



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

SÁVIO CARNEIRO LISBOA MAGALHÃES

**EXPERIÊNCIA DE ESTÁGIO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS:
PROJETO E DESAFIOS DE UMA INSTALAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DE 250
KW.**

FORTALEZA

2024

SÁVIO CARNEIRO LISBOA MAGALHÃES

EXPERIÊNCIA DE ESTÁGIO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS:
PROJETO E DESAFIOS DE UMA INSTALAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DE 250 KW.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Programa de Graduação em Engenharia de
Energias Renováveis da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
diploma de Engenheiro de Energias Renováveis.

Orientador: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite
Almeida.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M169e Magalhães, Sávio Carneiro Lisboa.

Experiência de estágio em Engenharia de Energias Renováveis : projeto e desafios de uma instalação solar fotovoltaica de 250 kW. / Sávio Carneiro Lisboa Magalhães. – 2024.
48 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2024.

Orientação: Profa. Ana Fabíola Leite Almeida.

1. Usina solar de média tensão.. 2. Engenharia de Energias Renováveis. 3. Dimensionamento. 4. Atribuições. 5. Energia solar fotovoltaica. I. Título.

CDD 621.042

SÁVIO CARNEIRO LISBOA MAGALHÃES

EXPERIÊNCIA DE ESTÁGIO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS:
PROJETO E DESAFIOS DE UMA INSTALAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DE 250 KW.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Programa de Graduação em Engenharia de
Energias Renováveis da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
diploma de Engenheiro de Energias Renováveis.

Aprovada em: 18/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Mônica Castelo Guimarães Albuquerque
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Francisco Lisboa Magalhães e Maria Hiana Carneiro Magalhães, por fazerem de tudo pela minha educação e por me proporcionarem a vida incrível que tenho hoje.

À querida Brígida Sousa de Oliveira que sempre esteve presente com sua atenção e companheirismo durante todo meu período de formação, obrigado por sempre acreditar em mim.

Aos meus familiares, Saulo, Vitória, Bernardo, Ilana, Elis e Maria Laís que, por muitas vezes sem saber, contribuíram para o meu esforço dentro e fora do meio acadêmico.

Aos meus amigos, irmãos de coração, Thiago, Lucas, Davi e Batista, por estarem comigo desde o colégio compartilhando momentos que, para sempre, lembrarei.

RESUMO

O presente trabalho estrutura-se como reflexão teórico-prática de estágio em Engenharia de Energias Renováveis, especificamente no ramo de energia solar fotovoltaica, na cidade de Fortaleza. Tendo como objetivo estudar as exigências técnicas e práticas para o desenvolvimento de uma usina solar fotovoltaica de média tensão. Para tal estudo, foi recorrido às normas técnicas, leis e resoluções que regem o setor e, assim, obter o melhor dimensionamento da instalação. Será explorado quais foram os softwares que facilitaram o planejamento da instalação e como estes permitiram a análise da viabilidade financeira e executiva do projeto. Buscou-se explorar, também, o sincronismo entre o projeto para a homologação e o projeto de execução, enfatizando a importância das peculiaridades de ambos para a preparação das habilidades e atitudes do profissional em energias renováveis. Ao fim, verificou-se as diferenças do projeto de execução para o fim da instalação, de tal forma que seja possível um planejamento mais preciso para futuras instalações de usinas de energia solar fotovoltaica de Média Tensão. Conclui-se, ainda, a significância das atribuições de um Engenheiro de Energias Renováveis em projetos nesta área de aplicação e a associação entre os conteúdos aprendidos no meio acadêmico e os tratados no âmbito comercial. A maior parte da prática se deu com a supervisão de outros engenheiros responsáveis que elucidaram as práticas com acervos teórico-práticos.

Palavras-chaves: Estágio. Engenharia de Energias Renováveis. Dimensionamento. Atribuições. Energia Solar Fotovoltaica. Planejamento de instalações. Usina Solar de Média Tensão.

ABSTRACT

This work presents a theoretical and practical reflection on an internship in Renewable Energy Engineering, specifically in the field of photovoltaic solar energy, in the city of Fortaleza. The objective is to study the technical and practical requirements for the development of a medium voltage photovoltaic solar power plant. For this study, technical standards, laws, and resolutions governing the sector were consulted to obtain the optimal design of the installation. The software used to facilitate the installation planning and its role in the analysis of the project's financial and operational feasibility were also explored. Additionally, the synchronization between the project for approval and the execution project was examined, emphasizing the importance of understanding the peculiarities of both for the preparation of the renewable energy professional's skills and competencies. In conclusion, the differences between the execution project and the final installation were observed, making it possible to establish a more accurate planning process for future medium voltage photovoltaic solar plants. The paper also highlights the significance of the role of a Renewable Energy Engineer in projects of this nature and the association between academic learning and commercial practices. Most of the practical work was carried out under the supervision of experienced engineers who provided guidance based on theoretical and practical knowledge.

Keywords: Internship. Renewable Energy Engineering. Design. Responsibilities. Photovoltaic Solar Energy. Installation Planning. Medium Voltage Solar Plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área disponível para o projeto.....	21
Figura 2 - Esquema de instalação dos Módulos Fotovoltaicos.....	22
Figura 3 - Configurações do Skelion.....	23
Figura 4 - Energia anual normalizada do SFCR sob diversos ângulos de orientação em Fortaleza – CE..	24
Figura 5 - Dados da Irradiação Direta Normal para o Município de Aquiraz.....	24
Figura 6 - Modelo para estrutura de base para 8 módulos fotovoltaicos.....	29
Figura 7 - Projeto estrutural das estruturas de fixação.....	31
Figura 8 - Espaçamento nas fileiras.....	31
Figura 9 - Componentes da estrutura de fixação dos módulos.....	32
Figura 10 - Especificação dos Cabos Contínuos.....	35
Figura 11 - Distâncias recomendadas no manual de instalação do inversor.....	37
Figura 12 - Modelo para estrutura de base para 8 módulos fotovoltaicos.....	38
Figura 13 - Linha elétrica fora do abrigo.....	38
Figura 14 - Linha elétrica dentro do abrigo.....	39
Figura 15 - Quadro geral de proteção dos equipamentos.....	40
Figura 16 - Previsão de geração da usina solar.....	41
Figura 17 - Base para a estrutura de fixação dos módulos.....	42
Figura 18 - Estrutura de fixação dos módulos.....	42
Figura 19 - Espaçamento entre as mesas dos módulos.....	43
Figura 20 - Linhas elétricas.....	43
Figura 21 -Abrigo dos Inversores.....	44
Figura 22 - Quadro geral de proteção da usina.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação dos Cabos Alternados.....	34
Tabela 2 - Diâmetros externos médios dos eletrodutos rígidos.....	35
Tabela 3 - Capacidades de condução de corrente.....	38
Tabela 4 - Proposta N° 07/2021 da CCEEE.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
PF	Pessoa Física
PJ	Pessoa Jurídica
UC	Unidade Consumidora
NBR.	Norma Brasileira Regulamentar
LABREN	Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia
UFC	Universidade Federal do Ceará
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EPE	Empresa de Pesquisa Energética.
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Ceará
CCEEE	Coordenadoria das Câmaras Especializadas de Engenharia Elétrica
UV	Ultravioleta
kW	Quilowatt
MW	Megawatt
KV	Quilovolt
KVA	Quilovolt-Ampère
Wh/m ²	Watt-hora por metro quadrado
MPPT	<i>Maximum power point tracking</i>
Gs	Geração da string
PO	Perdas por orientação
PS	Perdas por sombreamento
Irr	Irradiação
Pot	Potência
FD	Fator de desempenho
N	Quantidade de módulos

A	Ampère
V	Volts
S	Condutor das fases
U	Queda de tensão
U _o	Tensão entre fase e neutro
b	Coeficiente de circuitos monofásico e trifásicos
L	Comprimento da canalização
I _b	Corrente de projeto
I _n	Corrente nominal do dispositivo de proteção
I _z	Capacidade de condução de corrente dos condutores
I ₂	Corrente de atuação para disjuntores
m	metro
m ²	metro quadrado
mm	milímetro
mm ²	milímetro quadrado
CC	Corrente contínua
CA	Corrente alternada
r	Raio
SIGAA	Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
λ	Lambda
π	Pi
φ	Fi
ρ	Rho

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. JUSTIFICATIVA.....	16
3. OBJETIVO.....	16
3.1 Objetivo Geral.....	16
3.2 Objetivos Específicos.....	16
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
5. METODOLOGIA.....	19
5.1 A experiência de estágio no contexto da Universidade Federal do Ceará.....	19
5.2 O projeto.....	20
5.2.1 Visita técnica.....	20
5.2.3 Projeto para execução.....	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
6.1 Estudo de viabilidade financeira.....	41
6.2 Estrutura para a fixação dos módulos.....	41
6.3 Linhas Elétricas.....	43
6.4 Abrigo dos Inversores.....	44
6.5 Quadro geral de proteção da usina.....	44
7. POTENCIALIDADES E DESAFIOS DA ATUAÇÃO.....	46
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

O território brasileiro conta com um grande potencial de radiação solar e a utilização dessa fonte renovável é viável em quase toda a sua extensão. O Ceará tem investido no desenvolvimento desta tecnologia, bem como em outras energias renováveis (LIRA et al, 2019, p. 2). Desse modo, os primeiros projetos em energia solar e eólica foram implementados na década de 90 tanto nos estados do Nordeste como também da região norte do Brasil, onde a carência de abastecimento elétrico é uma das mais acentuadas e graves do país. (PINTO, et al, 2017).

Sendo assim, é possível afirmar que a engenharia de energia renovável é uma área de atuação relativamente nova e com mercado potencialmente em ascensão. A partir do Balanço Energético Nacional de 2023, conclui-se que a geração de energia elétrica no Brasil por fontes não renováveis está em declínio, com uma queda de 10% entre os anos de 2021 e 2022, permitindo que a Matriz Elétrica Brasileira seja constituída por quase 85% de energia oriunda de fontes renováveis (EPE, 2023).

É válido ressaltar que há vários meios de obtenção de energia, seja por meio de energia limpa, conceito utilizado no senso comum para descrever energias que se utilizam de fontes de energias renováveis e que tenha baixa ou nenhuma emissão de carbono, como, por exemplo: eólica, solar fotovoltaica, biomassa e hidrelétrica ou extração de energias por outros meios, bem como gás natural, óleo diesel e nuclear, comumente conhecida como energia suja, por se tratar de fontes de energia esgotáveis e que produzem impacto biossocial na natureza, de modo a potencialmente acabar com recursos naturais (SUNNE, 2023).

Desse modo, com a necessidade de manter esta matriz energética regulada e fiscalizada, surgiu em 26 de Dezembro de 1996 a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL através da Lei nº 9.427 (BRASIL, 1996). A partir desta lei, foi instituída à ANEEL as atribuições responsáveis pela regularização e fiscalização, a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil (BRASIL, 1996).

Assim sendo, com o avanço da tecnologia fotovoltaica no Brasil, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482/12 permitindo a criação de sistemas de Geração Distribuída local, ou seja, em uma única residência, condomínio, comércio ou indústria (BRASIL, 2012).

Este processo iniciou-se logo após a publicação da Resolução Normativa nº 482/12, da ANEEL que foi atualizada pela nova Resolução Normativa nº 687/15, que estabeleceu as

condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e os sistemas de compensação de energia (BRASIL, 2015).

Em vista disso, pode-se afirmar que projeto de Energia Solar Fotovoltaico, que foi explorado no presente trabalho, se classifica em microgeração distribuída e minigeração distribuída. Na Resolução Normativa da ANEEL N° 1.059, de 7 de fevereiro de 2023, obtém-se as definições de microgeração distribuída no artigo 2º, inciso XXIX-A

Central geradora de energia elétrica que utilize fontes renováveis ou, conforme Resolução Normativa n° 1.031, de 26 de julho de 2022, de cogeração qualificada, conectada à rede de distribuição de energia elétrica por meio de unidade consumidora, da qual é considerada parte, que possua potência instalada em corrente alternada menor ou igual a 75 kW (BRASIL, 2023, art. 2º, inc. XXIX-A) ;

Já no inciso XXIX-B do mesmo artigo, define-se o conceito de minigeração distribuída.

A central geradora de energia elétrica que utilize fontes renováveis ou, conforme Resolução Normativa n° 1.031, de 26 de julho de 2022, de cogeração qualificada, conectada à rede de distribuição de energia elétrica por meio de unidade consumidora, da qual é considerada parte, que possua potência instalada em corrente alternada maior que 75 kW e menor ou igual a: a) 5 MW para as centrais geradoras de fontes despacháveis; b) 3 MW para as demais fontes não enquadradas como centrais geradoras de fontes despacháveis; ou c) 5 MW para unidades consumidoras já conectadas em 7 de janeiro de 2022 ou que protocolarem solicitação de orçamento de conexão, nos termos da Seção IX do Capítulo II do Título I, até 7 de janeiro de 2023, independentemente do enquadramento como centrais geradoras de fontes despachável. (BRASIL, 2023, art. 2º, inc. XXIX-B).

Sendo assim, os dois tipos de central geradora serão conectados à rede de distribuição da concessionária. Estas regras são normalizadas na última atualização da Resolução Normativa ANEEL N° 1.059, de 7 de Fevereiro de 2023. (BRASIL, 2023)

Desta maneira, tendo como base o referencial supracitado, o presente trabalho traz uma reflexão teórico-prático a partir da análise do projeto acompanhado no período de estágio de 2022 a 2023 do curso de Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará.

É válido ressaltar que na atuação do engenheiro de energias renováveis há diversos setores de atuação no mercado, bem como Captação de Clientes, Comercial, Engenharia, Pós-Vendas, Manutenção e Distribuição. Contudo, neste trabalho foi explorado o setor de Engenharia, o qual foram revisados os conceitos técnicos que foram da realização de visitas técnicas, para analisar a viabilidade do projeto, até a execução do projeto executivo da obra após a aprovação do projeto de homologação na concessionária.

2. JUSTIFICATIVA

Sendo o curso de Engenharia de Energias Renováveis, pela Universidade Federal do Ceará, relativamente novo, tendo seu início em 2010, é possível refletir sobre a área de atuação de um engenheiro dentro do mercado de trabalho. É válido ressaltar que a formação dentro da Universidade possui potencial influência diante de atribuições realizadas como engenheiro, sendo assim, a grade curricular do curso possui grande importância para o futuro profissional. Sabendo isto, o Plano Pedagógico do Curso de Engenharia de Energias Renováveis passou por uma reestruturação em Outubro de 2023, devido à publicação de novas Diretrizes Curriculares Nacionais, a fim de desenvolver as competências profissionais do engenheiro (CEARÁ, 2023). Está errado citar assim. Assim, deseja-se destacar as funções do Engenheiro de Energias Renováveis que podem ser exercidas no ramo da Energia Solar Fotovoltaica e como estas são associadas ao meio acadêmico.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo geral, relatar a experiência de estágio no setor de engenharia de energias renováveis do município de Fortaleza de modo a refletir de maneira teórico-prático as possibilidades e potencialidades de atuação do engenheiro de energias renováveis. Assim, será enfatizado a realização de um projeto de minigeração distribuída no mercado de trabalho do ramo de Energia Solar Fotovoltaica *On-Grid*, ressaltando as atividades que este poderá explorar e investir para obter sucesso em sua carreira profissional, instigando futuros engenheiros a analisar a realização do projeto que este trabalho apresenta.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar visita técnica para estudar a viabilidade executiva e financeira do projeto.
- Realizar estudo de previsão da produção de energia gerada pela usina solar fotovoltaica.
- Utilizar softwares que facilitem a simulação e planejamento do projeto.
- Obter o melhor arranjo fotovoltaico da usina a fim de alcançar a geração de energia esperada para suprir as necessidades do cliente.
- Pesquisar e elaborar documentos necessários para a homologação do projeto junto à concessionária de energia.

- Estudar Normas Técnicas, Leis e Resoluções para elaborar o projeto executivo da obra.
- Analisar funções e atribuições do Engenheiro de Energias Renováveis no ramo de energia solar fotovoltaica voltada para geração de energia de Média tensão.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

As práticas de estágios são uma etapa obrigatória para formação dos futuros engenheiros. Dentre as várias oportunidades possíveis de atuação pelos estagiários, estão as relacionadas à elaboração de projetos de energia solar fotovoltaica. Desse modo, o relato de experiência é realizado a partir de vivências relacionais associadas ao estágio extra-curricular, adquirido após processo seletivo interno de uma empresa privada, articulados com a teoria por meio de levantamento de referenciais bibliográficos.

Na modalidade de participação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), o autoconsumo remoto, permitido na Resolução Normativa ANEEL N° 1.059, um cliente - Pessoa Jurídica ou Pessoa Física (PF ou PJ) - estará possibilitado a enviar a energia excedente gerada pela unidade geradora para outras unidades consumidoras - UC -, outros imóveis, de forma que o seu consumo seja, também, compensado (BRASIL. 2023). Em outras palavras, um cliente que possui uma usina solar em seu imóvel e está gerando mais energia do que está consumindo, este enviará a energia excedente, os créditos, para outros imóveis, economizando ainda mais o valor que pagaria na sua conta de energia.

Dessa forma, sabendo que a construção de uma usina de geração solar fotovoltaica é uma opção viável para o cliente, deve-se buscar referências nas normas técnicas que comandam os parâmetros de boas instalações. Assim, para o dimensionamento do projeto, utilizou-se, majoritariamente, a Norma Brasileira Regulamentada 5410, que fala sobre as instalações elétricas de baixa tensão (ABNT, 2008). Utilizou-se, também, a Norma Brasileira Regulamentada 14039 que trouxe informações importantes quanto às instalações elétricas de média tensão (ABNT, 2004).

E para complementar o referencial, utilizou-se as normas técnicas regulamentadas, como por exemplo: a NBR 16612, que comenta sobre os cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura (ABNT, 2020); a NBR 16690, que ajuda na compreensão das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos (ABNT, 2019); a NBR 15465, que trouxe as recomendações no uso de sistemas de eletrodutos plásticos para instalações elétricas de baixa tensão (ABNT, NBR 15465, 2020).

5. METODOLOGIA

5.1 A experiência de estágio no contexto da Universidade Federal do Ceará.

O estágio foi regularizado pela Agência de Estágios, dado início em Outubro de 2022, com exigências de 30 horas semanais para a realização das atividades. Os dias de cumprimento das horas do estágio foram combinados com a empresa, equilibrando todos os dias no horário de 12:00 às 18:00. Desta forma, tornou-se possível experimentar situações de efetivo exercício profissional que preparem o desenvolvimento e acompanhamento instalações referentes ao uso de energias renováveis (CEARÁ, 2023).

Na prática realizada e alvo deste trabalho, as atividades ocorreram em uma empresa voltada para serviços civis, dimensionamento e instalação de sistemas fotovoltaicos em todo o território cearense. O perfil dos clientes da empresa vai de clientes de microgeração até clientes de minigeração que têm em seu intuito principal, a redução do valor da conta de energia que estão pagando em seu imóvel, sendo este sua casa, apartamento, condomínio, empresa, fábrica, dentre outros.

Sendo este o caso do cliente que será analisado neste trabalho. Categorizado como Grupo A - composto por UC's que adquirem sua energia em tensão igual ou superior a 2,3 KV -, o cliente possui uma fábrica de artefatos de cerâmica e barro cozido para uso em construção, gerando um valor elevado em seus custos sendo reservado diretamente para a conta de energia no local, devido ao maquinário utilizado na fábrica. Uma alternativa para a solução de seu caso está no projeto de uma usina solar fotovoltaica, no entanto, o cliente não desejava utilizar o telhado disponível na fábrica para não danificar seu maquinário em um caso acidental de goteira, então, avaliou-se a viabilidade de um projeto em um terreno próximo à fábrica na qual este se adequasse ao SCEE.

O projeto se encaixa na categoria de minigeração distribuída com uma potência nominal de 250 kW atendida em Média Tensão (13.800 Volts), com uma potência pico de 323,855 kWp. A instalação está localizada em Aquiraz/CE, em um terreno com, aproximadamente, 19.500 m², sendo utilizado 4.500 m². A usina solar comporta 5 inversores de 50 kW da marca Solplanet e 487 módulos de 665 Watts da marca Lepton.

Para realizar tal projeto, foram utilizados softwares para o desenvolvimento bidimensional e tridimensional da usina de geração, tais como os programas AutoCAD e SketchUp. Juntamente a estes, foram realizados cálculos e pesquisas embasadas para a

automação de planilhas do programa Excel e, assim, obter cálculos da previsão de produção de energia.

Desse modo, para o acompanhamento deste caso, foram realizadas atividades com carga horária de 30 horas semanais, supervisionadas por engenheiros, por meio de treinamentos sobre as diretrizes da empresa, boas-práticas, seu modus operandi e o passo a passo para a realização de visitas técnicas, estudos de geração, projetos executivos e projetos de homologação para a concessionária. Nota-se, também, a importância do cumprimento dos prazos de cada atividade realizada para o fluxo do projeto, visando a organização e planejamento da obra, otimizando a harmonia no relacionamento entre cliente, empresa e funcionários.

5.2 O Projeto

5.2.1 Visita Técnica

O passo inicial do projeto se deu com a realização da visita técnica para verificar a viabilidade executiva e financeira. Nesta etapa, há alguns condicionantes necessários a serem avaliados, tal qual a verificação do terreno que deseja ser realizado a instalação, de modo a avaliar se há algum empecilho para o seguimento do projeto ou como será o acesso na rede de distribuição da concessionária.

Dessa forma, a visita do projeto analisado foi realizada em uma fábrica de cerâmica, na qual possui maquinários funcionando por horas com potências que elevam a conta de energia a valores significativamente elevados para os gastos da empresa. Neste contexto, uma saída para esta situação é o projeto de uma usina solar fotovoltaica, que representa uma alternativa para reduzir o valor da conta de energia. É neste cenário que a empresa contratada atuou, fornecendo seu aparato técnico e informando a viabilidade de um projeto neste setor específico. O imóvel do cliente analisado está localizado em Aquiraz, na microrregião de Fortaleza, e possui um vasto terreno disponível para uso.

Assim, é necessário que o avaliador, responsável pela visita, tenha a habilidade e conhecimentos sobre determinadas áreas para que a avaliação possa abranger o objetivo necessário e siga sem interferências futuras. O avaliador deve observar os obstáculos físicos que impeçam a instalação da estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos, uma vez que estes exigem uma estabilidade que deverá durar por décadas, logo, é imprescindível que o

terreno esteja plano e sem obstáculos. A Figura 1 delimita a área analisada para o projeto, através de uma foto retirada de drone.

Figura 1 - Área disponível para o projeto.



Fonte: Autor

Como resultado da visita realizada ao local de estudo, observou-se a necessidade de uma terraplanagem no local, demolindo áreas construídas e retirando árvores e vegetações indesejáveis que poderiam danificar a estrutura de fixação ou os módulos.

Ademais, um fator importante para a continuação do projeto é a previsão da produção de energia do cliente com a instalação dos módulos, considerando a orientação e sombreamento que irá afetar a eficiência dos equipamentos. Dessa maneira, após a visita técnica foi realizado um estudo de geração. Para isto, um dos programas que podem ser utilizados é SketchUp para a modelagem 3D e sua extensão Skelion para simulação de sombreamento.

Com este intuito, o avaliador deve observar a disponibilidade da rede da concessionária no local e como a usina será conectada à rede do cliente, de tal forma que seja possível predeterminar a localização dos módulos no terreno e realizar a simulação. Assim, para a escolha ideal e visando a menor distância entre os módulos fotovoltaicos e inversor até o ponto de conexão, é escolhido um local para as mesas (fileiras duplas de módulos), local dos inversores e possível ponto de conexão. Como mostrado na Figura 2, é possível notar que a

usina foi alocada no canto do terreno a fim de ficar mais próximo da rede disponível da Enel e, desse modo, tornou-se possível a divisão dos inversores, bem como as suas *strings*.

As *strings* de um inversor representam o conjunto de módulos ligados em série, de tal maneira que irão coordenar a geração de energia. A forma com que as *strings* são formadas afeta diretamente a execução da obra, apontando a quantidade de cabos a ser utilizado, a infraestrutura na qual irá comportar o cabeamento e a eficiência da usina baseado no sombreamento. Neste momento é importante que haja atenção na avaliação de possíveis perdas por sombreamento, uma vez que, se um módulo de uma *string* estiver recebendo menos luz proveniente do sol, todos os outros módulos irão operar partilhando o seu prejuízo.

Figura 2 - Esquema de instalação dos Módulos Fotovoltaicos.



Fonte: Autor

É possível observar na Figura 2 a presença de 5 mesas com fileiras duplas de módulos, onde cada uma representa um inversor, totalizando 5 inversores de 50 kW. Cada inversor possui 5 *strings* com diferentes quantidades de módulos ligados, representados por diferentes cores.

Dessa maneira na modelagem possíveis pontos de sombreamento serão contabilizados, sejam estes postes, muros, árvores ou até mesmo a sombra que uma mesa provoca em outra. Com isso, é necessário que seja feita análise com a extensão do SketchUp, denominada Skelion, logo após a finalização da modelagem 3D da usina.

Já no que tange às configurações da extensão, determina-se a realização da simulação considerando os pontos de análise em cada módulo e a quantidade de dias simulados no mês, como está apresentado nas configurações da simulação na Figura 3.

Figura 3 - Configurações do Skelion.

SETTINGS

Azimuth Convention

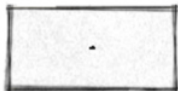
Shading losses

Report

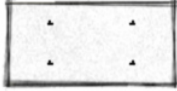
Project Info

- Sampled points in component:

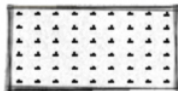
n =



m=1, n=1



m=2, n=2



m=9, n=6

m =
- Number of iterations in one hour:
- Shading test (Irradiation algorithm is evaluated every day always):
 - ☒ Every 15 days.
 - ☐ Every day.
- Draw shading derate:
 - ☒ Use 3d Text --> Text height [L]:

Fonte: SketchUp, 2021

Logo após a definição das configurações, decide-se expor o sombreamento que cada módulo possui ao fim da simulação, de tal forma que seja identificado qual é o equipamento que está com mais perdas por sombreamento. Uma vez identificado, é possível assumir que este será o módulo que prejudicará os outros na mesma *string*. Sendo assim, é possível identificar a previsão da produção mensal e anual de um inversor.

Outrossim, é necessário reduzir as perdas por orientação para se obter um bom desempenho, sendo assim, pode-se dizer que o melhor arranjo fotovoltaico é com os módulos orientados para o norte geográfico, observado na Figura 4 (GASPARIN, F. P.; KRENZINGER, 2017, p.11).

Figura 4 - Energia anual normalizada do SFCR sob diversos ângulos de orientação em Fortaleza – CE.


azimute (°)	Sul		Oeste							Norte							Leste	
	180	225	270	290	310	320	330	340	350	0	10	20	30	40	50	70	90	135
ângulo de inclinação (°)	0	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
	5	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
	10	0.98	0.99	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97
	15	0.96	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.96	0.96
	20	0.94	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.94	0.93
	25	0.91	0.94	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90
	30	0.87	0.92	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.93	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.89	0.87
	35	0.83	0.89	0.93	0.94	0.93	0.93	0.92	0.92	0.91	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.87	0.86	0.83
	40	0.79	0.85	0.91	0.91	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86	0.85	0.85	0.84	0.83	0.79
	50	0.68	0.77	0.85	0.85	0.84	0.83	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.76	0.71
	60	0.57	0.69	0.77	0.78	0.75	0.74	0.72	0.70	0.68	0.67	0.67	0.67	0.67	0.68	0.69	0.70	0.62
	70	0.48	0.60	0.70	0.70	0.67	0.64	0.62	0.59	0.57	0.56	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.62	0.53
	80	0.39	0.51	0.62	0.61	0.58	0.55	0.52	0.49	0.47	0.46	0.46	0.47	0.48	0.50	0.52	0.54	0.45
	90	0.32	0.44	0.54	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40	0.39	0.38	0.38	0.38	0.40	0.42	0.44	0.47	0.39

Fonte: GASPARIN, F. P.; KRENZINGER (2017, p.16).

Dessa forma, observa-se que, para ângulos de inclinações de até 15°, o desempenho altera em até 0,04% entre a melhor orientação e a pior, concluindo que em latitudes próximas à Fortaleza, como o caso de Aquiraz, o arranjo fotovoltaico será mais eficiente com inclinação de 10° e um azimute próximo a 0°.

Para a irradiação do local, utilizou-se os dados do portal do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia - LABREN -, estudo realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - com pesquisadores de algumas instituições do Brasil, como a Universidade Federal de São Paulo e a Universidade Federal de Santa Catarina (LABREN, 2017). Neste portal, consegue-se os dados da Irradiação Direta Normal para um determinado local, observado na Figura 5. Os dados fornecidos são em Wh/m² por dia.

Figura 5 - Dados da Irradiação Direta Normal para o Município de Aquiraz

Médias do Total Diário da Irradiação Direta Normal para o Estado do CEARÁ															
(Wh/m².dia)															
Mostrar 10 registros															
Procurar: 57021															
ID	Lon	Lat	Anual	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
57021	-38,349	-3,9005	5309	5358	5094	4717	3985	5292	5611	5699	5629	5123	5497	5964	5739
ID	Lon	Lat	Anual	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Mostrando registros 1 a 1 de um total de 1 (selecionados entre 1327 registros)															
Anterior 1 Próxima															
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / DIIAV - Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades															
															

Fonte: LABREN, 2017.

Com base nos dados fornecidos pela extensão Skelion e os dados referenciados bibliograficamente, analisou-se os dados de geração a partir de alguns cálculos. Sendo estes:

$$G_s = (1 - PO) * ((100 - PS)/100) * Irr * Dias * String * Pot * FD \quad (1)$$

Onde G_s é a geração da *string*; PO e PS representam, respectivamente, perdas por orientação e perdas por sombreamento; Irr será a irradiação do local em estudo; Dias corresponde à quantidade de dias em um mês específico; *String* informará a quantidade de módulos estarão ligados em um *string*; Pot representa a potência em kW do módulo utilizado e, por fim, FD que será a o fator de desempenho dos módulos.

Posto isso, sabendo a geração mensal de todas as *strings*, deve-se calcular a geração mensal de cada inversor. Tendo como base a fórmula:

$$G_m = \Sigma G_s \quad (2)$$

5.2.2 Projeto para homologação

Após a decisão de avançar no projeto, deve-se dar início nas próximas etapas, assegurando que esteja de acordo para a execução e homologação deste.

Iniciando a preparação dos documentos necessários para dar entrada no processo de homologação do projeto no portal da concessionária acessível na Internet. É necessário que o cliente realize o preenchimento de formulários e documentos técnicos exigidos pela concessionária Enel, bem como Formulário de Solicitação de Acesso para Minigeração Distribuída, Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), Diagrama Unifilar, Datasheet dos equipamentos utilizados, Memorial Descritivo (Projeto Elétrico), Procuração (se solicitado por terceiros), Solicitação de Rateio; para seja possível a concessão do projeto a partir da viabilidade do mesmo.

Sendo assim, o formulário de solicitação de acesso para minigeração distribuída deverá ser preenchido de acordo com as demandas do projeto. Neste documento, deve ser informado, além dos dados básicos da Unidade Geradora, a Potência Instalada em kW disponibilizado para o cliente, o tipo de conexão, sendo esta trifásica, os dados do poste de transformação e os

dados da geração, contendo a Potência Instalada de Geração e o tipo da Fonte de Geração, no caso, energia solar.

Já na Anotação de Responsabilidade Técnica, deverá ser informado os dados do técnico responsável pelo projeto, os dados do contratante, os dados do proprietário e endereço da obra e as atividades que serão realizadas em tal serviço.

No que tange o diagrama unifilar, deve-se representar os detalhes da instalação a ser realizada no local, apontando a corrente e tensão dos equipamentos utilizados, a seção dos condutores de cada conexão elétrica, quadros de proteção, a amperagem de cada disjuntor instalado, bem como a descrição das fases utilizadas. Neste documento deve estar presente, também, o arranjo fotovoltaico, detalhando a área utilizada no local em questão.

Já no que se refere no caso de um projeto solicitado por um responsável técnico beneficiando um cliente final, deve-se apresentar uma procuração assinada para que o responsável possa responder pelas decisões relacionadas à geração distribuída nas unidades de mesma titularidade do cliente.

Para finalizar, no memorial descritivo, o projeto elétrico da obra, deve ser apresentado todos os dados relevantes que possam direcionar o avaliador do projeto ao serviço que será realizado, assim, o memorial deve conter os dados do cliente, as características gerais da unidade consumidora, bem como o endereço correto com as coordenadas específicas e todos os dados dos equipamentos que serão utilizados. Neste documento, deve estar presente todas as informações técnicas necessárias e pertinentes ao sistema para que esta possa analisar se o mesmo está de acordo com as normas. Aqui deve-se analisar as informações disponíveis na norma brasileira NBR 5410 (ABNT, 2008), referente a instalações elétricas de baixa tensão.

Ademais, para a homologação é necessário que seja realizado o cálculo para queda de tensão. Entende-se queda de tensão como um evento que ocorre quando a tensão elétrica em um circuito diminui devido ao aumento da resistência dos materiais condutores do circuito devido à distância (GUSSOW, 1997, p.71). Nesta seção do memorial, deve-se assegurar, a partir de cálculos práticos, que a queda de tensão máxima recomendada pela ABNT NBR 14039. Na norma técnica, recomenda-se que, para uma instalação elétrica, a queda de tensão entre o ponto de origem e o ponto de utilização seja inferior a 5% (ABNT, 2004, p.41).

Para o cálculo de queda de tensão da corrente alternada, toma-se como base a equação (02), muito comum na literatura, que pode ser usada quando a seção do condutor fase é igual ao do neutro. Através da fórmula em (01) podemos achar a queda de tensão.

$$\Delta u = U/U_0 \quad (01)$$

$$U = b * (\rho_1 * L/S * \cos\varphi + \lambda * L * \sin\varphi) * I_b \quad (02)$$

Onde:

- U: Queda de tensão, em volts;
- Δu : Queda de tensão relativa, em porcentagem;
- U_0 : Tensão entre a fase e neutro, em volts;
- b: coeficiente igual a 1 para circuitos trifásicos e a 2 para monofásicos;
- ρ_1 : resistividade dos condutores à temperatura em serviço normal, isto é, 1,25 vezes a resistividade a 20°C (0,0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ para cobre e 0,036 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ para o alumínio);
- L: comprimento da canalização, em metros;
- S: seção dos condutores, em mm^2 ;
- $\cos\varphi$: fator de potência;
- λ : reatância linear dos condutores;
- I_b : é a corrente de projeto, soma da(s) corrente(s) máxima(s) de saída do(s) inversor(es), expressa em amperes.

Para o cálculo da queda de tensão da corrente contínua, utiliza-se a equação da primeira lei de OHM:

$$U = R * I \quad (03)$$

Em que a tensão (U) é resultante do produto da resistência elétrica do condutor (R) e a corrente elétrica (I) do arranjo em série de módulos fotovoltaicos.

Já para calcular a resistência no cabo, utiliza-se a equação da segunda lei de OHM:

$$R = \rho * L/S \quad (04)$$

Onde a resistência elétrica do condutor (R) equivale ao produto da resistividade elétrica do material (ρ) pela razão entre o comprimento (L) e a área da seção do condutor (s). Assim, a queda de tensão, expressa em porcentagem, é a razão entre a perda de tensão (U) e tensão da entrada (U_0) do condutor.

Dessa maneira, dado que a tensão entrada é calculada a partir da tensão de circuito aberto (VOC) de uma quantidade n de módulos fotovoltaicos em um subarranjo em série, compondo um arranjo com N sub-arranjos em paralelo, tem-se que:

$$QT = U/U_o \text{ (05)}$$

$$U_o = VOC * n \text{ (06)}$$

Na norma técnica NBR 16690, recomenda-se que a queda de tensão do nos condutores sob condições de carga máxima não seja superior a 3% da tensão do arranjo fotovoltaico em seu ponto de máxima potência (ABNT, 2019, p. 31).

- Proteção da Corrente Alternada

Segundo NBR 5410, o dimensionamento dos dispositivos de proteção deve ser realizado a partir dos seguintes cálculos, assegurando que os condutores estejam devidamente protegidos contra sobrecargas (ABNT, 2008, p.71).

$$I_b \leq I_n \leq I_z \text{ (07)}$$

$$I_2 \leq 1,45 I_z \text{ (08)}$$

Onde:

- I_b : corrente de projeto;
- I_n : corrente nominal do dispositivo de proteção;
- I_z : capacidade de condução de corrente dos condutores, nas condições previstas para sua instalação (de acordo com 6.2.5 das NBR 5410);
- I_2 : corrente de atuação para disjuntores;

Em observância à NBR 5410, serão utilizados Dispositivos de Proteção Contra Surto para corrente alternada de Classe II para tensão 220/380, instalados no Quadro de Proteção da Geração.

Por fim, é necessário analisar o aterramento do projeto para a equipotencialização dos equipamentos, dos módulos, da estrutura de fixação e dos inversores. Para isto, de acordo com a ABNT NBR 16690, 6.4, para o dimensionamento dos eletrodos e condutores de aterramento, deve-se verificar os requisitos especificados na ABNT NBR 5410, 6.4.1 (ABNT, 2019, p. 58).

No item 6.4.1.1.1 da ABNT NBR 5410, temos.

Toda edificação deve dispor de uma infra-estrutura de aterramento, denominada eletrodo de aterramento, sendo admitidas as seguintes opções:
[...] d) no mínimo, uso de anel metálico enterrado, circundando o perímetro da edificação e complementado, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente ('pés-de-galinha') (ABNT, 2004, p.150).

Dessa forma, realizou-se uma malha de aterramento com 7 hastes de aterramento de 2 metros com revestimento de cobre e condutores de cobre nu de 16 mm² não protegidos contra danos mecânicos, circundando o perímetro do abrigo dos inversores. Assim, para garantir a equipotencialização dos equipamentos (Estrutura de fixação, módulos, inversores e quadro geral de baixa tensão), os condutores de proteção deverão estar conectados a um mesmo eletrodo da malha de aterramento, como recomendado na ABNT NBR 5410 item 5.1.2.2.3.3.

A partir da Tabela 58 da ABNT NBR 5410, obteve-se os valores para a seção mínima dos condutores de proteção (ABNT, 2008, p.158). Sabendo que a seção dos condutores das fases (S) utilizados será de 35 mm², podemos utilizar um condutor de 16 mm² para cada inversor.

5.2.3 Projeto para execução

Tendo sido realizada a homologação do projeto, pode-se iniciar a organização do projeto executivo, apresentando como passo primordial a cotação e separação do material que será utilizado na instalação e prazos necessários para início e fim da obra.

Após essa etapa, é necessário que seja escolhida uma estrutura de base compatível com a estrutura de fixação, de tal forma que os módulos simulem uma inclinação de 10°. Bem como mostra a Figura 6.

**ESTRUTURA PARA 2 LINHAS
COM 4 PAINÉIS NÃO MODULAR
2,70 m DE VÃO LIVRE**

ITEM	COMPONENTE	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
1	PLAR 2,00 m	PERFIL DE CANTONEIRA 1,10" x 1,10"	2
2	MÃO FRANCESA	PERFIL DE CANTONEIRA 1,10" x 1,10"	2
3	FERRUGEM 3,00 m	PERFIL DE CANTONEIRA 1,10" x 1,10"	2
4	CONEIRA FERRUGEM	CANTONEIRA 1,10" x 1,10"	8
5	FERRUGEM 4,30 m	PERFIL DE CANTONEIRA 1,10" x 1,10"	4
6	VIGAS 4,30 m	PARAFUSO 10" x 1"	22
7	PARAFUSO 10" x 1"	22	
8	PARAFUSO 10" x 1"	22	

DETALHE A
AJUSTE DE INCLINAÇÃO
ESCALA 1 : 5

DETALHE B
TERMINAL INTERMEDIÁRIO
COM CHAPA
ESCALA 1 : 2

DETALHE C
TERMINAL INTERMEDIÁRIO
COM CHAPA
ESCALA 1 : 2

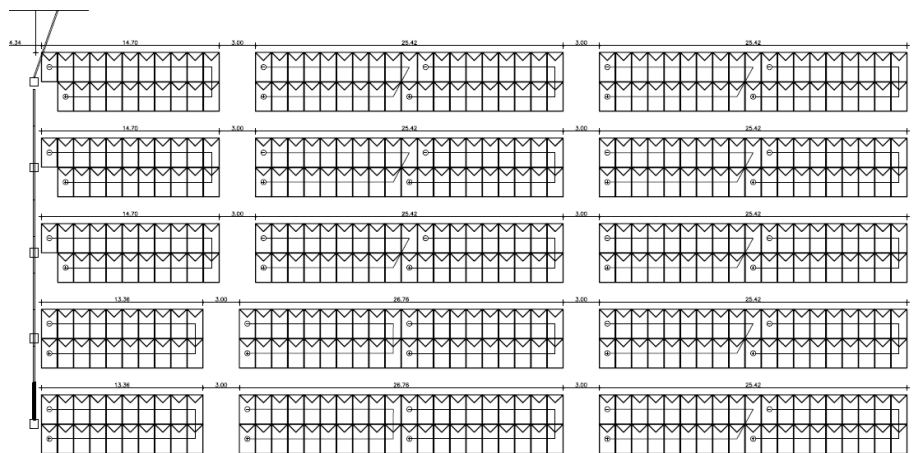
No projeto analisado, o cliente optou por não realizar o investimento da compra de uma estrutura de base especialmente fabricada para alocação de módulos fotovoltaicos, uma vez que em seu empreendimento já havia previamente a disponibilidade de tijolos que poderiam ser utilizados como fundação e base para os perfis que iriam apoiar os módulos. Apenas após a solicitação de um projeto estrutural, como observa-se na Figura 7, pode-se dar continuidade ao projeto.

Fonte: Autor

Desse modo, a execução do projeto foi facilitada a partir de uma solução alternativa elucidada pelo cliente, sendo assim, de extrema valia a comunicação com o cliente durante as etapas do projeto para alinhamento de serviço e análise de viabilidade de sugestão de clientes.

Para facilitar na manutenção da usina e garantir a estabilidade da estrutura, optou-se por criar espaçamentos de 3 metros nas fileiras para a passagem de funcionários e equipamentos. Assim, as fileiras ficaram divididas em intervalos de *Strings*, como mostra na Figura 8:

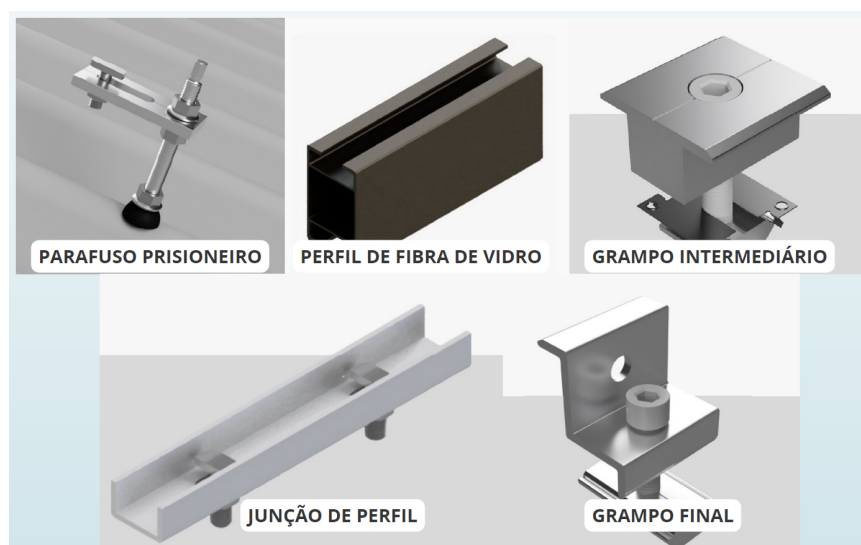
Figura 8 - Espaçamento nas fileiras



Fonte: Autor

Outrossim, na compra dos equipamentos, foi possível escolher os materiais que serão utilizados para fixar os módulos na base inclinada. No projeto foram utilizados parafusos prisioneiros 10 x 250mm fabricado com alumínio e inox, para a fixação dos perfis que irão apoiar os módulos. Já no que tange a escolha dos perfis, foram utilizados os fabricados com fibra de vidro com comprimentos de 2,40 metros bem como o demonstrado na Figura 9. Trabalhando em conjunto aos perfis na função de fixar os módulos à estrutura de base, foram utilizados grampos finais e intermediários fabricados com alumínio e aço inox. E, por fim, tem-se a junção, que une as extremidades dos perfis para dar continuidade à fileira de módulos. A Figura 11 apresenta os componentes da estrutura de fixação dos módulos.

Figura 9 - Componentes da estrutura de fixação dos módulos.



Fonte: Sou Energy (2022)

Para a fixação dos parafusos prisioneiros na alvenaria, utilizaram-se buchas 12 mm². Dessa maneira, após fixação dos perfis apoiados nos parafusos, torna-se possível a instalação dos módulos que ficam presos ao perfil através dos grampos intermediários e finais.

Desse modo, pode-se dar seguimento à instalação com a formação das *strings* da usina. Para o cálculo da quantidade máxima de módulos que o inversor suporta em uma *string* e em uma MPPT, deve-se analisar o datasheet dos dois equipamentos. Observa-se que os valores da tensão de entrada máxima e a corrente de curto-circuito máxima na MPPT do inversor são, respectivamente, 1100 V e 48 A. Observou-se, também, que a tensão de circuito aberto e a corrente de curto-circuito do módulo são, respectivamente, 46,18 V+10% e 18,31 A. Sabendo que em uma MPPT há 2 *strings* disponíveis, então, cada *string* possui uma corrente de curto-circuito máxima de 24 A, valor respeitado pelo módulo que não atinge 19 A. Assim, para o cálculo da quantidade de módulos (N) máxima em uma *string* será:

$$N = 1100 / (46,18 * 1,1)$$

$$N \cong 21$$

Com isso tornou-se possível realizar a conexão das *strings* referentes a cada inversor, como projetado no relatório preliminar de geração:

Solplanet 50 kW (1): {S1: 19 *módulos*; S2: 19 *módulos*; S3: 19 *módulos*; S4: 19 *módulos*; S5: 21 *módulos*}

Solplanet 50 kW (2): {S1: 19 *módulos*; S2: 19 *módulos*; S3: 19 *módulos*; S4: 19 *módulos*; S5: 21 *módulos*}

Solplanet 50 kW (3): {S1: 19 *módulos*; S2: 19 *módulos*; S3: 19 *módulos*; S4: 19 *módulos*; S5: 21 *módulos*}

Solplanet 50 kW (4): {S1: 19 *módulos*; S2: 19 *módulos*; S3: 20 *módulos*; S4: 20 *módulos*; S5: 20 *módulos*}

Solplanet 50 kW (5): {S1: 19 *módulos*; S2: 19 *módulos*; S3: 20 *módulos*; S4: 20 *módulos*; S5: 20 *módulos*}

O cabeamento utilizado para estas conexões foi o cabo solar, projetado especificamente para utilização em sistemas de energia solar fotovoltaica. Este cabeamento possui uma resistência a raios ultravioleta (UV) do sol e uma camada externa que oferece proteção mecânica adicional e resistência à abrasão permitindo que seja exposto às condições ambientes da instalação, sem a exigência de eletrodutos (ABNT, 2020, p.3).

Deve-se, então, realizar o dimensionamento dos eletrodutos e caixas de passagens subterrâneas que serão utilizadas para o caminho correto do cabeamento das *strings* de cada inversor.

Na Norma Técnica NBR 5410, no item 6.2.11.1.6, obtém-se direcionamentos referente ao dimensionamento dos eletrodutos que serão utilizados na nossa instalação elétrica. A taxa de ocupação do eletroduto em casos de três ou mais condutores previstos no eletroduto não deverá ser superior a 40% (ABNT, 2008, p.128).

Assim, foram utilizados eletrodutos para atravessar os espaços de 3 metros nas fileiras e eletrodutos para percorrer o terreno até o abrigo dos inversores. Ao fim de cada fileira haverá uma caixa de passagem quadrada com 40 centímetros de lado. As *strings* devem descer pela estrutura das bases até as caixa de passagens por meio de eletrodutos dimensionados corretamente. Sabe-se que são 5 *strings* ao fim de cada fileira de módulos, como serão utilizados cabeamento CC Solar Vermelho e Preto de 4 mm² de 1.8 KVA, totalizando 10 cabos CC de 4 mm² e 1 cabo de 6 mm² verde para o aterramento da estrutura de fixação dos módulos. Assim, para calcularmos a seção nominal mínima do nosso eletroduto, devemos

calcular a área que os nossos cabos irão ocupar. O cabo de 6 mm² utilizado será da marca Megatron, que apresenta as características físicas de seus produtos, observado da Tabela 1.

Tabela 1 - Especificação dos Cabos Alternados

Seção nominal (mm ²)	Diâmetro nominal do condutor (mm)	Espessura nominal da isolamento (mm)	Diâmetro nominal externo (mm)
1,00	1,22	0,6	2,42
1,50	1,48	0,7	2,88
2,50	1,91	0,8	3,51
4,00	2,42	0,8	4,02
6,00	2,97	0,8	4,57
10,00	3,90	1,0	5,90
16,00	4,88	1,0	6,88
25,00	5,98	1,2	8,38
35,00	7,24	1,2	9,64
50,00	8,52	1,4	11,32

Fonte: Megatron [Online]

Já para o cabeamento CC, através do site da distribuidora do cabo Energy Shop, observa-se que o diâmetro externo de um cabo de 4 mm² é de 5,8 mm, observado na Figura 10.

Figura 10 - Especificação dos Cabos Contínuos

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

- Comprimento: x 10 metros
- Seção: 4,0 mm²
- Classe de isolamento: 0,9 / 1,8 kVcc
- Temperatura ambiente: -40°C a 90°C
- Resistência a raios UV: Sim
- Não propaga a chama em caso de incêndio
- Fio de cobre estanhado, encordoamento classe 5

Corrente admissível:

Seção Nominal (mm ²)	Diâmetro Condutor (mm)	Espessura Isolação (mm)	Espessura Cobertura (mm)	Diâmetro Externo (mm)	Massa (kg/km)	Corrente (A)	Queda de tensão V / (A x km)
2,5	1,9	0,7	0,9	5,1	42,1	41	21,81
4,0	2,5	0,7	1,0	5,8	59,3	55	13,55
6,0	3,0	0,7	1,0	6,3	78,0	70	9,05

* Valores de referência, sujeito a alteração.

Fonte: SHOP [Online]

Para dimensionar os eletrodutos utilizados no transporte dos cabos da mesa até as caixas de passagem que irão reunir o cabeamento de todas as mesas, calcula-se a área da seção de todos os cabos a partir fórmula básica:

$$S = \pi r^2$$

Observou-se que a área total dos cabos das *strings* somadas ao cabo de aterramento, resultou em, aproximadamente, 280,5 mm². Assim, calculou-se o diâmetro necessário para que esta área de seção total não ultrapasse 40% da área de seção do eletroduto.

$$El = (280,5 * 100) / 40$$

$$El = 701,25 \text{ mm}^2$$

Realizou-se o processo reverso para descobrir que o diâmetro nominal do nosso eletroduto deve ser superior a 29,90 mm. A ABNT NBR 15465 que regulariza os sistemas de eletrodutos plásticos para instalações elétricas de baixa tensão, fornece a Tabela 2 com as especificações dos eletrodutos rígidos que poderão ser utilizados na instalação (ABNT, NBR 15465, 2020, p.10)

Tabela 2 - Diâmetros externos médios dos eletrodutos rígidos

Diâmetro nominal DN	Dimensões em milímetros			
	Eletroduto soldável		Eletroduto roscável	
	d _{em}	Tolerância	d _{em}	Tolerância
20	20,0	+ 0,3	21,1	± 0,3
25	25,0	+ 0,3	26,2	± 0,3
32	32,0	+ 0,3	33,2	± 0,3
40	40,0	+ 0,4	42,2	± 0,3
50	50,0	+ 0,4	47,8	± 0,4
60	60,0	+ 0,4	59,4	± 0,4
75	75,0	+ 0,4	75,1	± 0,4
85	85,0	+ 0,4	88,0	± 0,4
110	110,0	+ 0,4	113,1	± 0,4

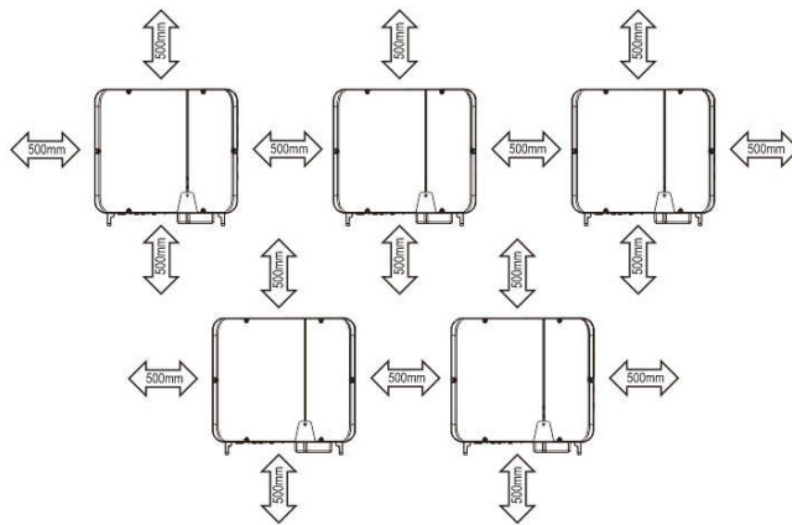
Fonte: ABNT, NBR 15465, 2020, p.10

Dessa forma, o eletroduto escolhido para a proteção dos cabos das mesas foi um eletroduto rígido roscável de 32 mm de diâmetro nominal.

Agora, para calcular a área de seção que será ocupada pelos cabeamentos de todas as *strings* dos inversores e dos cabos de aterramento utilizados, foi multiplicado o valor encontrado anteriormente pela quantidade de mesas da instalação, totalizando, assim, 1402.5 mm². Pelo mesmo processo, encontrou-se que o diâmetro nominal do eletroduto que foi utilizado deverá ser superior a 66,84 mm, concluindo que foi utilizado um eletroduto rígido roscável de 75 mm de diâmetro nominal.

Todos os cabearios protegidos por eletrodutos rígidos subterrâneos devem se reunir até o abrigo dos inversores que fica no limite do terreno a fim de reduzir os gastos por distâncias com o cabeario de corrente alternada que alimenta o quadro de proteção geral da usina. As dimensões do abrigo dos inversores dependem da disposição dos equipamentos neste, a fim de respeitar as distâncias recomendadas no manual de instalação do fabricante do equipamento. Deste modo, as distâncias entre os inversores e entre os obstáculos físicos do ambiente são detalhadas na Figura 11.

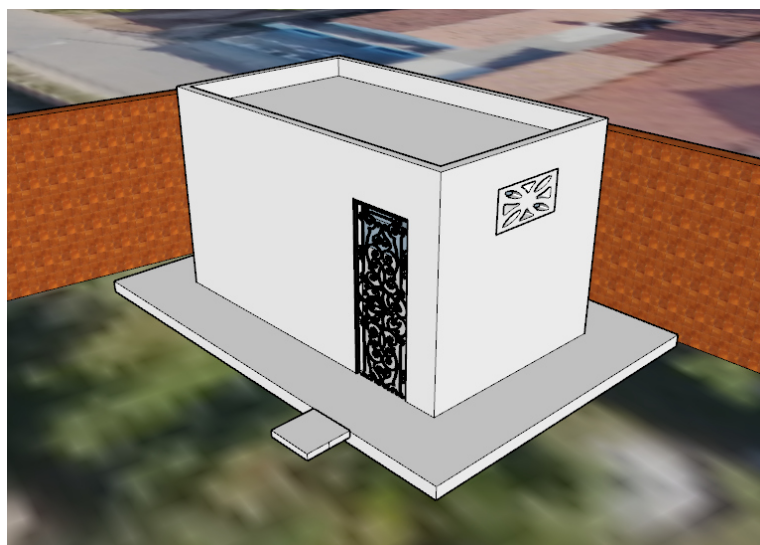
Figura 11 - Distâncias recomendadas no manual de instalação do inversor



Fonte: User Manual ASW50K-LT-G2, p. 14.

De maneira conveniente, a configuração dos inversores adotada foi similar à Figura 11, invertendo apenas que ficaram 3 inversores mais próximos ao chão e 2 inversores mais altos para economizar na quantidade de cabo utilizado e respeitando todas as distâncias, assegurando a garantia dos equipamentos. O quadro de proteção da usina, que terá suas especificações listadas mais adiante, fica na parede adjacente ao lado esquerdo dos inversores. Considerando que a parede do inversor deve ter no mínimo 3.5 metros de largura, resolveu-se aumentar a distância entre os inversores e considerar um abrigo, apresentado na Figura 12, com dimensões de 5.3 x 3.4 x 3.4 metros (L x A x P).

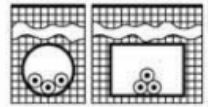
Figura 12 - Modelo para estrutura de base para 8 módulos fotovoltaicos.



Fonte: Autor

Para a passagem dos condutores por entre as caixas de passagens e até a entrada do abrigo dos inversores, considerou-se o método de instalação de linha elétrica de número 61A, observado na Figura 13, regularizado na Tabela 33 da NBR 5410, onde orienta-se sobre os tipos de linhas elétricas (ABNT, 2008, p.102).

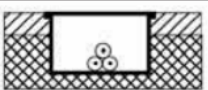
Figura 13 - Linha elétrica fora do abrigo

61A		Cabos unipolares em eletroduto(de seção não-circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a) ⁶⁾	D
-----	---	---	---

Fonte: Norma Brasileira Regulamentada 5410, p.102

Já para linha elétrica dentro do abrigo dos inversores, construiu-se uma canaleta ao longo do perímetro deste, de forma que tornou-se possível a entrada do eletroduto vindo da caixa de passagem na última estrutura de base que faz a proteção dos cabos das *strings*. Este método de instalação também está regularizado na tabela 33 da NBR 5410 representando o número 33, observado na Figura 14 (ABNT, 2008, p.101).

Figura 14 - Linha elétrica dentro do abrigo

33		Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta fechada embutida no piso	B1
----	---	--	----

Fonte: Norma Brasileira Regulamentada 5410, p.101

Assim, os condutores de corrente alternada utilizados para cada inversor dependem da corrente de saída máxima, especificado no *datasheet* do equipamento, que será de 80 A. A partir da Tabela 3 fornecida na NBR 5410, onde orienta-se as capacidades de condução de corrente máxima para um determinado condutor para diferentes métodos de instalação da linha elétrica, determinou-se o condutor adequado (ABNT, 2008, p.109).

Tabela 3 - Capacidades de condução de corrente

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151

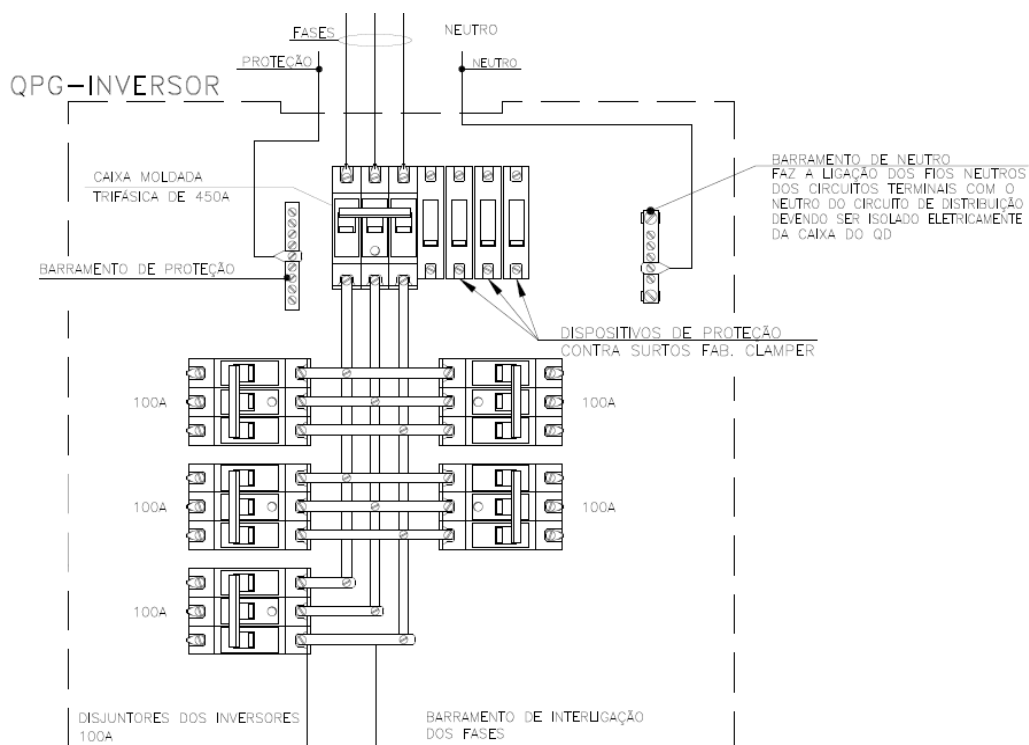
Fonte: Norma Brasileira Regulamentada 5410, p.109

Dessa forma, o condutor de 25 mm² se torna adequado para o uso, no entanto, não há caixa moldada disponível que realize a proteção correta do condutor sem limitar o inversor em sua corrente máxima. Foi, então, utilizado um condutor de 35 mm² protegido por uma caixa moldada de 100 A. O condutor do neutro utilizado foi de 25 mm², como orienta a Tabela 48 da NBR 5410 (ABNT, 2008, p.123). Já o condutor de proteção utilizado será de 16 mm², como orienta a Tabela 58 da NBR 5410 (ABNT, 2008, p.158).

Para o quadro de proteção da usina, encomendou-se um quadro de distribuição trifásico de sobrepor com barramentos neutro/terra para caixas moldadas. Dessa forma, neste quadro

estará presente uma caixa moldada de 450 A, que faz a proteção geral do quadro sendo alimentado pelos condutores vindo diretamente do transformador, uma vez que a corrente máxima dos inversores é de 400 A. Os condutores do transformador são de 400 mm², como recomendado na Tabela 36 da NBR 5410. A esquematização do quadro foi realizada antes da sua instalação, como mostra na Figura 15:

Figura 15 - Quadro geral de proteção dos equipamentos.



Fonte: Autor

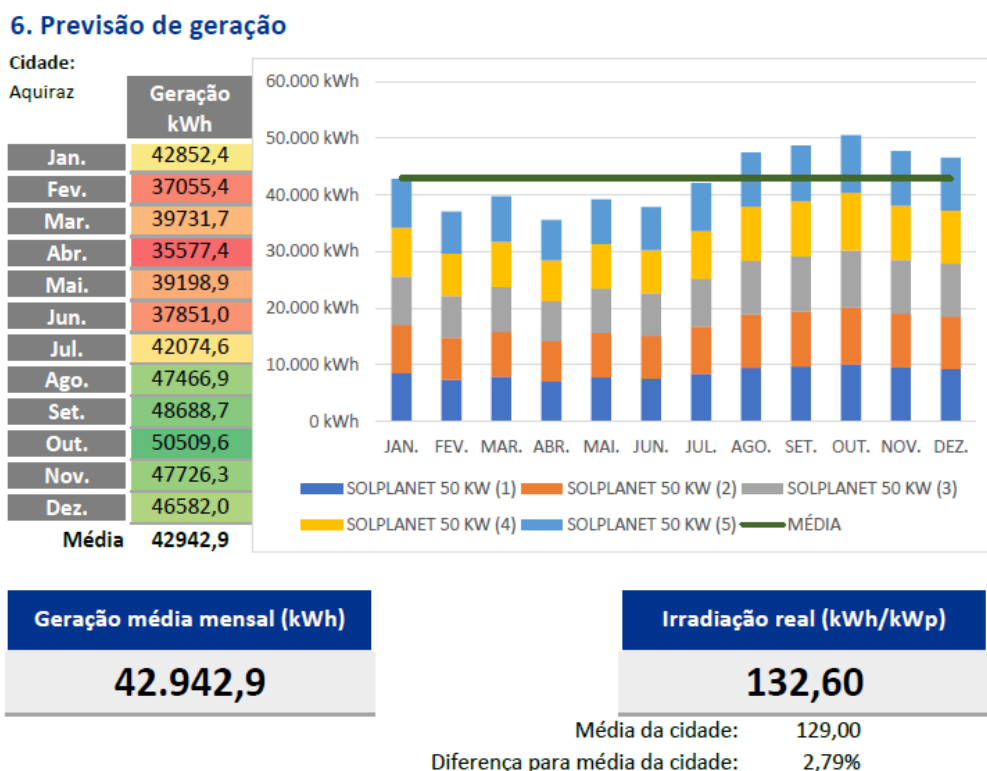
Por fim, foi possível analisar que a elaboração e execução de um projeto é repleto de detalhes técnicos importantes, sendo, assim, de suma importância a capacitação do profissional responsável.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Estudo de viabilidade financeira

Para concluir o cálculo da previsão de geração, deve-se somar todas as gerações dos inversores, resultando em dados disponíveis para análise, resultando nas informações da Figura 16.

Figura 16 - Previsão de geração da usina solar.



Fonte: Autor

Por fim, tendo em vista os cálculos citados acima, obteve-se valores positivos na geração disponível para a usina no terreno estudado, os quais foram apresentados ao cliente, de maneira que seja avaliado a relação custo/benefício que o investimento trará para o seu empreendimento.

6.2 Estrutura para a fixação dos módulos

A Figura 17 apresenta o resultado da execução das bases para a estrutura de fixação dos módulos. A única mudança em relação ao projeto apresentado como alternativo pelo cliente está na substituição de terças de madeira por tijolo.

Figura 17 - Base para a estrutura de fixação dos módulos.



Fonte: Autor

Já na Figura 18, têm-se o resultado da fixação dos módulos na estrutura de base, certificando a segurança da instalação.

Figura 18 - Estrutura de fixação dos módulos



Fonte: Autor

A Figura 19 mostra a inclusão dos espaçamentos entre as mesas para a manutenção e a estabilidade da estrutura de base.

Figura 19 - Espaçamento entre as mesas dos módulos.



Fonte: Autor

Com esta alteração, as mesas ficaram divididas em 3 partes. As duas primeiras partes à direita ficaram com duas *strings* e a parte à esquerda ficou com uma *string*.

6.3 Linhas Elétricas

Na Figura 20, observa-se as linhas elétricas já finalizadas para os cabos de corrente alternada e contínua. À esquerda temos no interior do abrigo dos inversores e no à direita temos a linha elétrica fora do abrigo com os cabos de corrente contínua indo em direção aos inversores.

Figura 20 - Linhas elétricas



Fonte: Autor

6.4 Abrigo dos Inversores

Na Figura 21, observa-se, então, o abrigo dos inversores finalizado seguindo todas as especificações do projeto com apenas o adicional de um ar-condicionado para o refrigeração dos equipamentos, evitando que estes superaqueçam. À esquerda da Figura 21, temos o local dos inversores e à direita o abrigo visto por fora.

Figura 21 -Abrigo dos Inversores

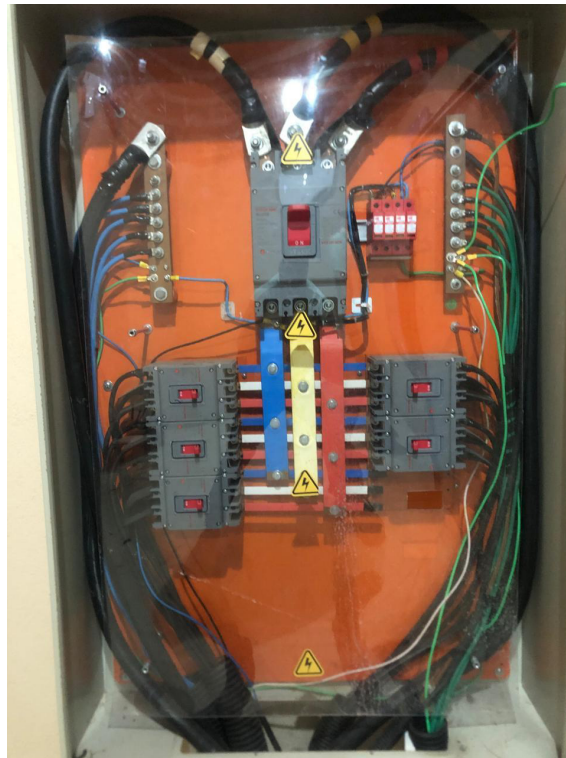


Fonte: Autor

6.5 Quadro geral de proteção da usina

Por fim, na Figura 22 observa-se o quadro geral de proteção da usina finalizado seguindo as especificações do projeto. A única diferença entre o projeto e a execução está na inexistência do disjuntor (caixa moldada) de reserva. O quadro é composto por uma caixa moldada de 500 A que recebe os cabos do transformador e 5 caixas moldadas de 100 A, cada uma fazendo a proteção de um inversor da usina.

Figura 22 - Quadro geral de proteção da usina



Fonte: Autor

Dessa forma, analisamos as diferenças que podem haver entre o projeto de execução da obra e a sua execução de fato. Diversos detalhes são observados apenas durante a construção das estruturas que compõem a usina, então, este trabalho serve como referencial para futuras instalações de usinas de energia solar fotovoltaica de Média Tensão.

7. POTENCIALIDADES E DESAFIOS DA ATUAÇÃO

Assim como em todos os cursos de Engenharia, os alunos recém formados possuem determinadas atribuições, que ditarão quais são as áreas na qual o conhecimento aprendido na universidade o tornarão apto para atuar. Tais atribuições estão vinculadas com as cadeiras realizadas pelo engenheiro em seu período de graduação.

O Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Ceará - CREA - é uma entidade que fará a fiscalização dos profissionais da engenharia em seu exercício, regularizado na Lei nº 5.194, de 24 de Dezembro de 1966 (BRASIL, 1966). Assim, em toda execução de obra ou prestação de serviço, o Engenheiro técnico responsável deverá emitir uma Anotação de Responsabilidade Técnica - ART -, instituída pela Lei Federal n.º 6496/1977, que delimita as funções que serão desempenhadas (BRASIL, 1977).

Em conjunto com o CREA, o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia - CONFEA -, também participará da fiscalização das atividades realizadas pelo engenheiro, regularizado no artigo 11 da Lei nº 5.194, de 1966, que diz: “O Conselho Federal organizará e manterá atualizada a relação dos títulos concedidos pelas escolas e faculdades, bem como seus cursos e currículos, com a indicação das suas características (BRASIL, art. 11, 1966)”.

Dessa maneira, a partir da Resolução Nº 218, de Junho de 1973, o CONFEA discrimina quais são as atividades que podem ser executadas em diferentes modalidades da Engenharia. Nesta Resolução, no artigo 8, é determinado que compete ao Engenheiro Eletricista as atividades referentes à geração, transmissão, distribuição e utilização da energia elétrica (BRASIL, 1973, p.2).

Com isso, para complementar a análise das atribuições de diferentes atividades, a Coordenadoria das Câmaras Especializadas de Engenharia Elétrica - CCEEE - implementou, na proposta Nº 07/2021, a tabela que auxilia na análise de atribuições do CREA. Na Tabela 4, observa-se as cadeiras que devem ser realizadas para ter completo domínio em áreas incumbidas ao Engenheiro Eletricista.

Tabela 4 - Proposta Nº 07/2021 da CCEEE

ATIVIDADES	TÓPICOS
Geração de Energia Elétrica	1.1 CIRCUITOS ELÉTRICOS 1.2 ELETROMAGNETISMO 1.3 CONVERSÃO DE ENERGIA 1.4 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL FONTES DE ENERGIA NÃO RENOVÁVEL 1.5 ANÁLISE DE SISTEMAS DE POTÊNCIA 1.6 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO 1.7 SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
transmissão de energia elétrica	2.1 CIRCUITOS ELÉTRICOS 2.2 ELETROMAGNETISMO 2.3 ANÁLISE DE SISTEMAS DE POTÊNCIA 2.4 LINHAS DE TRANSMISSÃO 2.5 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO 2.6 SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
distribuição de energia elétrica	3.1 ELETROMAGNETISMO 3.2 ANÁLISE DE SISTEMAS DE POTÊNCIA 3.3 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA URBANA 3.4 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RURAL 3.5 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO 3.6 SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
utilização da Energia Elétrica	4.1 ELETROMAGNETISMO 4.2 CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.3 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS PREDIAIS E RESIDENCIAIS EM BAIXA TENSÃO 4.4 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

Fonte: Proposta Nº 07/2021 da CCEEE

À vista disso, ao analisar a estrutura curricular do curso de Engenharia de Energias Renováveis pela Universidade Federal do Ceará (SIGAA, 2010, Online), observa-se uma disparidade entre as disciplinas oferecidas para a formação e as reais necessidades de um engenheiro segundo o conselho norteador.

Considerando a reestruturação no Plano Pedagógico do Curso realizada em 2023, observa-se mudanças significativas. Além de desmembrar em semestres diferentes cadeiras iniciais e comuns aos cursos de engenharia, o novo plano pedagógico conta com novas cadeiras específicas, tais como: Energia Solar Fotovoltaica, Tecnologias do Hidrogênio e Sistemas Mecânicos para Projetos em Engenharia de Energias Renováveis (CEARÁ, 2023). No entanto, em nada altera o atual cenário do Engenheiro de Energias Renováveis quanto à realização de projetos de Média Tensão.

Tendo em vista isso, com base na Tabela 4, pode-se analisar que o CREA entende que o curso de Engenharia de Energias Renováveis não dispõe de disciplinas suficientes para contemplar os tópicos necessários para que haja competência técnica para realização das atividades. Assim, a concessão das atribuições ao Engenheiro de Energias Renováveis referente à geração, transmissão, distribuição e utilização da energia elétrica se torna inviabilizada, com base em cadeiras do curso de Engenharia Elétrica.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo fazer uma reflexão teórico-prática de um estágio em Engenharia de Energias Renováveis na área de geração de energia solar fotovoltaica, ressaltando a importância do respeito às leis e normas técnicas que regem o setor. Ademais, a prática do estágio contribuiu para o desenvolvimento de habilidades gerais e específicas esperadas do estagiário, bem como prática de conhecimentos adquiridos no período de formação.

Destaca-se que o processo oficial de aprovação de projetos de energia solar fotovoltaica *on-grid* no estado do Ceará se encontra em constante renovação, de forma que, para futuros projetos, se torna necessário uma revisão, juntamente com a concessionária, dos documentos que devem ser apresentados. No entanto, os conhecimentos aplicados para a execução dos estudos e execução do projeto prevalecem em conjunto às Normas Técnicas Regulamentadas, as quais o profissional deverá sempre se manter atualizado.

Diante da escrita do trabalho e das dificuldades elucidadas durante a execução do projeto, é necessário a popularização das atribuições pensadas para os graduados em Engenharia de Energias Renováveis, visto que é um tema confuso para os estudantes e o acesso a essas informações não é claro. Sendo assim, estabelecido o papel do Engenheiro de Energias Renováveis em projetos de energia solar fotovoltaica voltados para fornecimentos elétricos de média tensão, observa-se o descompasso do meio acadêmico da Universidade Federal do Ceará com o mercado de trabalho em expansão.

Entende-se que os objetivos deste trabalhos foram alcançados, uma vez que as demandas para a realização de um projeto solar fotovoltaico de Média Tensão foram elucidadas e o papel do Engenheiro de Energias Renováveis neste meio foi esclarecido. É evidente, também, a contribuição do discente com a produção de conhecimentos acerca dos processos de ensino e aprendizagem na engenharia.

Por fim, este trabalho perpassa por setores que podem ser explorados pelo profissional, aplicando conhecimentos voltados para a aplicação de seu título que, todavia, ficará dependente de outros profissionais da área, como o Engenheiro Eletricista, para o encerramento do projeto, tal qual o apresentado anteriormente.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura — Requisitos de Desempenho NBR 16612**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, [2020]. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12025/nbr16612-cabos-de-potencia-para-sistemas-fotovoltaicos-nao-halogenados-isolados-com-cobertura-para-tensao-de-ate-18-kv-cc-entre-condutores-requisitos-de-desempenho>. Acesso em: 11 ago. 2024.

ABNT. **Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos — Requisitos de projeto NBR 16690**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, [2019]. Disponível em: <https://www.solarize.com.br/downloads/manual-energia-solar/NBR-16690-2019-consulta-publica.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2024.

ABNT. **Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004, Versão Corrigida: 2008**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, [2008]. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/jeangaldino/disciplinas/2015.1/instalacoes-eletricas/nbr-5410>. Acesso em: 11 ago. 2024.

ABNT. **Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV NBR 14039:2004**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, [2004]. Disponível em: https://www.inesul.edu.br/site/documentos/instalacoes_eletricas_residenciais/normas/nbr_14039_instalacoes_eletricas_media_tensao.pdf. Acesso em: 11 ago. 2024.

ABNT. **Sistemas de eletrodutos plásticos para instalações elétricas de baixa tensão — Requisitos de desempenho NBR 15465**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, [2020]. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/26420/nbr15465-sistemas-de-eletrodutos-plasticos-para-instalacoes-eletricas-de-baixa-tensao-requisitos-de-desempenho>. Acesso em: 12 ago. 2024.

BRASIL, **Lei nº 9.427, de 26 de Dezembro de 1996**. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL [...]. Brasília, 26 de dezembro de 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19427cons.htm. Acesso em: 11 ago. 2024.

BRASIL, **Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, [2012]. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2024.

BRASIL. **Lei nº 5.194, de 24 de Dezembro de 1966**. Regula o exercício das profissões de Engenheiro, Arquiteto e Engenheiro-Agrônomo, e dá outras providências. Brasília, [1966]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5194.htm. Acesso em: 12 ago. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.496, de 07 de Dezembro de 1977**. Institui a "Anotação de Responsabilidade Técnica" na prestação de serviços de engenharia, de arquitetura e agronomia [...]. Brasília, [1977]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6496.htm?origin=instituicao. Acesso em: 12 ago. 2024.

BRASIL. **Proposta nº 07/2021 – CCEEE**. Tabela para análise das atribuições do artigo 8º da Resolução nº 218/1973-CONFEA. Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, [2021]. Disponível em: <https://www.confea.org.br/confea/foruns-consultivos/coordenadorias-de-camaras-especializadas/propostascoordenadorias>. Acesso em 12 ago. 2024.

BRASIL. **Resolução Normativa ANEEL nº 1.059, de 7 de Fevereiro de 2023**. Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica [...]. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, [2023]. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html> . Acesso em: 11 ago. 2024.

BRASIL. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de Novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 [...]. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, [2015]. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf> . Acesso em 11 ago. 2024.

BRASIL. **Resolução nº 218, de 29 de Junho de 1973**. Discrimina atividades das diferentes modalidades profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia. Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, Diário Oficial da União, [1973]. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/centro-universitario-de-brasilia/etica-e-legislacao-profissional/resolucao-confea-0218-73/16551356>. Acesso em 12 ago. 2024.

CEARÁ. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC). **Projeto Pedagógico Do Curso De Engenharia De Energias Renováveis**. Centro de Tecnologia, Fortaleza, [2023]. Disponível em: https://si3.ufc.br/sigaa/public/curso/ppp.jsf?lc=pt_BR&id=75776991. Acesso em 13 set. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2023: Relatório Consolidado**. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-BEN>. Acesso em: 13 set. 2024.

ENERGY, Sou. **Ganchos Para Terças de Madeira**. Sou Energy, [Online]. Disponível em: <https://souenergy.com.br/downloads/estrutura/solar-group-166.html>. Acesso em: 12 ago. 2024.

ENERGY, Sou. **User Manual ASW50K-LT-G2**. Sou Energy, [Online]. Disponível em: <https://souenergy.com.br/downloads/inversores/solplanet-324.html>. Acesso em: 12 ago. 2024.

GASPARIN, F. P.; KRENZINGER, A. **Desempenho De Um Sistema Fotovoltaico Em Dez Cidades Brasileiras Com Diferentes Orientações Do Pannel**. Revista Brasileira de Energia Solar, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 10–17, 2017. DOI: 10.59627/rbens.2017v8i1.169. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/169> . Acesso em: 11 ago. 2024.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade Básica**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 1997.

LABREN. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, [2017]. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/> . Acesso em 11 ago. 2024.

LIRA, M. A. T., Melo, M. L. da S., Rodrigues, L. M., & Souza, T. R. M. de .. (2019). **Contribuição dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica para a Redução de CO2 no Estado do Ceará**. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 34(3), 389–397. (<https://doi.org/10.1590/0102-7786343046>)

MEGATRON. **Cabo Flexível 750V**. Megatron Fios e Cabos, [Online]. Disponível em: https://www.megatron.com.br/produto_detalle/cabo-flexivel-750v. Acesso em: 12 ago. 2024.

PINTO, L. I. C., Martins, F. R., & Pereira, E. B.. (2017). **O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais**. *Revista Ambiente & Água*, 12(6), 1082–1100. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2064>

SHOP, Energy. **Cabo Solar 4 mm 1,8 kVcc Flexível**. Energy Shop, [Online]. Disponível em: <https://www.energyshop.com.br/cabo-solar-4-mm-1-kv-flexivel-10-metros>. Acesso em: 12 ago. 2024.

SIGAA. **Detalhes da Estrutura Curricular**. Sistema Integrado de Gestão das Atividades Acadêmicas, [2010]. Disponível em: <https://www.si3.ufc.br/sigaa/public/curso/curriculo.jsf.jsessionid=B1C2AD1B00D22085223B9A1DA9E0ECB2.node24> . Acesso em: 12 ago. 2024.

SSM. **Mesa Solo 8 Módulos - SSM**. SSM Solar do Brasil [Online]. Disponível em: <https://ssmsolardobrasil.com.br/produtos/>. Acesso em: 12 ago. 2024.

SUNNE. **Conheça os perigos da energia suja e veja alternativas para substituí-la**. Sunne, [2023]. Disponível em: <https://sunne.com.br/os-perigos-da-energia-suja/>. Acesso em: 13 set. 2024.