceirizada sobre demanda, e o setor comercial atua externamente.

Figura 1: Fluxograma organizacional da empresa



Fonte: Autoria Própria.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SISTEMAS FOTOCONVERSORES

Com diversas aplicações espalhadas pelo mundo, sistemas fotoconversores, ou fotovoltaicos, estão em funcionamento com pequenas saídas, da ordem de watts para alimentação de postes isolados por exemplo, até saídas da ordem de megawatts, no caso de usinas solares, instaladas para suprimento energético nacionais, ou até mesmo para alimentação direta de grandes estabelecimentos comerciais e indústrias.

Esses sistemas consistem em um conjunto de dispositivos conectados para converter as radiações solares em energia elétrica para autoconsumo do estabelecimento, máquinas ou dispositivos e podemos encontrá-los em três configurações: isolados, conectados à rede ou híbridos.

I. Sistemas Isolados – Off-grid

Essa configuração é caracterizada por não ter ligação com a rede elétrica da concessionária, sendo exclusiva para abastecimento energético da carga local e utiliza-se módulos com menos células (aproximadamente 36) a fim de atingir 12 V nas suas saídas. Normalmente, são utilizados para propósitos singulares, como alimentação de cargas em locais remotos onde não tem acesso à rede elétrica, sendo este o método mais barato de atender às demandas desses locais.

Esse sistema é composto por quatro elementos principais: os painéis solares, responsáveis pela conversão da luz em eletricidade; as baterias, para que não falte energia para a carga em horários com pouca, ou nenhuma, incidência luminosa, como os períodos chuvosos e noturnos, respectivamente; os controladores de carga, para o correto abastecimento das baterias, bem como prolongamento da vida útil das mesmas, visto que também evita sobrecargas e grandes descargas; e os inversores, com a função de transformar a corrente contínua (CC), produzida pelos painéis, em corrente alternada (CA) e elevar os níveis de tensão para patamares adequados [1].

Há casos em que um ou outro dispositivo é dispensável, por exemplo, para um sistema de bombeamento de água, a máquina de bombeamento funciona com corrente e

tensão contínua e a energia é armazenada em tanques de água em nível superior na forma de energia potencial, dispensando o uso de inversores e baterias.

Na figura 2, podemos observa-se uma representação do sistema off-grid e seus componentes.

Figura 2: Sistema off-grd



Fonte: Energy Solver (2024)

II. Sistemas Conectados à Rede – On-grid

Ao contrário dos sistemas *off-grid*, essa configuração utiliza não só as placas solares como fonte de energia mas também a rede elétrica da distribuidora para alimentar a carga em momentos de baixa produção de energia pelo sistema. Seus módulos são constituídos por mais células (normalmente 60) o que conseqüentemente aumenta sua tensão de saída [1].

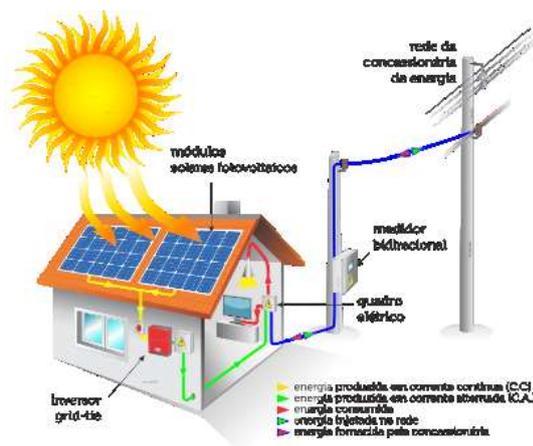
Estes sistemas também dispensam a necessidade de baterias, visto que a própria rede elétrica atua como *backup* da carga. Entre seus componentes estão os painéis solares, inversores e medidores bidirecionais, este segundo tendo uma importância diferente que nos sistemas isolados: além de converter a energia CC em CA, também atua sincronizando o sistema à rede elétrica e desconectando o sistema quando a corrente, tensão ou frequência não estejam compatíveis com os padrões da rede ou quando a mesma estiver desenergizada, seja por falhas ou manutenção [2].

O medidor bidirecional, como o próprio nome deixa a entender, faz o cálculo da quantidade de energia que é fornecida a rede pela carga e que é fornecida a carga pela rede, possibilitando calcular a diferença entre elas. Essa diferença é importante graças a

política de tarifação *net metering* implantado no Brasil pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – que permite que os consumidores paguem apenas pelo que for consumido a mais do que foi gerado ou, no caso de uma geração maior do que o consumo, seja liberado créditos para uso posterior com validade de até 36 meses [1].

Na figura 3, podemos observar uma representação do sistema on-grid e seus componentes.

Figura 3: Sistema on-grid



Fonte: Oca Energia (2024)

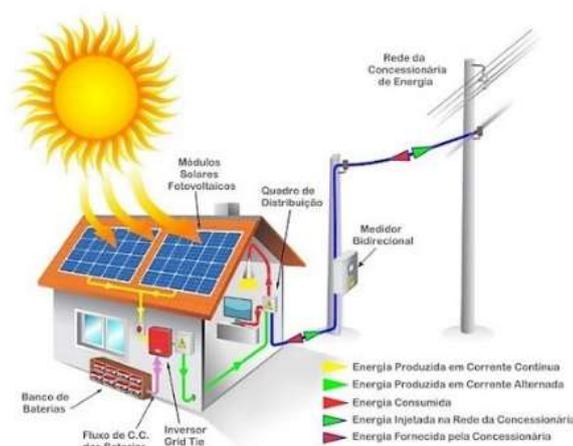
III. Sistemas Híbridos

Esse tipo de sistema é caracterizado por conter mais de uma fonte de energia, como turbinas eólicas, geradores a diesel e baterias, por exemplo. Neste é necessário o controle de todas as formas de energia a fim de buscar a melhor eficiência na entrega desta, por isso torna-se mais complexo.

Em geral, sistemas híbridos são implantados em casos onde há uma alta demanda de energia, como grandes indústrias ou grupos de várias residências, e os componentes que se utilizam variam de caso para caso, sendo necessária uma análise individual.

Podemos observar na figura 4 uma representação do sistema híbrido, contendo elementos tanto do sistema on-grid, quanto do off-grid na sua composição.

Figura 4: Sistema híbrido



Fonte: Oca Energia (2024)

3.1.1 EFEITO FOTOVOLTAICO

Em 1839, Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891) desenvolveu o primeiro protótipo de célula fotovoltaica. Ele imergiu dois eletrodos em uma solução ácida, na qual quando exposta a incidência de luminosidade gerava eletricidade [3].

Esse fenômeno de geração de eletricidade a partir da luminosidade é definido com efeito fotovoltaico e atualmente, com o desenvolver da tecnologia, é comumente observado em meio a materiais semicondutores, ou seja, tem características intermediárias entre materiais condutores e isolantes.

O principal elemento utilizado para esse fim é o silício, que a priori, em seu estado puro, não possui elétrons livres em sua camada de valência e conseqüentemente não serviria para produção de energia. Para isso, é necessário que haja campo elétrico criado a partir da diferença de potencial entre dois pontos, possibilitando assim o surgimento de corrente elétrica.

Com este fim, é utilizado o processo de dopagem do silício que nada mais é do que a inserção de elementos estranhos que alteram sua propriedade elétrica. Dois elementos utilizados neste processo são: o boro, usado para criar a região tipo *p*, com excesso de cargas positivas, e o fósforo, para criação da região tipo *n*, com excesso de cargas negativas. As razões entre dos átomos nas dopagens silício-boro e silício-fósforo são 1/10 milhões e 1/1000, respectivamente. [4]

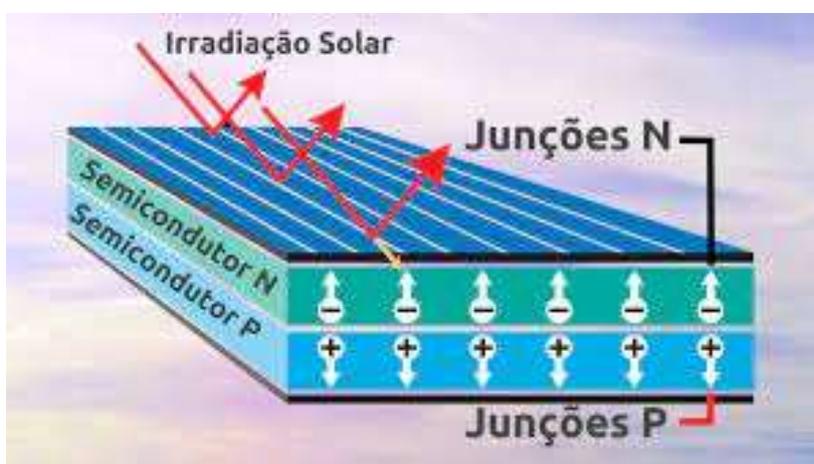
A região entre os dois materiais dopados é chamada de *junção p-n* e é onde cria-se um campo elétrico devido aos elétrons livres do silício tipo *n* que ocupam as lacunas

do silício tipo *p*. Com a incidência de raios luminosos sobre a célula, os fótons se chocam com os elétrons do silício lhe fornecendo energia e transformando-o em condutor. Assim, devido ao campo elétrico gerado os elétrons fluem da região tipo *p* em direção a região tipo *n*.

Ligando externamente a camada positiva à negativa gera-se então um fluxo elétrico que se manterá constante enquanto houver incidência de luz, produzindo assim o efeito fotovoltaico.

A figura 5 ilustra o fenômeno citado acima.

Figura 5: Efeito fotovoltaico



Fonte: Ensolare (2024)

3.1.2 CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula fotovoltaica mede em torno de 100 mm² e consiste no elemento mais básico de todo sistema de geração. É nela que acontece o efeito fotovoltaico que possibilita gerar por célula de 0,5 a 1 V e algumas dezenas de miliampéres de corrente.

Pode-se resumir sua constituição interna em cinco partes:

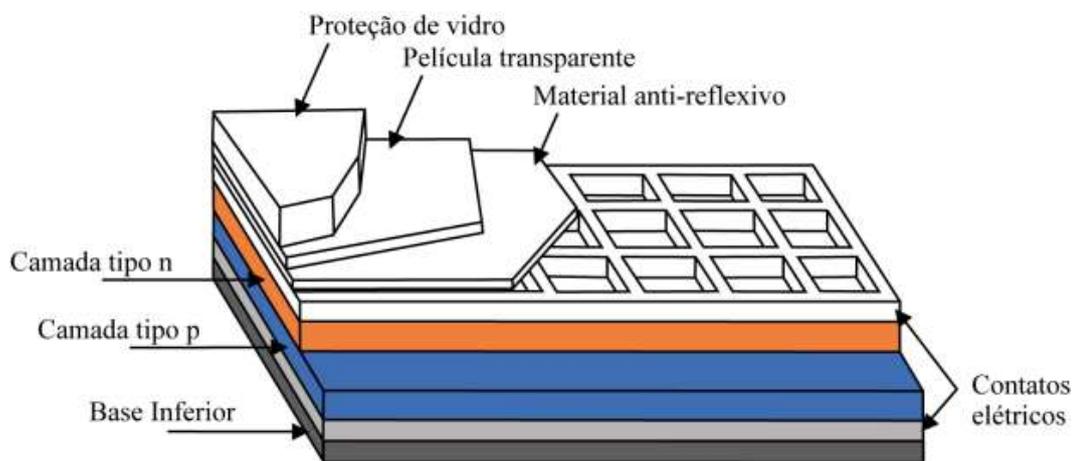
- Contatos frontais e traseiros, chamados *grid*, ou *front contacts*, e *back contacts*, respectivamente. O primeiro representa os terminais negativos, enquanto que o segundo, os positivos. Eles ligam os extremos da célula e possibilitam a passagem da corrente gerada pela incidência luminosa.
- Uma película antirreflexo, ou *antireflection coating*, que é responsável por reduzir a reflexão da radiação que incide na célula e é posicionada entre os contatos frontais e a camada tipo *n*. Sozinha ela consegue baixar os

valores refletidos de radiação para menos de 5%, quando utilizada juntamente com texturas especiais usadas para alto rendimento é possível baixar ainda mais chegando a 2% apenas das radiações refletidas. Vale salientar que a não utilização dessa tecnologia perde-se cerca de um terço da radiação por reflexão. [4]

- Duas camadas de silício dopadas com boro e fósforo, sendo tipos *p* e *n*, com 250000 nm e 300 nm de espessura, respectivamente.

Todas as camadas podem ser visualizadas na figura 6.

Figura 6: Estrutura da célula



Fonte: Blog Eletrônica de Potência (2024)

Diversos tipos de células estão disponíveis atualmente no mercado da energia solar com dimensões, tecnologias e eficiências diferentes, a serem utilizadas dependendo da sua finalidade. As células fabricadas com silício são as mais populares comercialmente, porém podemos encontrar células com telureto de cádmio (CdTe) e disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS), por exemplo, estes mais timidamente aplicados em comparação com o silício.

A eficiência energética da célula depende diretamente das tecnologias de manufatura das mesmas. Comercialmente, esse número gira em torno de 15%, mas pode chegar em alguns casos a até 30% dependendo do material utilizado e da sua manufatura [5].

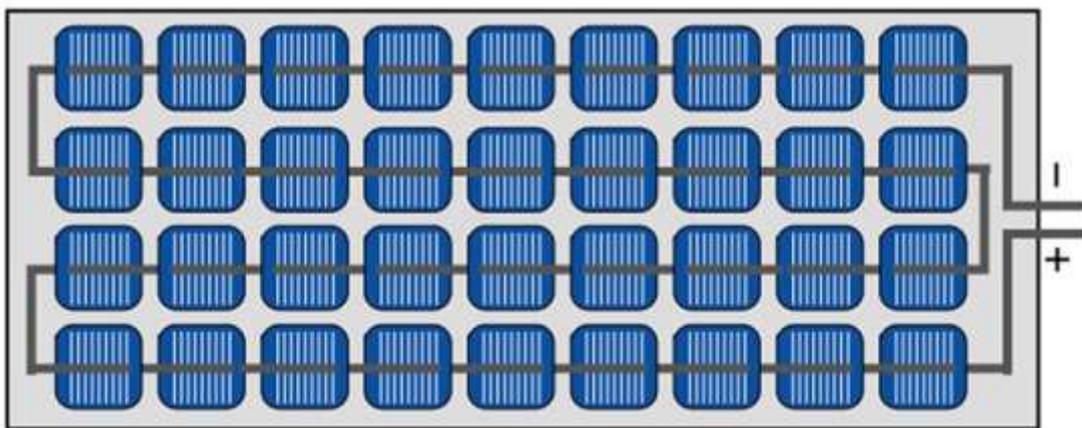
No presente trabalho, vamos nos ater a abranger apenas as tecnologias mais popularizadas comercialmente: o silício monocristalino, silício policristalino e filmes finos.

3.1.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Uma única célula sozinha não consegue chegar a níveis de tensão e corrente suficientes para consumo das cargas, por isso são conectadas várias células a fim de alcançar níveis mais adequados aos padrões dos dispositivos eletrônicos do dia-a-dia. Esse aglomerado de células formam um módulo, comumente chamados de placas ou painéis [1].

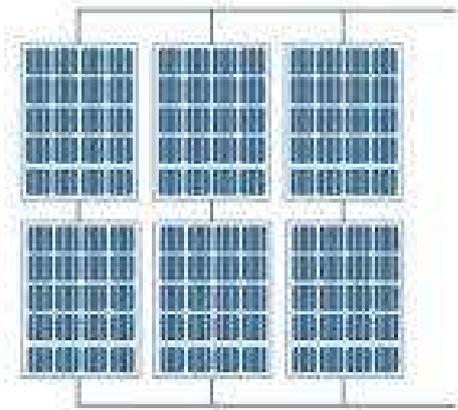
Dentro do módulo essas células podem ser posicionadas em série, como visto na figura 7, ou em paralelo, figura 8. Quando conectadas em série somamos as tensões de cada célula alcançando níveis mais altos enquanto que a corrente permanece inalterada, entretanto quando conectadas em paralelo as correntes que são somadas e a tensão aparece inalterada. Apenas em alguns casos singulares que é utilizada a configuração em paralelo, normalmente a configuração mais usada é em série [6].

Figura 7: Células fotovoltaicas em série



Fonte: E4 Energias Renováveis (2024)

Figura 8: Células fotovoltaicas em paralelo



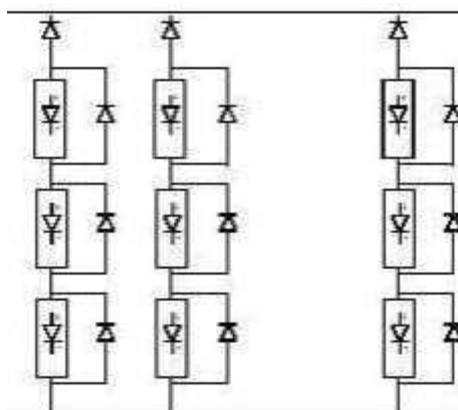
Fonte: Freepik (2024)

Dois problemas comuns de acontecerem em módulos fotovoltaicos são: o encobrimento de alguma célula do arranjo, por sujeira, defeito ou sombreamento, por exemplo; e corrente negativa fluindo através das células, o que significa que ao invés de produzir energia o módulo está recebendo. O primeiro pode comprometer os níveis de saída do módulo, já o segundo pode chegar a desconectar a célula do arranjo comprometendo todo o fluxo de energia.

Visando a prevenção destes danos que é implementado diodos de passo, *bypass*, e diodos de bloqueio, para servir de caminho alternativo para a corrente e bloquear correntes reversas, respectivamente, ilustrados na figura 9. [6].

A diferença principal entre um módulo fotovoltaico e uma fonte elétrica convencional está no fato do módulo não fornecer tensões constantes nos seus terminais de saída, esta depende a corrente que flui pelo módulo e vice-versa. Em outras palavras, a tensão e corrente fornecida pelos terminais do módulo depende diretamente da carga instalada. [1]

Figura 9: Diodo bypass e bloqueio



Fonte: DS Novo Energia (2024)

A dinâmica dessas grandezas pode ser observada na curva IxV, figuras 10 e 11, estas têm comportamento semelhante para todos os módulos e, para cada curva IxV, existe uma curva P_xV, figuras 12 e 13, que relaciona a potência fornecida em virtude da tensão. Estes gráficos nos mostram informações importantes sobre os módulos e sua eficiência, como: tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, potência máxima e tensão e corrente da potência máxima.

Essas curvas são construídas considerando que o painel está exposto a irradiação solar é de 1000 W/m² sobre uma temperatura de 25 °C, com a alteração destes parâmetros, outros gráficos são construídos com tensões, correntes e potências diferentes. Com a diminuição da irradiação solar atinge diretamente a corrente e a capacidade de geração do módulo. Já no tocante a temperatura, com seu aumento, identifica-se uma diminuição na tensão dos terminais de saída módulo, enquanto que com a diminuição da temperatura observa-se o efeito contrário aumentando a tensão dos terminais.

Figura 12: Curva IxV com variação de irradiação

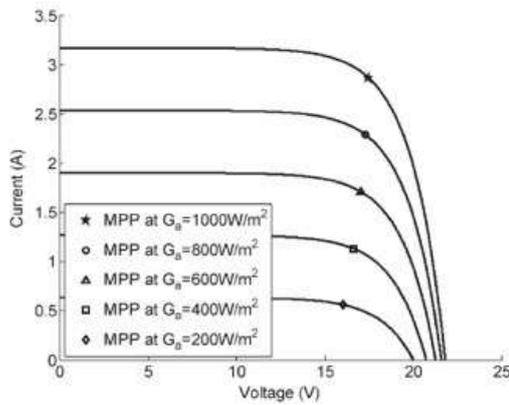
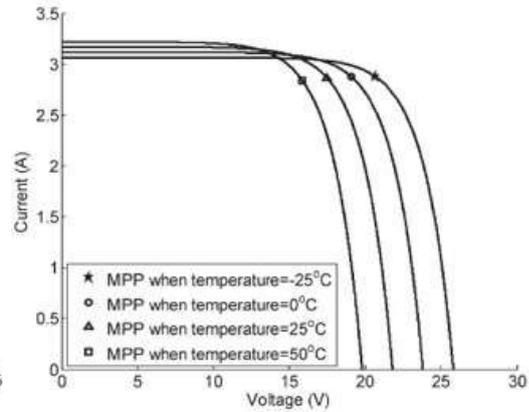


Figura 13: Curva IxV com variação de temperatura



Fonte: O Projecto (2024)

Figura 11: Curva PxV com variação de temperatura

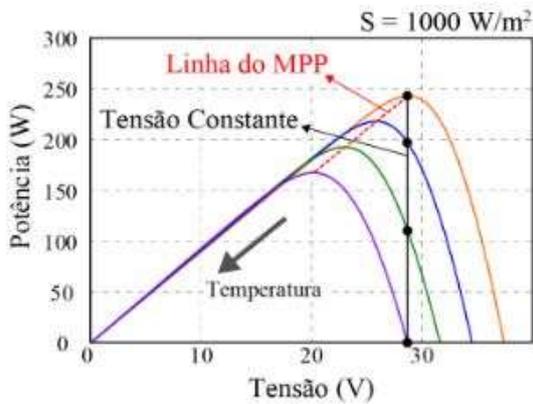
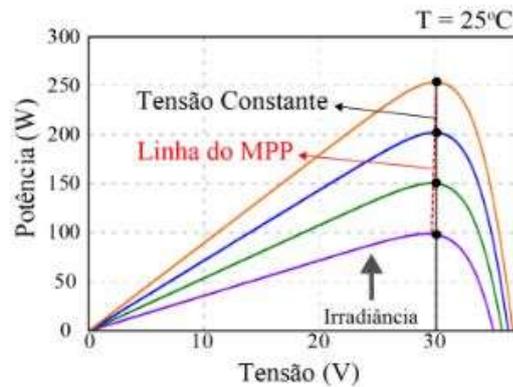


Figura 10: Curva PxV com variação de irradiação

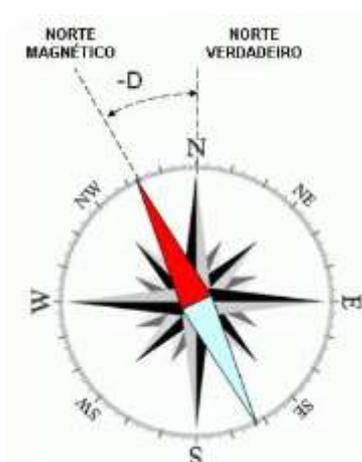


Fonte: Eletrônica de Potência (2024)/

Além da temperatura e da incidência luminosa, outro fator de grande relevância para a produção de energia é a posição do módulo. O sol nasce ao leste, se põe no oeste e ao meio-dia o encontramos próximo da metade do caminho, contudo graças a leve inclinação que a terra sofre, de aproximadamente $23,5^\circ$, em relação ao seu próprio eixo, torna essa posição variável de acordo com as estações do ano e pode o sol estar localizado mais para norte ou mais para o sul, dependendo se o observador se encontra no hemisfério sul ou norte, respectivamente, segundo [1].

Se os módulos forem posicionados para o leste, terá uma grande produção de energia na parte da manhã e baixa produção durante a tarde, o contrário se observa quando posicionamos as placas para o oeste. Assim para que alcancemos melhor níveis de produção é indicado que os painéis sejam posicionados com face virada para o norte geográfico para localidades abaixo da linha do equador. Vale salientar que o norte geográfico difere do norte magnético indicado nas bússolas, sendo necessária a correção do sentido para melhor aproveitamento da produção. A Figura 14 traz o ângulo de correção indicado para cada estado do Brasil.

Figura 14: Correção do norte geográfico



Fonte: Blog do Adenilson Giovanini (2024)

Ainda no tocante ao posicionamento das placas, novamente graças a posição da terra em relação ao seu próprio eixo, posicionar os painéis na vertical e na horizontal também não conseguimos o melhor aproveitamento possível do sistema, visto que o ideal é que os raios solares incidam perpendicularmente as placas.

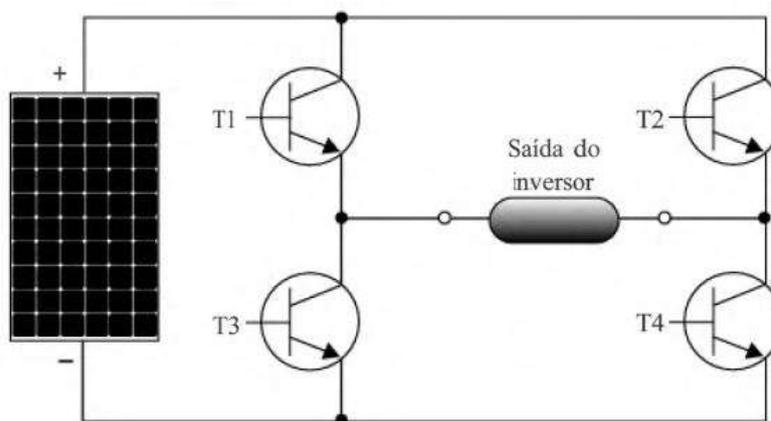
3.1.4 INVERSORES

Os módulos fotovoltaicos são construídos para fornecer energia com corrente contínua, entretanto segundo a resolução normativa da ANEEL, nº 83 de 20 de setembro de 2004, é obrigatório o fornecimento de energia elétrica em corrente alternada senoidal, por unidades individuais de geração de energia, com atenção às tensões padrões de cada região do país, sendo 110 V, para as regiões sul, sudeste e centro-oeste, e 220 V, para o nordeste e norte.

Os inversores são equipamentos elétricos específicos para realização desta conversão de CC para CA e é baseado no circuito mostrado na figura 15, constituído por 4 transistores que são chaves eletrônicas responsáveis por interromper e permitir a circulação de corrente de acordo com status de ligado ou desligado, segundo [1].

Quando os transistores 1 e 4 estão conduzindo e 2 e 3 estão desligados, significa que a tensão na saída do dispositivo é positiva, enquanto que no caso contrário em que os transistores 2 e 3 estão conduzindo o inverso acontece e os terminais de saída do inversor tem níveis de tensão negativos. Cada par de transistores são ligados e desligados alternadamente dentro de uma frequência invariável, assim a saída do sistema apresentará níveis de tensão e corrente alternadas entre valores positivos e negativos de módulo constante.

Figura 15: Circuito básico do inversor CC-CA

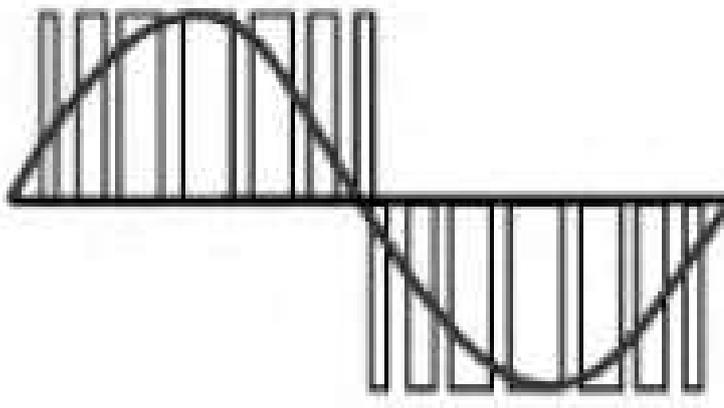


Fonte: Energia Solar fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. VILLALVA, Marcelo. 2012.

Este modo de conversão produz uma saída com formato de onda quadrada o que não é recomendada para alimentação de alguns eletrodomésticos pois tem um alto índice de distorção harmônica. O formato de onda mais indicado para a saída dos inversores e o formato de onda senoidal pura, na qual em cenário ideal, não apresenta distorção alguma.

Esta pode ser adquirida a partir de inversores com tecnologia de modulação PWM – *Pulse Width Modulation* – que ao invés de uma onda quadrada, produz várias pequenas ondas quadradas de alta frequência, incluindo a frequência fundamental de 60 Hz, que pode ser extraída a partir de filtro elétrico conectado na saída do equipamento. Essa frequência fundamental é no formato senoidal com pouca distorção harmônica, ideal para aplicação em sistemas de geração solar.

Figura 16: Saída do inversor antes do filtro de 60 Hz



Fonte: Energia Solar fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. VILLALVA, Marcelo. 2012.

Além de converter corrente contínua em alternada, o inversor tem função de rastrear o ponto de máxima potência do arranjo fotovoltaicos, de forma que otimize ao máximo a geração de energia.

Os inversores também podem ser classificados em: isolados e conectados à rede, quando compõe sistema off-grid e on-grid, respectivamente. Quando conectados à rede, o inversor deve garantir que a energia injetada na rede a concessionaria esteja em harmonia com a energia já presente na rede, assim foram estipulados parâmetros para garantir não só a qualidade da energia que entra na rede, mas também proteger o sistema contra possível irregularidades no fornecimento. Os mesmos são apresentados na tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Parâmetros do inversor

Tensão Máxima	10% maior que a tensão nominal
Tensão Mínima	20% menor que a tensão nominal
Tempo de Reconexão	> 180 segundos
Frequência Máxima	62 Hz
Frequência Mínima	57,5 Hz

3.1.5 STRING BOX

Qualquer instalação elétrica precisa seguir as orientações das normas regulamentadoras pré-estabelecidas. Para sistema fotovoltaicos, dentre as várias normas de servem de norte para projetar as usinas podemos destacar a NBR 5410 e 16690. Estas preveem que instalações fotovoltaicas devem ter: proteção contra sobrecorrente, proteção contra sobretensão, proteção contra choques elétricos, proteção contra incêndios e capacidade de seccionamento.

A string box é um quadro, instalado separadamente do quadro geral de distribuição, aonde se centraliza a proteção do sistema, na qual conecta-se os cabos que vem dos arranjos fotovoltaicos e os que vão pro inversor.

Vale salientar que nem sempre visualizamos a string box fisicamente, isso porque alguns inversores de baixa potência já detêm em seu interior componentes de proteção na entrada.

3.1.6 ATERRAMENTO

O mesmo tem objetivo de proteger as pessoas contra choques elétricos e impedir a queima e/ou danos gerais aos equipamentos elétricos na ocorrência de descargas atmosféricas ou falhas na rede. O aterramento é responsável pela conexão do equipamento ou sistema à terra.

Todas as partes que possuem materiais condutores devem ser conectados ao sistema de aterramento, trazendo equipotencialidade ao sistema, evitando assim que os componentes do sistema tornem-se acidentalmente vivos e provoquem choques elétricos e/ou falhas ao equipamento.

3.2 NORMAS REGULAMENTADORAS

Além de regularizar as instalações fotovoltaicas, as normas que garantem também a segurança das mesmas são: NBR 16690 – Instalações Elétricas e de arranjos fotovoltaicos, NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão, a Lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022, normas de distribuição emitidas por cada concessionária, para cada

modalidade de instalação a depender da sua especificidade, além da NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade e da NR 35 – Trabalho em Altura.

No caso do Estado da Paraíba, a concessionária atuante é a Energisa e as normas de distribuição são chamadas de Normas de Distribuição Unificada (NDU). Cada norma discorrerá sobre uma determinada situação, afim de estabelecer requisitos mínimos e procedimentos padrões para cada instalação existente. Para sistemas fotovoltaicos utiliza-se bastante as NDUs 001, 002 ou 013.

3.2.1 LEI 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022

Em 2012, foi publicada a resolução normativa (RN) nº 487, na qual determina as condições gerais de acesso à microgeração e minigeração distribuída, bem como instituir o sistema de compensação de energia e outras providências.

Em 2015, buscando por melhorias, a ANEEL publicou a RN nº 687 onde os conceitos de micro e minigeração foram atualizados, além do estabelecimento de novos pontos importantes.

Somente em 2022, com a Lei nº 14.300, foi instituído o marco legal a micro e minigeração distribuída, o sistema de compensação de energia elétrica (SCEE) e o programa de energia renovável social (PERS). Algumas definições do texto são:

- Microgeração distribuída: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia por meio de instalações de unidades consumidoras;
- Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração distribuída e que possua potência instalada, em corrente alternada, maior que 75 kW, menor ou igual a 5 MW para as fontes despacháveis e menor ou igual a 3 MW para as fontes não despacháveis, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras;
- Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE): sistema no qual a energia ativa é injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída na rede da distribuidora local, cedida a título de

empréstimo gratuito e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito de energia de unidades consumidoras participantes do sistema;

- Autoconsumo remoto: modalidade caracterizada por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma pessoa jurídica, incluídas matriz e filial, ou pessoa física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora;
- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: conjunto de unidades consumidoras localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sem separação por vias públicas, passagem aérea ou subterrânea ou por propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento, em que as instalações para atendimento das áreas de uso comum, por meio das quais se conecta a microgeração ou minigeração distribuída, constituam uma unidade consumidora distinta, com a utilização da energia elétrica de forma independente, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento;
- Geração compartilhada: modalidade caracterizada pela reunião de consumidores, por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação civil, instituída para esse fim, composta por pessoas físicas ou jurídicas que possuam unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora.

3.2.2 ABNT NBR 5410:2004

Elaborada a partir da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 5410, estabelece critérios mínimos a serem seguidos em instalações elétricas de edificações de qualquer uso, incluindo as pré-fabricadas, com fornecimento de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o adequado funcionamento da instalação e a conservação dos bens. (ABNT, 2004)

3.2.3 ABNT NBR 16690:2019

Também elaborada a partir da ABNT, a NBR 16690 estabelece os requisitos mínimos para projetos de instalação elétricas de arranjos fotovoltaicos, especificando os critérios de segurança que surgem das características particulares dos sistemas fotovoltaicos, limitando-se a aplicações com arranjos fotovoltaicos com potência superior a 100 Wp e tensão entre 35 e 1500 Vcc, em condições padrões de teste. (ABNT, 2019)

3.2.4 ABNT NR 10:2004

Esta estabelece requisitos e condições mínimas objetivando implementar medidas de controle e sistemas de prevenção aos acidentes, aplicando-se em qualquer uma das fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, desde o projeto até a operação e manutenção das instalações elétricas ou em quaisquer trabalhos realizados nas proximidades, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que interagem com instalações e serviços com eletricidade, seja direta ou indiretamente. (ABNT, 2004)

3.2.5 ABNT NR 35:2022

A norma estabelece os requisitos mínimos e as medidas de prevenção a acidentes para toda atividade com diferença de 2 metros, no mínimo, no nível inferior, onde haja risco de queda, envolvendo desde a parte de planejamento, passando pela organização até a execução da atividade, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com a atividade. (ABNT, 2022)

3.2.6 ENERGISA NDU 001:2023

Esta norma fixa os critérios mínimos a serem seguidos em projetos e execução das instalações de entradas de serviço das unidades consumidoras de baixa tensão em toda área de concessão da Energisa, quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW, conforme legislação em vigor.

Esta norma se aplica a instalações individuais ou coletivas de até 3 unidades consumidoras urbanas ou rurais, classificadas como residenciais, comerciais, rurais, poderes públicos ou industriais, a serem ligadas na rede de distribuição secundária, obedecida as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas técnicas) e as resoluções da ANEEL. (ENERGISA, 2023)

3.2.7 ENERGISA NDU 002:2019

Está é a norma técnica que discorre sobre os requisitos mínimos e as diretrizes necessárias tanto para o projeto quanto para execução das instalações de entrada de serviço de serviço das unidades consumidores de média tensão, na rede da Energisa, quando a carga consumidora for superior a 75 kW, com demanda máxima de 2,5 MW, nas tensões nominais padronizadas conforme legislação em vigor. Estabelecendo padrões e procedimentos, critérios técnicos e operacionais, levando em consideração as exigências técnicas e de segurança recomendadas pela ABNT, bem como as Resoluções Normativas da ANEEL. (ENERGISA, 2019)

3.2.8 ENERGISA NDU 013:2023

Nesta aborda-se os critérios mínimos e procedimentos técnicos necessários para geração distribuída em consumidores de baixa tensão conectados ao *grid*, em conformidade as legislações vigentes. (ENERGISA, 2023)

Para homologação de um projeto de geração distribuída é imprescindível que obedeça as orientações apontadas nesta norma. Só é possível a execução do projeto após envio e aprovação do mesmo pela Energisa.

Obtida a aprovação e finalizada a execução da instalação, entra-se com pedido de vistoria à concessionária, a qual envia uma equipe técnica ao local para inspeção da instalação. O sistema precisa seguir as especificações do projeto aprovado previamente para obter êxito na vistoria, o que gera a troca do medidor unidirecional para um bidirecional, que possibilita contabilizar tanto a energia que é consumida pela instalação, quanto a que é injetada na rede de distribuição da Energisa; do contrário o projeto é reprovado e deve ser solicitada nova vistoria após tendo sido feitos os ajustes necessários.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão descritas as principais atividades desenvolvidas pelo estagiário, que foram: acompanhamento de adequação de padrão de entrada, preenchimento de documentação para homologação de projeto de geração solar distribuída e visita técnica com diagnostico de manutenção.

4.1 ADEQUAÇÃO DE PADRÃO DE ENTRADA

Um dos projetos acompanhados pelo estagiário foi de uma adequação de padrão de entrada devido a uma ampliação do sistema fotovoltaico instalado na unidade consumidora por um cliente comercial situado no Distrito Industrial de João Pessoa/PB. Na figura 17 podemos identifica-lo pelo poste duplo T com o ramal de entrada e o medidor de metal no muro.

Figura 17: Padrão de entrada do cliente



Fonte: Autoria própria.

O cliente detinha instalado um sistema fotovoltaico de 35,6 kWp estava passando por uma ampliação que, ao concluída, totalizaria 46,8 kWp, tendo assim a necessidade de adequar o seu padrão de entrada da categoria T3 para um T4, conforme as especificações orientadas na NDU 001 da Energisa Paraíba.

Além disso, o cliente chegou até a empresa após o mesmo ter rescindido o acordo feito com outro fornecedor, dessa forma, o estagiário acompanhou remotamente a visita dos técnicos ao local para verificar a situação atual do padrão de entrada com o objetivo de saber quais mudanças ainda precisavam ser feitas.

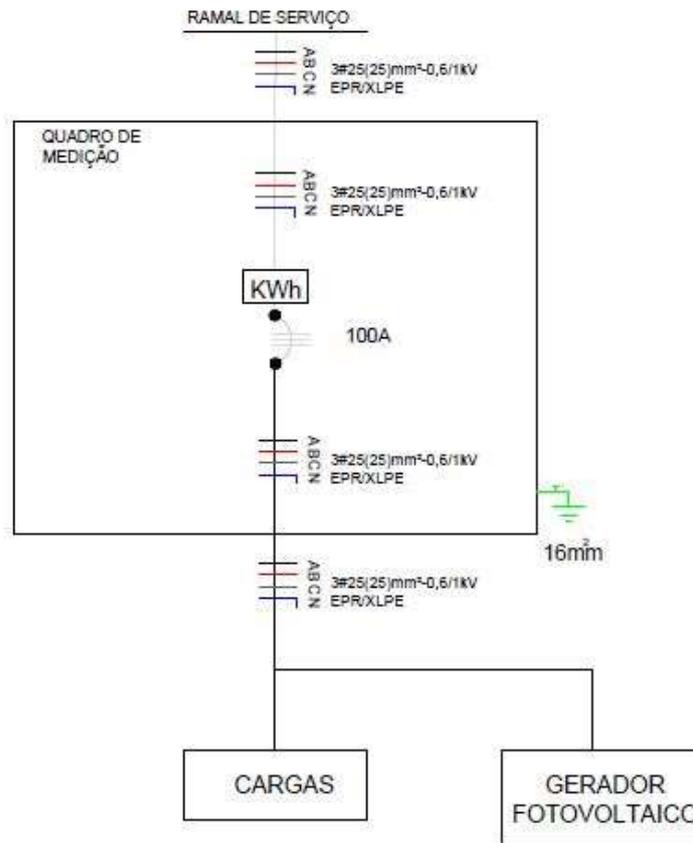
Com visita concluída, foram identificadas quatro pendências:

- O disjuntor consistia em um trifásico, Curva C, de 70 A, enquanto precisava ser de 100 A;
- O aterramento da medição continha apenas uma haste de aço cobreada de 16×2400 mm, enquanto necessitava-se de três;
- O eletroduto de entrada de PVC rígido era de 40 mm de espessura, enquanto a necessidade fosse de pelo menos 50 mm;
- E a caixa de medição de metal precisava ser trocada por uma polifásica de policarboneto.

Todos os outros critérios abordados na NDU 001, como condutores de fases, neutro e terra, poste, mureta, bem como materiais de estrutura, especificados para a categoria T4 para consumidores de 380/220 V, já haviam sido atendidos.

Após o levantamento feito, foi preenchido o memorial técnico descritivo e submetido à aprovação da Energisa e posteriormente a vistoria para ligação, enquanto que paralelamente a equipe realizava as alterações necessárias no local para garantir a aprovação da vistoria e concluir o serviço. Na figura 18 podemos observar o diagrama unifilar do padrão de entrada homologado na concessionária.

Figura 18: Diagrama do unifilar do padrão de entrada



Fonte: Arquivos da empresa.

4.2 PREENCHIMENTO DE DOCUMENTAÇÃO HOMOLOGATÓRIA

A principal atividade exercida pelo estagiário foi o de preenchimento de documentação necessária para homologação de projetos mediante a distribuidora. A parte de desenho do layout ficava por parte do engenheiro supervisor, as atividades de responsabilidade do estagiário consistem na busca e preenchimento dos seguintes documentos:

- Termo de Responsabilidade Técnica – TRT, através do site do Conselho Regional de Engenharia – CREA;
- Formulário de solicitação de acesso, fornecido pela concessionária. Nele são colocados os dados da UC, além de dados acerca da geração, como potência e tipo de fonte;

- Memorial técnico, também disponibilizado pela concessionária. Nele encontra-se também os principais dados da UC juntamente com os dados de dimensionamento do padrão de entrada com especificações completas dos materiais, dados de aterramento e dimensionamento dos disjuntores. Além disso, é incluído: informações das placas, informações do inversor utilizado, informações dos equipamentos de proteção e os ajustes inerentes dos equipamentos;
- Datasheets e certificados dos módulos e inversores utilizados na instalação, necessários para a submissão do projeto. Uma informação importante é que para inversores com potência inferior a 10 kW devem possuir certificados junto ao INMETRO, enquanto que os superiores a 10 kW devem possuir certificados de acordo com as normas brasileiras (ABNT NBR 16149, 16150 e 62116), europeias (IEC 61727:2004-12, IEC 62116:2014) ou americana (IEEE 1547).

Os documentos elaborados são enviados para o engenheiro responsável, o qual analisa e indica o que precisa ser melhorado. Caso haja mudanças a serem corrigidas, os documentos são reenviados ao estagiário para executar a correção. Ao finalizar o preenchimento e correção dos possíveis erros, o compilado é reenviado ao engenheiro que anexa os layouts do projeto e o mesmo é submetido à aprovação da concessionária.

Durante o período de estágio o graduando teve oportunidade de acompanhar o desenvolvimento de 16 projetos, nos quais sua grande maioria no estado da Paraíba. A tabela 2 é construída com uma breve descrição dos projetos, enfatizando a potência instalada e os equipamentos utilizados.

Tabela 2: Homologações acompanhadas

	Potência (kWp)	Inversor	Módulo
1	41,80	2 × Kehua SPI15K-B	76× SIRIUS RS6-550X-E3
2	14,7	Kehua SPI20K-B	27× SIRIUS HD144P-545
3	5,5	3× Deye MI SUN2000G3-US-220	10× SIRIUS HD144P-550
4	18,7	Kehua SPI15K-B	34× CANADIAN CS6W-550MS
5	105,84	Solaredge SE75K	196× JASOLAR JAM72D30-540/MB
6	539,55	5× Deye SUN-75K-G; 1× Kehua SPI50K-B	990× SIRIUS HD144P-545
7	4,48	Growatt MIN5000TL-X	8× SUNOVA SS-560-72MDH
8	8,4	Growatt MIN6000TL-X	16× BYD MLTK-36 525
9	32,7	Solaredge SE27.6K	60× SIRIUS HD144P-545
10	31,61	Solaredge SE20.1K	58× SIRIUS HD144P-545
11	8,88	Growatt MIN6000TL-X	16× RENESOLA RS6-555MG-E3
12	9,99	Growatt MIN8000TL-X	18× RENESOLA RS6-555MG-E3
13	11,9	Growatt MIN10000TL-X	21× ASTRONERGY CHSM72N(DG)/F-HC 565
14	11,0	Solaredge SE8250H	20× SUNOVA SS-550-72MDH
15	6,6	3× Deye MI SUN2000G3-US-220	12× CANADIAN CS6W-550MS
16	52,0	Growatt MID 36KTL3-X	93× RENESOLA RS6-560N-E3

A seguir uma breve descrição de cada projeto acompanhado pelo estagiário, dividido pelo mês em que eles foram executados.

No mês de maio de 2023, foram submetidos para aprovação da Energisa os projetos 1 e 2, todos na cidade de João Pessoa-PB, todos consumidores comerciais com fornecimento trifásico. Todos foram aprovados sem necessidade de revistoria e estão operação desde então.

No mês de junho de 2023, foi dada entrada nos projetos 3,4 e 5:

- No projeto 3 é uma unidade consumidora residencial monofásico, localizada em João Pessoa-PB e utilizou a tecnologia de micro inversores que possibilitam o monitoramento da geração a nível modular;

- Os projetos 4 é uma unidade consumidora comercial trifásica, situadas em Cabedelo-PB;
- O projeto 5 também é de uma unidade consumidora comercial trifásica, situada em Cabedelo-PB, porém diferentemente dos outros projetos até então, neste foram utilizados otimizadores de potência que apesar de conectados a um inversor string, também permite monitoramento da geração do sistema a nível modular.

Novamente os projetos foram aprovados pela Energisa sem necessidade de revistoria e desde então se encontram em operação.

No mês seguinte, de julho de 2023, foram submetidos os projetos 6, 7 e 8:

- O projeto 6 foi o maior submetido pelo estagiário e foi instalado em uma unidade consumidora comercial trifásica localizada em Queimadas-PB;
- Os projetos 7 e 8 são de unidades consumidoras residenciais monofásicas, ambos localizados na cidade de Alagoinhas-BA.

O projeto 6 foi vistoriado e aprovado sem ressalvas pela Energisa, enquanto que os projetos 7 e 8 foram aprovados pela Coelba, atualmente administrada pelo grupo Neoenergia.

Já o mês de agosto do mesmo ano, ficou marcado com o maior número de submissões durante o período de estágio, no total foram 4 projetos: os de número 9, 10, 11 e 12:

- Os projetos 9 e 10 consistem de usinas de solo vizinhas, localizadas na cidade de Aliança-PE. Para ambas houve a necessidade de projeto de padrão de entrada, construção de abrigo para os inversores e murar os terrenos, além de dar entrada nas solicitações de ligação nova junto a Celpe, administrada pelo grupo Neoenergia. Nestas também foram utilizados otimizadores de potência;
- O projeto 11 diz respeito a uma unidade consumidora residencial monofásica, localizada em Arara, interior da Paraíba;
- O projeto 12 também é de uma unidade consumidora residencial monofásica, porém localizada na cidade de João Pessoa-PB.

Novamente todos os projetos foram aprovados sem maiores surpresas pelas suas respectivas concessionárias, os dois primeiros pela Celpe, enquanto que os dois últimos pela Energisa.

Os meses seguintes de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2023, foram submetidos um projeto por mês, respectivamente os projetos 13, 14, 15 e 16.

- O projeto 13 é de uma unidade consumidora residencial monofásica, situada na cidade de Itaporanga da Ajuda-SE. O mesmo foi submetido a Energisa que administra a rede de distribuição do estado;
- O projeto 14 é de uma unidade consumidora comercial monofásica, situada em João Pessoa, PB;
- O projeto 15 é de uma unidade consumidora residencial monofásica, também situada em João Pessoa-PB;
- Por fim, o projeto 16 é de uma unidade consumidora comercial trifásica, localizada na cidade de Natal-RN e a submissão para aprovação foi feita para a Cosern, também administrada pela Neoenergia.

É importante enfatizar que as atribuições incumbidas ao estágio limitam-se ao preenchimento dos documentos, não tendo qualquer participação no desenho do layout, do diagrama unifilar, ou no dimensionamento dos condutores e disjuntores do sistema de proteção das usinas.

4.3 VISITA TÉCNICA

Em um dado momento, um cliente solicitou que a empresa atuasse na manutenção do sistema instalado por outra integradora, alegando que o sistema estava inoperante.

Dessa forma, foi solicitado que o estagiário acompanhasse os técnicos na visita a fim de obter um diagnóstico mais detalhado.

Chegando ao local, foi observado que o inversor utilizado era da marca Growatt, modelo MIN 6000L-X, conectado a 22 módulos da marca BYD, modelo 335PHK-36. O inversor emitia um sinal luminoso vermelho constante no painel do equipamento, que segundo o manual do equipamento significa falha no sistema.

A primeira ação foi verificar as tensões de entrada no painel do inversor, o qual mostravam todas as tensões em 0 V, concluímos então que o inversor estava inoperante devido a atuação do sistema de proteção interno do equipamento no qual inibe a geração de energia na falta de alimentação CA, chamamos essa proteção de anti-ilhamento e serve para evitar que o inversor injete energia na rede na presença de uma falta, o que pode

agravar os danos no sistema, ou durante manutenção, prevenindo assim acidentes de trabalho.

Uma vez que o equipamento apresentava falta de geração a mais de um mês, ficou nítido que a falha estava entre a conexão com o padrão de entrada e a alimentação do inversor. Assim decidimos medir a tensão de cada trecho até o disjuntor do medidor em busca da falha.

Ao medir as tensões de saída do disjuntor do sistema fotovoltaico foi observado que os níveis de tensão estavam normais, entre 218 e 223 V. Concluímos então que a falha se encontrava nos condutores entre o inversor e o disjuntor da instalação.

Ao retirar os condutores foi visto que o cabo se encontrava com muita emenda feita entre cabos com seções diferente variando entre 2,5 e 4 mm², além disso, foi identificado que um trecho do cabo de 2,5 mm² havia carbonizado indicando que em algum momento o condutor foi sobrecarregado além da sua capacidade de condução e pegou fogo. Assim iniciou-se a análise em busca da causa da deterioração do condutor.

A priori foi levantado duas hipóteses: a primeira, do cabo utilizado não suportar a demanda de corrente do inversor e a segunda, do sistema não respeitar aos critérios de proteção dos condutores.

Um dos critérios para dimensionamento de condutores diz que as correntes que sofrem uma correção no seu nível devido a temperatura, infraestrutura utilizada para passagem dos mesmos e número de condutores agrupados.

$$Ib' = \frac{Ib}{k1 \times k2 \times k3} \quad (1)$$

Ib' representa a corrente corrigida, Ib representa a corrente do circuito, k1, k2 e k3 representam os fatores de correções representados respectivamente nas tabelas 40, 41 e 42 da ABNT NBR 5410:2004, para a temperatura no local, infraestrutura utilizada e número de condutores energizados, respectivamente.

A infraestrutura utilizada para passagem dos cabos consiste em eletrodutos de seção circular embutidos em alvenaria, sendo categorizado com B1, segundo Tabela 33 da ABNT NBR 5410:2004, considera-se uma temperatura interna de 35° C no interior da tubulação e os isolamentos dos cabos cobrados de XLPE.

Segundo a tabela 37 da ABNT NBR 5410:2004, três pernas de cabos cobreados de 2,5 mm² agrupados nas condições indicadas no parágrafo anterior suportam até 28 A cada, levemente maior do que corrente nominal do circuito observada no datasheet do

inversor de 27,2 A, contudo após aplicação dos fatores de correção a corrente corrigida do circuito chega a 43,58 A, muito superior a suportada pelo cabo.

Assim confirmamos a primeira hipótese, restando analisar a segunda.

Para dimensionar os disjuntores é necessário atender a 2 critérios: o primeiro diz que a corrente do circuito deve ser menor ou igual a corrente nominal do disjuntor e está deve ser menor igual que a corrente máxima suportada pelo cabo, como representado na equação a seguir:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (2)$$

I_b representa a corrente do circuito, I_n representa a corrente nominal do disjuntor, enquanto que I_z representa a capacidade máxima de condução de corrente.

O segundo critério diz que para disjuntores da categoria C (utilizado na instalação) a máxima corrente suportada pelo condutor deve ser maior ou igual a 145% da corrente nominal do disjuntor quando não tivermos controle de temperatura:

$$1,45 \times I_n \leq I_z \quad (3)$$

Tendo em vista que o disjuntor utilizado na instalação consistia em um dispositivo de 32 A e este é o menor comumente vendido, superior a corrente do circuito, concluímos que o motivo da falha está na utilização de cabo com a bitola muito fina com capacidade de condução inferior a necessária para atender aos critérios de proteção.

Identificada as causas da falha, foi feita a substituição dos condutores entre o disjuntor da instalação e o inversor para cabos sem emenda e com bitola de 6 mm² que segundo a tabela 37 da ABNT NBR 5410:2004 suporta até 48 A de corrente, respeitando assim tanto aos critérios anteriormente abordados.

Concluído o diagnóstico e a correção da falha deu-se por encerrada a visita técnica.

4.4 MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO

4.4.1 MONITORAMENTO

A S4 Mais Solar garante aos seus clientes um ano de monitoramento de geração grátis no ato do fechamento do contrato de instalação. Para cumprir essa tarefa, inicia-se cadastrando a usina do cliente na plataforma de monitoramento online que varia de acordo

com a marca do inversor utilizado na instalação, cada marca tem sua plataforma de monitoramento compatível. A tabela 3 detalha a plataforma de monitoramento vinculada a cada marca utilizada.

Tabela 3: Plataformas de monitoramento de cada fabricante

Fabricante	Plataforma Online
Deye	Solarman Business
Growatt	Growatt OSS Management System
Kehua	Kehua Tech Energy Cloud
Solaredge	Solaredge Monitoring
Sungrow	iSolarCloud

Os dados de geração são coletados por dispositivos chamados dataloggers, que basicamente atuam como um modem que conectam o inversor a rede Wi-fi e conseqüentemente registrando a geração da usina nas plataformas.

Durante o período de estágio, o graduando monitorou 101 usinas fotovoltaicas de miro e mini geração distribuída, nas quais juntas totalizam cerca de 3,57 MWp instalado em 5 estados diferentes do nordeste brasileiro: Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e Bahia.

Cada aplicativo de monitoramento conta com design diferente, mas todos têm basicamente o mesmo funcionamento. Após efetuado o login, o usuário consegue visualizar uma lista com todas as usinas vinculadas com algumas informações básicas como nome da usina, geração diária, potência instalada, entre outros.

Quando os apps identificam uma anomalia na usina, eles emitem uma alerta ao usuário junto com um código de erro, este varia de acordo com cada equipamento por isso é importante que tenha o manual do equipamento sempre em mãos, quando não, é possível consegui-lo entrando em contato direto com o suporte online do equipamento.

Alguns equipamentos são programados pra emitirem alertas e códigos mais detalhados que outros, devido a isso, muitas vezes e necessário que a usina passe por uma inspeção. Esta consiste basicamente em analisar:

- Geração diária;
- Tensão de entrada e corrente de saída CA
- Tensão e corrente de saída das strings CC;

- Temperatura do local;
- Temperatura do equipamento;
- Nível do sinal Wi-Fi de comunicação;

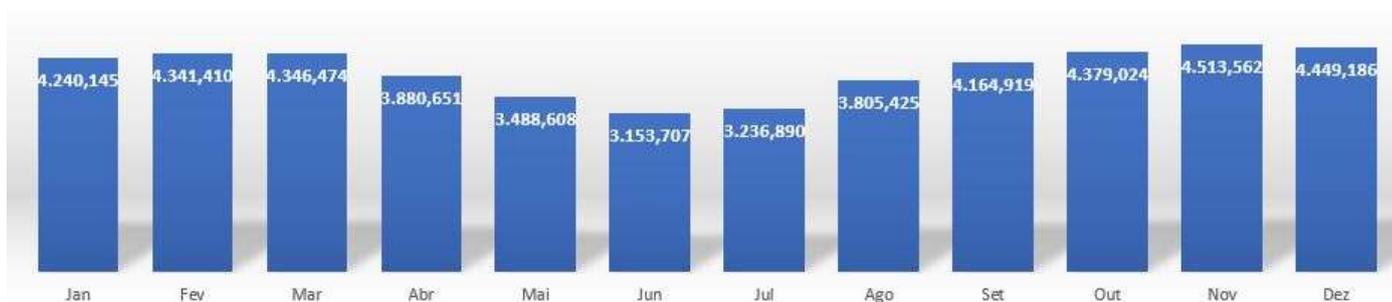
Neste momento é importante que tenhamos o projeto da usina em questão, o layout da instalação e o datasheet dos equipamentos para que consigamos estipular valores de referência. Identificada a anomalia, é emitida uma ordem de manutenção e os técnicos vão até o local realizar a correção.

A título de exemplo, podemos destacar um caso em específico ocorrido nos durante o período de estágio.

O cliente proprietário de um sistema de 29,7 kWp instalado sob telhado de cerâmico na cidade de João Pessoa-PB. O equipamento utilizado é um inversor da marca Kehua, modelo SPI20K-B e as placas são da marca Sirius, modelo HD144P-550, os datasheets do equipamento estão em anexo.

O sistema foi vendido por uma empresa terceira estimando uma geração de 4 MWh em média mensalmente, seguindo a distribuição anual indicada na figura 192, contudo analisando o aplicativo de monitoramento do equipamento, foi identificado que nos meses de outubro e novembro de 2023, o sistema entregou respectivamente, 3,18 e 3,49 MWh, abaixo do esperado. Assim, foi solicitado a estagiário que analisasse.

Figura 19: Estimativa de geração



Fonte: Arquivo do cliente

Uma característica do aplicativo de monitoramento da Kehua é que os alarmes são emitidos enquanto o erro é identificado e não há no app nenhum registro desses alarmes. Dessa forma, o primeiro passo foi solicitar ao suporte técnico da Kehua o histórico de alertas da usina nos últimos meses e, de posse do documento, analisar se houve ocorrência de alarmes.

No histórico foi identificado 212 alarmes do erro *load reduction alarm*, ou alarme de redução de carga, de setembro até a data da análise no meio de dezembro, com 108 e 79 ocorrências exatamente, nos meses de outubro e novembro, respectivamente, com 66% dessas ocorrências acontecendo entre 10 e 13 horas e duração média de 1 minuto e 32 segundos.

Este alarme é emitido quando o inversor reduz a geração devido entrada de tensão CC acima da nominal, fazendo assim o controle da geração de forma a não comprometer o equipamento, entretanto tal ação obviamente compromete a geração de energia do sistema.

Observando o *datasheet* do inversor, verificou-se que a tensão máxima de entrada CC é de 1000 V, a faixa de operação é entre 180 e 850 V e a tensão nominal, 600 V. O que significa que o equipamento não suporta tensões superiores a 1000 V, que em condições normais o inversor opera com tensões entre 180 e 850 V e terá seu melhor rendimento com tensões próximas a 600 V. O sistema foi instalado com 3 strings de 18 módulos ligados em série, dessa forma, a tensão de entrada em cada PV é semelhante e é calculada multiplicando a tensão de saída do módulo pela quantidade de módulos conectados em série.

$$V_{in,inversor} = V_{out,módulo} \times Qntd_{módulo} \quad (4)$$

V_{in} representa a tensão de entrada no inversor, V_{out} representa a tensão de saída do módulo enquanto de $Qntd$ representa o número de módulos conectados em série. Dessa forma, temos que a tensão produzida pelos módulos chega a 901,8 V.

Apesar de estar abaixo da tensão máxima permitida, está acima faixa de operação especificada pelo equipamento, além de estar 50,3% acima da tensão nominal. Quanto maior a diferença entre a tensão nominal e a tensão de operação maior é a redução de carga do inversor.

Como o inversor continha uma PV vazia, a solução encontrada foi a de redistribuição dos módulos, passando de 3 strings de 18 módulos para 4 strings, duas com 13 módulos e duas com 14 módulos. As strings com 13 módulos totalizariam 650,3 V, enquanto que as strings com 14 módulos totalizariam 700,4 V, ficando dentro da faixa de operação estipulada pelo fabricante do inversor e apenas 8,3% e 16,7 3% acima da tensão nominal.

Concluída a análise e diagnóstico do problema, o passo seguinte consiste em confirmar a possibilidade da reestruturação a ser executada no cliente. Foi visto que a unidade consumidora detém 3 águas de telhado, duas menores na frente e atrás da casa e outra maior entre as duas. Como os módulos da mesma string precisam estar na mesma direção, foi necessário que uma das águas comportasse 2 strings, que por serem menores optou-se pelas duas de 13 módulos, totalizando 26 módulos, enquanto que as águas restantes ficam cada uma com uma das strings de 14 módulos.

Após as medições do telhado e confirmação da possibilidade do layout planejado pela equipe técnica, entra-se em contato com o cliente através do secretariado da empresa para compartilhar a análise feita, explicar a necessidade de readequação do sistema e planejar a data da execução.

Com a data marcada para o final de janeiro após férias coletivas do cliente e a da empresa integradora, foi enviado uma equipe ao local e readequado o sistema conforme planejado, entretanto não foi possível verificar a melhoria da geração após execução do serviço tendo em vista que o contrato de estágio foi rescindido.

4.4.2 MANUTENÇÃO

A fim de garantir a geração estimada no ato do fechamento do contrato a empresa aplica 3 tipos de manutenção: preventiva, preditiva e corretiva.

A manutenção preventiva foi feita de forma ordinária a cada 6 meses, contando a partir da conclusão da instalação e consiste basicamente em 3 tarefas:

- Limpeza dos painéis – feita com água não pressurizada, esfregão de sedas macias, com cabo extensor de até 7,5m, e sabão líquido neutro (no caso de sujeiras mais resistentes);
- Higienização do inversor – feito a seco com pincel de cerdas macias e pano. Basicamente, a consiste em retirar a poeira que entra pela ventoinha do equipamento, utilizada para controle de temperatura, e da carcaça, que protege o circuito interno;
- Inspeção dos componentes elétricos e mecânicos – consiste na verificação visual das condições dos condutores; verificação e reaperto das conexões nos DPS, disjuntores e inversores; e utilização de spray limpa contato principalmente nos conectores MC4 dos arranjos fotovoltaicos.

A manutenção preditiva é feita a partir do monitoramento da geração das usinas para possibilidade de eventuais quedas de desempenho, além da inspeção visual feita diariamente, pelo cliente após orientação prévia feita pela empresa, e semestralmente, nas visitas ordinárias marcadas para manutenção preventiva, nas strings boxes, inversores e painéis, a fim de detectar indícios de danos, arranhões, manchas ou rachaduras.

Com a identificação de uma falha ou defeito em algum dos componentes da instalação, na queda substancial ou interrupção do funcionamento da usina é aplicada manutenção corretiva que consiste na troca do equipamento, reparo do problema ou acionamento da garantia do componente quando cabível.

No período de estágio, foi elaborada uma planilha online para verificação das usinas que necessitavam de manutenção preventiva. Nesta planilha era destacada algumas informações:

- Identificação e contato do proprietário;
- Localização completa da usina;
- Data de conclusão da instalação;
- Capacidade instalada de potência;
- Identificação de modelo e quantidade de módulos e inversores;
- Condições de acesso e tipo de telhado.

Preenchida as informações de todas as usinas monitoradas pela empresa, o primeiro passo foi identificar as usinas instaladas a mais de 6 meses através da inserção de filtros, funcionalidade disponível no próprio programa utilizado.

Em seguida as usinas foram separadas pelo número de equipamentos, potência instalada e condições de acesso. Usinas com mais de 30kWp instalado e/ou instaladas em galpão foram colocadas para o fim da fila de atendimento por exigirem maiores cuidados com a segurança dos instaladores além de mais tempo para concluir a manutenção. A prioridade foi dada para usinas com potência menor que 30 kWp e/ou instaladas em telhado de cerâmica devido a menor complexidade de manutenção e baixo risco de acidentes.

O terceiro passo foi estipular as rotas dos instaladores para a execução das manutenções, afim de utilizar de forma mais eficientes os recursos da empresa e atender o maior número de clientes em menos tempo, sem comprometer a qualidade do serviço. Podemos destacar algumas rotas:

- Litoral Norte - abrangendo as cidades de Lucena, Cabedelo e alguns bairros de João Pessoa, como Bessa, Intermares, Aeroclube e Manáira;
- Centro de João Pessoa – contemplando bairro dos Ipês, bairro dos Estados, Torre, Centro e Cruz das Armas, além das cidades de Bayeux e Santa Rita;
- Região Sul de João Pessoa – que inclui os bairros dos Bancários, Mangabeiras, Distrito Industrial, Geisel, Gramame e Valentina;
- Litoral Sul – contemplando os municípios do Conde e Jacumã;
- Bananeiras e região – atendendo as cidades de Sapé, Mari, Guarabira, Bananeiras e Arara;
- Campina Grande e região – que abrange Ingá, Galante, Campina Grande e Queimadas;
- Junco do Seridó – que atende também Taperoá e Santa Luzia;
- Pernambuco – que inclui Alhandra, Caaporã, Aliança, Carpina, Timbaúba, Abreu e Lima e Recife;
- Rio Grande do Norte – atendendo São José do Mipibu, Parnamirim e Natal;

As rotas são compartilhadas com o secretariado da empresa na qual realiza o contato com o cliente informando data planejada para execução e solicitando confirmação. Para as rotas mais próximas de João Pessoa o critério para execução da rota era menos rigoroso devido a maior facilidade de acesso, entretanto para rotas com destinos mais distantes era necessário um consenso entre os clientes atendidos pela rota, devido ao custo de atendimento ser maior, impossibilitando o envio dos técnicos para execução de apenas um atendimento.

Vale salientar que a atuação do estagiário se limitava ao planejamento do atendimento, orientação dos técnicos para realização das manutenções e emissão da ordem de manutenção, não tendo a oportunidade de acompanhar presencialmente.

No total, o graduando planejou e emitiu 41 ordens de manutenção, nas quais 33 foram resolvidas com sucesso, contra 8 insucessos justificados por chuvas e ventos fortes na hora e local do atendimento, desmarque de última hora por iniciativa do cliente e extrapolação de jornada diária de trabalhos dos técnicos e instaladores.

Do total, 27 ordens foram emitidas para manutenção preventiva ordinária de limpeza e inspeção; 12 ordens para cumprimento de manutenção corretiva nos

componentes do sistema, identificada a partir do monitoramento ou por solicitação do cliente; e 2 ordens para manutenção corretiva da vedação aplicada a estrutura de fixação.

5 CONCLUSÃO

O período de estágio é fundamental no processo de graduação, nele é onde cruzamos os conhecimentos teóricos e laboratoriais adquiridos durante o curso com a realidade prática da profissão, além de assegurar o desenvolvimento de habilidades indispensáveis para atuação no mercado.

Para a execução do estágio foi imprescindível a compreensão de certas disciplinas experienciadas durante a graduação, são elas: Circuitos Elétricos 1 e 2, instalações elétricas, sistemas elétricos, geração de energia, gerenciamento de energia, proteção de sistemas elétricos, materiais elétricos, entre outras.

As atividades no estágio proporcionaram uma vivência concreta do cotidiano do engenheiro eletricista, permitindo que o graduando desenvolvesse habilidades essenciais para execução da profissão, dentre elas podemos destacar o planejamento de implementação de usinas, homologação de projetos juntos a concessionária, gestão de equipe de campo, parametrização de equipamentos e metodologia ágil de análise e diagnóstico de usinas, além de construir contato com setores importantes de uma empresa, como jurídico, contábil, comercial e com fornecedores de equipamentos.

Percebeu-se que a geração distribuída fotovoltaica é bastante promissora e o mercado se encontra em ascensão, devido ao baixo payback e a extenso período de garantia dos equipamentos em comparação com outros investimentos, o que aumenta a lucratividade e reduz os riscos.

Em síntese, é possível concluir que o estágio na S4 Mais Solar cumpriu o seu real objetivo de contribuir substancialmente para a inserção do graduando no mercado de trabalho, como engenheiro eletricista, bem como no desenvolvimento de soft skills importantes, como trabalho em equipe, resiliência, gestão de projetos e contato com fornecedores e clientes.

REFERÊNCIAS

- [1] VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. **São Paulo: Érica**, v. 2, 2012.
- [2] PEREIRA, Osvaldo LS; GONÇALVES, Felipe F. Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: Estudo de caso do sistema de tubarão-sc. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 1, p. 25-45, 2008.
- [3] RIBEIRO, Bruno. *Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891): o criador da célula solar*. In: **UNICENTRO**, GPET Física. Paraná, 11 dez. 2021. Disponível em: < <https://www3.unicentro.br/petfisica/2021/12/17/alexandre-edmond-becquerel-1820-1891-o-criador-da-celula-solar/>>. Acesso em: 4 abr. 2022.
- [4] CASTRO, Rui MG. *Introdução à energia fotovoltaica*. **DEEC/Seção de Energia Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico**, 2002.
- [5] HINRICHS, R.; KLEINBACH, M.; REIS, L. *Energia e Meio Ambiente*. 4ª. **LF Flávio Maron Vichi, Trad.) Cengage Learning, São Paulo**, 2010.
- [6] SOLAR, Energia. Princípios e aplicações. **Centro de Referencia para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito–CRESESB, Rio de Janeiro**. Disponível em:< http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf, v. 4, 2006.
- [7] ABNT, **Norma Brasileira - Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004 versão corrigida**, 2008.
- [8] ABNT, **Norma Brasileira - Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos- Requisitos de projeto NBR 16690:2019**, 2019
- [9] Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004
- [10] Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 35 – Trabalho em Altura**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2012
- [11] Energisa. **NDU 001 - Fornecimento de energia elétrica a edificações individuais e agrupadas até 3 unidades consumidoras**. Paraíba: Energisa, 2020
- [12] Energisa. **NDU 002 - Fornecimento de energia elétrica em tensão primária**. Paraíba: Energisa, 2014
- [13] Energisa. **NDU 013 - Critérios para acessante de geração distribuída ao sistema de distribuição para conexão em baixa tensão**. Paraíba: Energisa, 2017

Datasheet SIRIUS-RS6 - 550MX - E3



Módulo Fotovoltaico

FULLBLACK - 550W

3ª GERAÇÃO

15 anos de garantia de fabricação
30 anos de garantia de geração

Degradação anual de 0,5% ao longo de 30 anos

A 3ª geração da linha **Sirius FullBlack** traz a tecnologia inovadora de célula p-type, full black, não possui divisão de espaçamento entre as células. Essa tecnologia resulta em uma alta eficiência e aproveitamento do espaço das células. As células solares pretas são tratadas para absorver mais luz, resultando também em mais energia produzida. A 3ª geração **FullBlack** de **Sirius** apresenta as molduras pretas garantindo um efeito estético nos telhados, realçando a beleza arquitetônica e valorizando o imóvel.

TECNOLOGIA CÉLULA FULLBLACK
Maior aproveitamento do espaço do módulo não gerando perdas por barramentos e cortes da célula.

ESTETICAMENTE SUPERIOR
Padrão europeu trazendo maior beleza arquitetônica e valorizando imóvel, padrão moderno e inovador.

REVESTIMENTO ULTRA-HIDROFÍLICO
A tecnologia fullblack envolve um revestimento autolimpante. Os módulos são flexíveis e resistentes à compressão.

PRINCIPAIS CERTIFICAÇÕES MUNDIAIS
IEC 61215/61730; IEC62804(PID); IEC61701(Salt); IEC62716(Ammonia); ISO 9001; ISO 14001; ISO 45001; ISO 50001.

FÁCIL DE INSTALAR
Os painéis de SIRIUS vem exclusivamente com 1,2m de comprimento do cabo traseiro.





DADOS ELÉTRICOS (STC)	
Potência Nominal Máxima, Pmax (W)	550
Tolerância de Potência, Pmax (%)	0~+5
Tensão Operacional Ideal Vmp (V)	42.25
Corrente Operacional Ideal Imp (A)	13.02
Tensão de Circuito Aberto Voc (V)	50.10
Corrente de Curto-circuito Isc (A)	13.94
Eficiência do Módulo	21.30

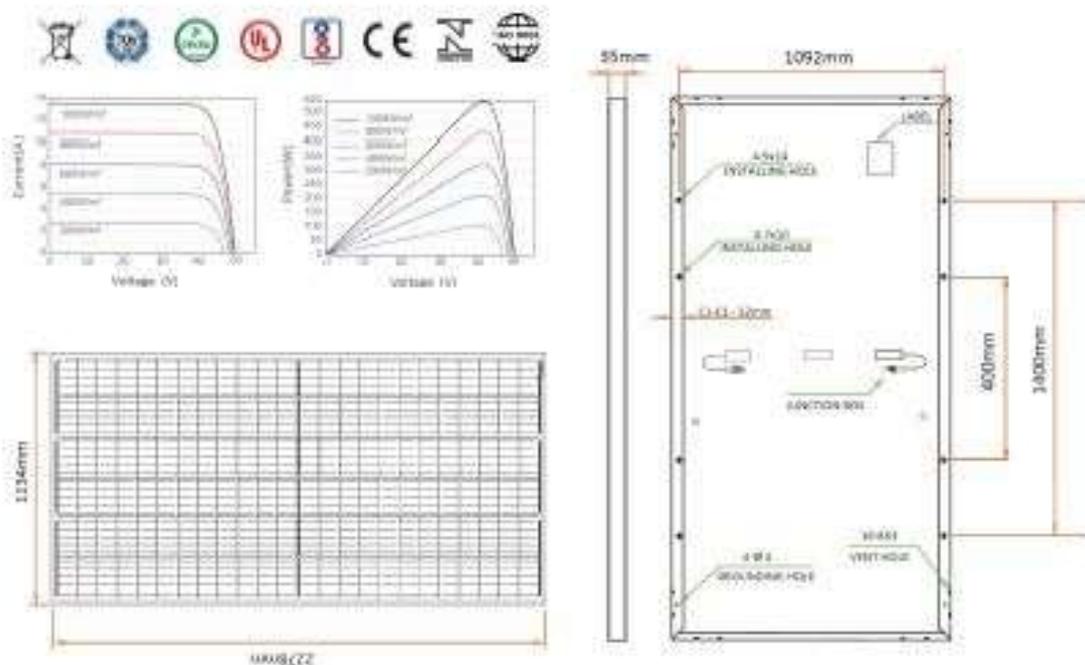
* Sob condições de teste padrão (STC) de irradiação de 1.000 W/m², temperatura de célula de 25 °C e espectro AM 1,5. * Os dados acima são apenas para referência e os dados reais estão de acordo com os testes práticos.

DADOS ELÉTRICOS (NMOT)	
Potência Nominal Máxima (Wp)	410.9
Tensão Operacional Ideal Vmpp (V)	39.29
Corrente Operacional Ideal Imp(A)	10.46
Tensão de Circuito aberto Voc (V)	46.59
Corrente de Curto-circuito Isc(A)	11.39

*NMOT (Temperatura operacional normal do módulo): irradiação de 800 W/m², temperatura ambiente de 20 °C, espectro AM 1,5, velocidade do vento de 1 m/s/s. * Os dados acima são apenas para referência e os dados reais estão de acordo com os testes práticos.

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA	
NMOT	45°C ±2°C
Coefficiente Temperatura Pmax	-0,35%/C
Coefficiente Temperatura Voc	-0,27%/C
Coefficiente Temperatura Isc	0,048%/C

DADOS MECÂNICOS	
Tipo de Célula	MonoP-Type Half-cut cells
Frame / Fundo	Perfil de alumínio anodizado / EVA
Dimensões	2278×1134×35 mm
Peso	27 kg
Vidro	3,2mm Vidro Temperado
Caixa Junção	IP 68, TUV&UL
Cabos	4 mm ² , 1200 mm
Conectores	Compatível com MC4
CONDIÇÃO DE TRABALHO	
Tensão Máxima do Sistema	1500 V DC
Temperatura Operacional	-40°C--+85°C
Máximo Fusíveis da série	30 A
Máximo de Carga (Neve/Vento)	5400 Pa



© Sirius Energia Renováveis, Ltd. All rights reserved. SIRIUS, the Sirius logo, OPTIMIZED BY SIRIUS are trademarks or registered trademarks of Sirius Energia Renováveis, Ltd. All other trademarks mentioned herein are trademarks of their respective owners. Date: 15/03/2019 (PT-BR). Subject to change without notice.

Especificação Técnica

Item	SP112K-B	SP115K-B	SP117K-B	SP120K-B	SP125K-B
Entrada CC					
Máx. potência PV recomendada	18000Wp	21500Wp	25500Wp	30000Wp	37500Wp
Máx. tensão de entrada PV	1000 Vcc				
Tensão nominal PV	600 Vcc				
Máx. corrente de entrada PV por MPPT	11 A ou 22 A (27 A opcional)	22 A (27 A opcional)	22 A (27 A opcional)	22 A (27 A opcional)	22 A (27 A opcional)
Máx. corrente de curto-circuito por MPPT	15,8 A ou 27,5 A (33,8 A opcional)	27,5 A (33,8 A opcional)	27,5 A (33,8 A opcional)	27,5 A (33,8 A opcional)	27,5 A (33,8 A opcional)
No. de MPPTs	2	2	2	2	2
No. de strings PV por MPPT	2/1 ou 2/2	2/2	2/2	2/2	2/2
Faixa de tensão MPPT	180 Vcc-850 Vcc				
Tensão inicial	180 Vcc				
Saída CA					
Potência nominal de saída CA	12 kW	15 kW	17 kW	20 kW	25 kW
Potência máxima de saída	13,2 kW	16,5 kW	18,7 kW	22 kW	27,5 kW
Tensão nominal de saída CA	380/400/415 Vca				
Corrente nominal de saída	17,3 A	21,7 A	24,8 A	29,0 A	36,1 A
Corrente máxima de saída	19,1 A	23,8 A	27 A	31,8 A	38,7 A
Frequência nominal de rede	50 Hz/60 Hz				
Faixa de frequência de rede	45-65 Hz/55-65 Hz				
Fator de potência	+0,99 (carga completa)				
Fator de potência ajustável	0,8 (leading)-0,8 (lagging)				
THDI	<1,5% (potência nominal)				
Eficiência					
Eficiência de MPPT	99,90%		99,90%		99,90%
Eficiência Máxima	98,70%		98,70%		98,80%
Eficiência europeia	98,30%		98,30%		98,50%
Proteção					
Anti-ramento	Sim				
Conexão CC invertida	Sim				
Proteção contra curto-circuito CA	Sim				
Proteção de temperatura	Sim				
Proteção contra surtos	Sim, DPS Tipo II (CC) e DPS Tipo II (CA)				
Deteção de falta PV	Sim				
Interruptor CC	Sim				
Informações gerais					
Topologia	Sem transformador				
Dimensões (A x L x P)	480 x 420 x 180 mm				
Peso	25 kg				
Grau IP	IP65				
Nível de ruído	<50 dB				
Autoconsumo pela noite	<1 W				
Tipo de resfriamento	Resfriamento inteligente de ar forçado, dissipadores				
Altitude	4000 m (>5000 m de redução)				
Temperatura de operação	-25 °C-60 °C (>45 °C de redução)				
Umidade relativa	0-100%				
Display	LCD+LED				
Comunicação	RS485/MFI (opcional)/GPRS (opcional)/DRM (Austrália)				
Sistema de monitoramento	Sim, ViteSolar+Energy Cloud				
Terminal CC	Terminal HI				
Terminal CA	Terminal OT				
Método de instalação	Montado na parede				
Padrão	EN62109-1, EN62109-2, AS/NZS4777.2: 2015, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, IEC 62116:2014, IEC 61727: 2004, IEC 60068-3-1: 2007, IEC 60068-3-2: 2007, IEC 60068-3-14: 2009, IEC 61883 (ed. 1)				

■ As especificações estão sujeitas a alterações sem aviso prévio.

† 27 A está disponível apenas para a nova versão, entre em contato com o vendedor para obter detalhes.