



**Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica**

Diego Araújo Cunha Costa

Relatório de Estágio Supervisionado

Solar Nobre

Campina Grande, Paraíba
4 de abril de 2022

Diego Araújo Cunha Costa

Relatório de Estágio Supervisionado: Solar Nobre

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à coordenação do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Energias renováveis e instalações elétricas

Orientador: Bruno Barbosa Albert, Dr. Eng.

Campina Grande, Paraíba
4 de abril de 2022

Diego Araujo Cunha Costa

Relatório de Estágio Supervisionado: Solar Nobre

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à coordenação do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado em: ____/____/2022.

Bruno Barbosa Albert, Prof. Dsc.
Orientador

Pablo Bezerra Vilar, Prof. Dsc.
Avaliador

Campina Grande, Paraíba
4 de abril de 2022

Agradecimentos

Toda a aventura até a finalização deste relatório de estágio.

A todos os meus amigos que estiveram ao meu lado por toda a graduação ou parte dela, Diego, Álvaro, Lucas, Renato e entre outros que deixo aqui meus sinceros agradecimentos por tornarem todo o processo mais satisfatório.

Agradeço ao Engenheiro Eletricista Eduardo Silva Fernandes pelo acompanhamento e orientação durante todo o estágio e a todos os estagiárias que estiveram junto comigo nesta experiência.

Ao meu grande amigo Moisés que sempre esteve ao meu lado como um irmão.

A minha namorada Heloísa que me deu um suporte incalculável e esteve comigo sempre me dando forças.

Aos meus amigos que me acompanham no meu trabalho paralelo a universidade que me apoiam sempre.

Ao meu orientador Pablo Bezerra Villar que me ajudou no desenvolvimento deste trabalho e toda a inspiração que proporcionou durante as disciplinas de graduação.

Por fim agradeço a todos os funcionários da Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica que contribuíram na minha graduação.

Resumo

Neste trabalho são descritas as atividades realizadas pelo estagiário Diego Araujo Cunha Costa, graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande, durante o estágio supervisionado realizado na empresa Solar Nobre, localizada em Campina Grande - PB. Foram realizadas as seguintes atividades: elaboração do *layout* de projeto, preenchimento de documento técnico, elaboração de projeto elétrico e acompanhamento de obra. O estágio foi realizado no período entre 24 de Novembro de 2021 e 15 de Março de 2022, com carga horária de 20 horas semanais, totalizando 272 horas, com a orientação do professor Bruno Barbosa Albert e supervisão do engenheiro eletricitista e dono da empresa Eduardo Silva Fernandes.

Palavras-chaves: Elaboração de Projetos, Instalações Elétricas, Sistemas Fotovoltaicos, Solar Nobre.

Abstract

In this work are described the activities carried out by the intern Renato da Silva Vilela, graduating in Electrical Engineering at the Federal University of Campina Grande, during the supervised internship carried out at the company Solar Nobre, located in Campina Grande - PB. The following activities were carried out: elaboration of project layout, technical document completion, elaboration of electrical project and construction monitoring. The internship was held between September 24, 2021 and March 15, 2022, with a workload of 20 hours per week, totaling 272 hours, with the guidance of Professor Bruno Barbosa Albert and supervision of the electrical engineer and owner of the company Eduardo Silva Fernandes.

Key-words: Elaboration of Projects, Electrical Installations, Photovoltaic Systems, Solar Nobre.

Lista de Figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Fachada da Empresa Solar Nobre. | 12 |
| 2 | Sala do Setor de Projetos da Empresa Solar Nobre. | 13 |
| 3 | Estrutura de uma Célula Fotovoltaica. | 15 |
| 4 | Curvas Características I-V e P-V. | 15 |
| 5 | Componentes Básicos de um Sistema Fotovoltaico Autônomo. | 17 |
| 6 | Componentes de um Sistema Fotovoltaico Residencial Conectado à Rede Elétrica. | 18 |
| 7 | Memorial Técnico - Cadastro. | 24 |
| 8 | Memorial Técnico - Informações da Geração. | 25 |
| 9 | Formulário de Solicitação de Acesso para Microgeração Distribuída com Potência Igual ou Inferior a 10 kW. | 26 |
| 10 | Prancha do Projeto Fotovoltaico Trifásico <i>On Grid</i> de 4,05 kW de Potência. | 27 |
| 11 | Momento de Acompanhamento de Obra do Projeto Fotovoltaico <i>On Grid</i> . | 30 |

Lista de Tabelas

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Parâmetros de Proteção do Inversor Recomendados pela Ener- | |
| | gisa. | 30 |

Lista de símbolos e abreviaturas

| | |
|-------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| CA | Corrente Alternada |
| CC | Corrente Contínua |
| DPS | Dispositivo de Proteção Contra Surtos |
| NBR | Norma Brasileira |
| NDU | Norma de Distribuição Unificada |
| MPP | <i>Maximum Power Point</i> |
| MPPT | <i>Maximum Power Point Tracker</i> |
| UC | Unidade Consumidora |

Sumário

| | | |
|----------|-----------------------------------|-----------|
| 1 | Introdução | 11 |
| 1.1 | Objetivos | 11 |
| 1.2 | Estruturação do Trabalho | 11 |
| 2 | A Empresa | 12 |
| 3 | Fundamentação Teórica | 13 |
| 3.1 | Arquitetura Bioclimática | 13 |
| 3.2 | Efeito Fotovoltaico | 13 |
| 3.3 | Energia Solar Fotovoltaica | 14 |
| 3.3.1 | Radiação Solar | 14 |
| 3.3.2 | Célula Fotovoltaica | 14 |
| 3.3.3 | Módulo Fotovoltaico | 14 |
| 3.4 | Tipos de Sistemas Fotovoltaicos | 16 |
| 3.4.1 | Sistemas Fotovoltaicos Autônomos | 16 |
| 3.4.2 | Sistemas Conectados à Rede | 18 |
| 3.5 | Normas e Regulamentos | 19 |
| 3.5.1 | Resolução Normativa 687/2015 | 19 |
| 3.5.2 | NDU - 001 | 20 |
| 3.5.3 | NDU - 013 | 20 |
| 4 | Atividades Desenvolvidas | 22 |
| 4.1 | Projeto Fotovoltaico | 22 |
| 4.1.1 | Documentação Técnica | 23 |
| 4.1.2 | Prancha | 27 |
| 4.1.3 | Acompanhamento da Obra | 29 |
| 5 | Conclusões | 31 |
| | Referências Bibliográficas | 32 |

1 Introdução

Neste trabalho são descritas as atividades do estágio supervisionado realizado na empresa Solar Nobre no setor de engenharia, durante o período entre 24 de Novembro de 2021 e 15 de Março de 2022, com carga horária de 20 horas semanais, totalizando 272 horas, com a orientação do professor Bruno Barbosa Albert e supervisão do engenheiro eletricitista e proprietário da empresa Eduardo Silva Fernandes.

O principal serviço fornecido pela empresa Solar Nobre é a comercialização e instalação de sistemas solares fotovoltaicos. Foram realizados estudos sobre a Resolução Normativa n° 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e sobre as Normas de Distribuição Unificadas (NDUs) 001 (2019, revisão 6.0) e 013 (2019, revisão 4.1) da concessionária Energisa.

1.1 Objetivos

O objetivo do estágio supervisionado foi realizar procedimentos em uma empresa de instalações de painéis solares propostas pelo engenheiro supervisor.

Durante o estágio foram realizadas as seguintes atividades:

- Elaboração do *layout* de projeto;
- Preenchimento de documento técnico;
- Elaboração de projeto elétrico;
- Acompanhamento de obra.

1.2 Estruturação do Trabalho

O documento está dividido em 4 capítulos. No Capítulo 1 são apresentados o estágio, os objetivos e a organização do texto.

No Capítulo 2 é apresentada a empresa Solar Nobre.

No Capítulo 3 é apresentada a fundamentação teórica sobre temas pertinentes ao estágio.

No Capítulo 4 são apresentadas as atividades desenvolvidas durante o estágio.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões.

2 A Empresa

A Solar Nobre é uma empresa situada na rua Dom Pedro II, Loja 04, Centro, em Campina Grande, na Paraíba, fundada em 2017 por Eduardo Silva Fernandes.

A empresa trabalha com fornecimento de equipamentos e serviços elétricos, dentre eles, sistemas solares fotovoltaicos, sistemas de aquecimento para piscinas, projetos elétricos residenciais, sistemas de automação para residências e indústrias. Na Figura 1, apresenta-se a fachada da empresa e na Figura 2, apresenta-se a sala do setor de projetos.

A empresa conta com setores como Vendas, Projetos e Instalação, onde as atividades foram focadas no setor de projetos.

O setor de vendas é responsável pela prospecção de clientes e toda a parte financeira da empresa, desde os orçamentos e a tramitação dos procedimentos para o financiamento do cliente.

O setor de engenharia é o setor responsável pelo preenchimento dos documentos exigidos pela concessionária para que seja feita a conexão com a rede de distribuição de baixa tensão e a elaboração dos projetos fotovoltaicos.

O setor de instalação recebe os projetos e executam toda a instalação na propriedade do cliente.

Figura 1: Fachada da Empresa Solar Nobre.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 2: Sala do Setor de Projetos da Empresa Solar Nobre.



Fonte: Próprio Autor.

3 Fundamentação Teórica

A energia solar que incide na atmosfera da terra é de aproximadamente $5,445 \times 10^{24}$ joules ou $1,5125 \times 10^{18}$ kWh de energia. Para quesito de comparativo a energia produzida pelo ser humano no ano de 1970 por todos os sistemas até então desenvolvidos foi de 2×10^{20} joules ou 0,004% da energia recebida através do Sol.

O aproveitamento, de forma artificial, da energia solar para a conversão em energia elétrica é realizado através do efeito fotovoltaico.

3.1 Arquitetura Bioclimática

A arquitetura bioclimática consiste em conceber edificações baseando-se no clima local a fim de proporcionar conforto térmico aproveitando fontes ambientais, assim como a integração estética ao ambiente circundante.

3.2 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico consiste na conversão direta da luz do sol em energia elétrica através do uso de células fotovoltaicas.

A energia elétrica produzida pelo o efeito fotovoltaico é conhecida como energia solar fotovoltaica, e será detalhada na seção a seguir.

3.3 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia elétrica produzida pelo efeito fotovoltaico, que consiste na conversão direta dos raios solares em corrente elétrica. Nos sistemas fotovoltaicos, essa corrente é coletada, podendo ser armazenada em baterias (*off grid*) ou utilizada diretamente em sistemas conectados à rede elétrica (*on grid*). A seguir, serão explicados os elementos que compõem a energia solar fotovoltaica.

3.3.1 Radiação Solar

A radiação solar é a energia emitida pelo sol na forma de radiação. Uma grandeza empregada para quantificar a radiação solar é a irradiância, expressa na unidade W/m^2 .

Os raios solares, ao cruzarem a atmosfera terrestre, sofrem o efeito da difusão. Dessa forma, uma pequena parte é desviada e refletida (radiação difusa) e a outra continua sua trajetória em linha reta (radiação direta).

A captação da radiação direta pode ser melhorada pela forma como os módulos solares são instalados. Para locais no hemisfério sul, a melhor maneira é orientá-los para o norte geográfico, para locais no hemisfério norte, para o sul geográfico.

3.3.2 Célula Fotovoltaica

Uma célula fotovoltaica é um aparelho responsável por converter a energia luminosa em energia elétrica. A célula é composta por duas camadas de material semicondutor, uma tipo P e outra tipo N, uma grade e uma base metálicas. Na Figura 3, apresenta-se a estrutura de uma célula fotovoltaica.

As tecnologias de fabricação de células fotovoltaicas mais comuns são: silício monocristalino, silício policristalino e filme fino de silício. O tipo de material e tecnologia empregada na fabricação, resulta em diferentes níveis de eficiência para a placa.

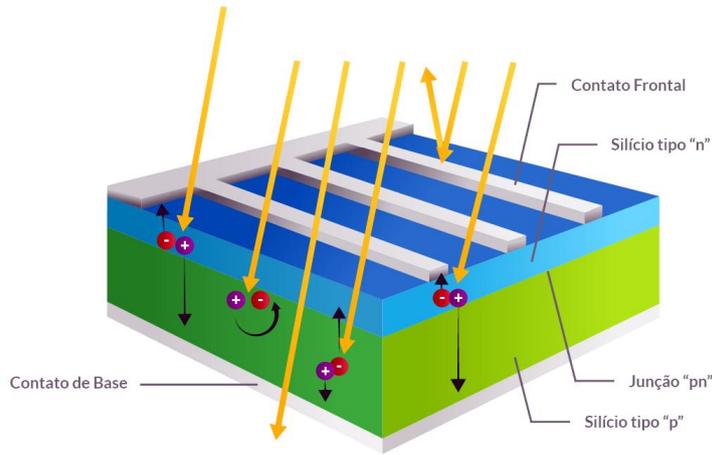
3.3.3 Módulo Fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são formados pelo agregado de várias células fotovoltaicas.

Uma célula fotovoltaica consegue fornecer uma tensão elétrica de 0,3 a 0,5 Volts. Assim, para produzir módulos com tensões de saída maiores, os

¹Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/>>. Acessado em: 29/02/2022.

Figura 3: Estrutura de uma Célula Fotovoltaica.

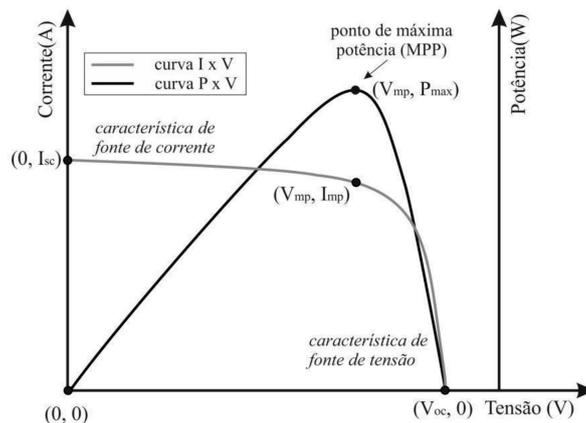


Fonte: BlueSol [1].

fabricantes conectam várias células em série. Dependendo da potência, um módulo pode possuir, 36, 54 ou 60 células.

O ponto de operação de um módulo depende da carga ligada em seus terminais. Na Figura 4, apresenta-se as curvas I-V e P-V, que são determinadas experimentalmente. A curva I-V relaciona a corrente e a tensão de saída do módulo, a curva P-V representa a relação entre a potência e a tensão de saída do painel.

Figura 4: Curvas Características I-V e P-V.



Fonte: Carlette (2015).

A partir dessas curvas é possível obter os principais parâmetros elétricos de interesse do módulo, que são:

- **Tensão de Máxima Potência (V_{mp}):** é a tensão máxima no módulo, em seu ponto de máxima potência.
- **Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):** tensão máxima no módulo, sem a presença de carga (em vazio).
- **Corrente em Máxima Potência (I_{mp}):** é a corrente máxima que o módulo pode fornecer, em seu ponto de máxima potência.
- **Corrente de Curto Circuito (I_{sc}):** corrente máxima que o módulo pode fornecer, quando seus terminais estão em curto circuito. A corrente em curto circuito, geralmente é 5% superior à corrente máxima.
- **Potência Máxima (P_{max}):** é a potência máxima que o módulo pode fornecer. A potência é o produto da tensão pela corrente. Dessa forma, a potência máxima ocorre quando a tensão e a corrente estão nos seus valores máximos.

Foram desenvolvidos aparelhos capazes de alcançar o ponto de máxima potência (MPP, em inglês, *maximum power point*) em diversas condições de irradiância e de temperatura. Esses aparelhos são conhecidos como seguidores do ponto de máxima potência (MPPT, *maximum power point trackers*).

A seguir serão explicados os tipos de sistemas que permitem a produção de energia solar fotovoltaica.

3.4 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser de dois tipos, são eles: sistemas conectados à rede (*on grid*) e sistemas autônomos (*off grid*), e serão explicados a seguir.

3.4.1 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos

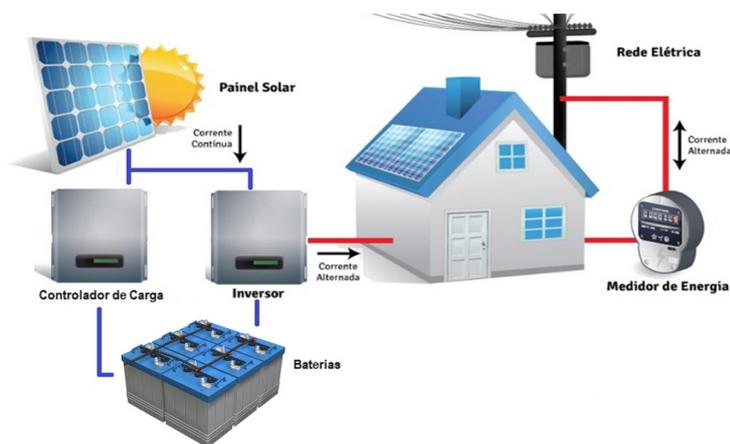
Os sistemas fotovoltaicos autônomos são empregados em locais não atendidos por uma rede elétrica, podem ser usados para fornecer energia elétrica em residências de zonas rurais ou lugares onde a energia elétrica não esteja disponível. Muitos lugares do Brasil não são atendidos com rede de energia elétrica sendo assim, pode ser empregado para substituir geradores movidos a diesel, com a vantagem de redução de ruído e eliminar a poluição. Os

sistemas fotovoltaicos exigem pouca manutenção, são silenciosos e não precisam de abastecimento de combustível. Os sistemas autônomos encontram aplicação na iluminação pública, sinalização de estradas, na alimentação de sistemas de telecomunicações e carregamento de baterias de veículos terrestres e náuticos.

O sistema fotovoltaico autônomo é comumente composto de conjunto de placas fotovoltaicas, controlador de carga e bateria e para essa aplicação um inversor de tensão contínua para tensão alternada. Os módulos fotovoltaicos produzem corrente contínua sendo assim para essa ocasião há necessidade de converter essa corrente contínua em corrente alternada para alimentar lâmpadas, aparelhos eletrodomésticos, computadores ou qualquer outro equipamento que normalmente é alimentado pelas redes elétricas de corrente alternada. É requerido o uso de baterias sempre empregado em conjunto com um controlador de carga que nada mais é do que um carregador de bateria para aplicações que utilizam sistemas fotovoltaicos. O controlador de carga é necessário para prolongar a vida útil, protegendo de sobrecarga ou descargas excessivas.

Na Figura 5, apresenta-se os componentes básicos de um sistema fotovoltaico autônomo.

Figura 5: Componentes Básicos de um Sistema Fotovoltaico Autônomo.



Fonte: Ribsol Energia Solar (2022)²

²Disponível em: <<https://ribsol.com.br/sistemas-fotovoltaicos/>>. Acessado em: 21/03/2021.

3.4.2 Sistemas Conectados à Rede

Os sistemas conectados à rede são os sistemas que estão ligados em paralelo com rede elétrica da concessionária. Dessa forma, podem reduzir ou eliminar o consumo da rede, ou até mesmo gerar excedente de energia que é fornecido à rede.

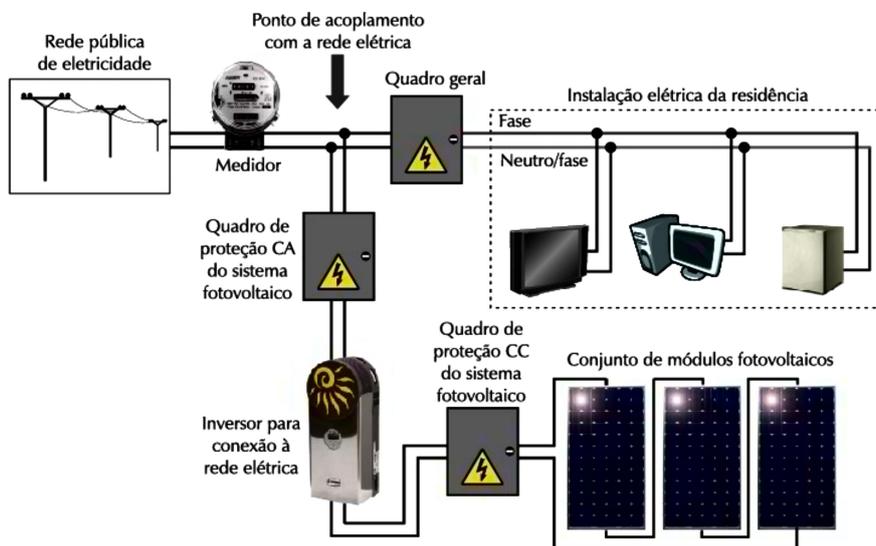
Um sistema fotovoltaico conectado à rede é formado por: módulo ou conjunto de módulos fotovoltaicos, quadro de proteção e inversor.

Os sistemas conectados à rede são classificados de acordo com seu tamanho, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as duas categorias são:

- **Microgeração:** potência instalada até 75 kW;
- **Minigeração:** potência instalada acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW;

Na Figura 6, apresenta-se a organização e componentes de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica.

Figura 6: Componentes de um Sistema Fotovoltaico Residencial Conectado à Rede Elétrica.



Fonte: Adaptado de Villalva (2012).

3.5 Normas e Regulamentos

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é a agência reguladora, que tem como finalidade regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. A ANEEL é responsável pela resolução normativa que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Segundo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), uma norma técnica é um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece, para um uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para os produtos ou processo. Dessa forma, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto.

Os projetos elaborados durante o estágio foram em regiões atendidas pelas concessionárias do Grupo Energisa. Dessa forma, serão apresentadas informações referentes as Normas de Distribuição Unificadas (NDUs) dessa empresa. A seguir serão apresentadas a resolução normativa e as normas pertinentes a elaboração dos projetos fotovoltaicos.

3.5.1 Resolução Normativa 687/2015

Em 17 de abril de 2012 a ANEEL publicou sua Resolução n° 482, possibilitando a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, visando à produção de eletricidade para o consumo próprio, como acontece em outros países, e possibilita fornecer o excedente para a rede de distribuição local. O excedente é convertido em créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes do consumidor.

A resolução normativa 687/2015 foi uma atualização da resolução normativa 482/2012, e segundo a ANEEL (2015) tem com objetivo reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração, compatibilizar o sistema de compensação de energia elétrica com as condições gerais de fornecimento (Resolução Normativa n° 414/2010), aumentar o público alvo, e melhorar as informações na fatura,. Em 2020 foi proposto um revisão na normativa visando realizar alterações para taxar os pequenos produtores de energia solar, recomendando a taxa em 28

Leia mais em: <https://www.comprerural.com/aprovada-a-taxacao-da-energia-solar-veja-os-detalhes/>

Segundo a ANEEL (2015), as inovações trazidas pela resolução são: o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses; possibilidade da

instalação de geração distribuída em condomínios, em que a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos; criação da categoria de "geração compartilhada", possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

3.5.2 NDU - 001

A Norma de Distribuição Unificada 001 (2019, revisão 6.0) é a norma técnica que apresenta os requisitos mínimos e as diretrizes necessárias para projetos e execução das instalações de entradas de serviço das unidades consumidoras de baixa tensão, nas concessionárias do Grupo Energisa, quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW, conforme legislação em vigor (Energisa, 2019a).

A norma contém os padrões, procedimentos, critérios técnicos e operacionais envolvidos nas instalações individuais ou agrupadas até três unidades consumidoras, seguindo as exigências técnicas e de segurança recomendadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e em conformidade com as Resoluções Normativas da ANEEL (Energisa, 2019a).

Portanto, a NDU 001 é essencial para elaboração de projetos elétricos para as unidades consumidoras atendidas pela concessionária Energisa.

3.5.3 NDU - 013

A Norma de Distribuição Unificada 013 (2019, revisão 4.1) é a norma técnica que apresenta os requisitos mínimos e as diretrizes necessárias para a conexão de geradores à rede de distribuição de Baixa de Tensão, nas concessionárias do Grupo Energisa (Energisa, 2019b).

O objetivo da norma é estabelecer padrões e procedimentos de acesso, critérios técnicos, operacionais e o relacionamento operacional envolvidos na conexão de consumidores, atendidos em baixa tensão, que utilizem cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica, observando as exigências técnicas e de segurança recomendadas pela ABNT, e em conformidade com as prescrições vigentes nos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) e nas resoluções normativas da ANEEL (Energisa, 2019b).

Quando um projeto de geração distribuída solar é realizado, ele deve ser submetido ao Grupo Energisa para avaliação dos critérios presentes nas normas técnicas e após a aprovação, inicia-se a instalação na unidade consumidora. Por fim, ocorre a vistoria pela concessionária para checar as devidas

exigências e a aprovação para a conexão com a rede de baixa tensão da Energisa.

4 Atividades Desenvolvidas

Neste capítulo são apresentadas as atividades desenvolvidas durante a realização do estágio, são elas: elaboração do *layout* de projeto, preenchimento de documento técnico, elaboração de projeto elétrico e acompanhamento de obra.

Foram desenvolvidos 8 projetos fotovoltaicos do tipo *on grid*, tanto para o padrão de entrada monofásico quanto para o trifásico.

4.1 Projeto Fotovoltaico

As etapas para conclusão de um sistema fotovoltaico *on grid* são: proposta, elaboração do projeto, submissão dos documentos e prancha à concessionária, instalação do sistema solar fotovoltaico e parametrização do inversor, vistoria da concessionária e conexão do sistema à rede.

As propostas dos projetos foram elaboradas por Eduardo Silva Fernandes, supervisor e proprietário da empresa. Entretanto, foi possível acompanhar o processo de elaboração de algumas, que consiste em: solicitar alguns dados do cliente para que, utilizando as plataformas das distribuidoras parceiras da empresa, seja possível efetuar o dimensionamento do sistema fotovoltaico que melhor atenda as suas necessidades.

O dimensionamento do sistema solar pode ser feito também pela Equação [1](#), definida a seguir.

$$P = \frac{C_{md}}{I_{md} \times \eta} \quad (1)$$

Em que:

- P : é a potência do sistema (kWp);
- C_{md} : é a média de consumo diário (kWh);
- I_{md} : é a média da irradiação solar diária (kWh/m².dia);
- η : é o rendimento do sistema (tipicamente 0,8);

O cliente analisa a proposta e após a sua aprovação, os equipamentos são adquiridos com os fornecedores e inicia-se o projeto fotovoltaico. Para exemplificar as atividades desenvolvidas, será apresentada a metodologia aplicada na elaboração de um projeto fotovoltaico trifásico *on grid* de 4,05 kW de potência, com estimativa de geração mensal de 500 kWh. O projeto foi realizado no bairro Três Irmãs na cidade de Campina Grande, Paraíba, com um custo final de R\$ 18.500,00.

4.1.1 Documentação Técnica

Com a proposta elaborada e aprovado pelo cliente, inicia-se o processo de preenchimento da documentação técnica. Os documentos técnicos são: o memorial técnico e o formulário de solicitação. Esses documentos são submetidos a concessionária para análise do projeto.

O memorial técnico apresenta detalhes do sistema de geração distribuída solar, as principais são:

- Identificação da unidade consumidora (UC);
- Certificação dos equipamentos;
- Detalhes dos equipamentos de proteção;
- Descrição do sistema de Aterramento;
- Características dos módulos e inversor.

O memorial técnico é composto de duas partes. A primeira parte do memorial técnico, "Cadastro" apresenta informações tais como: tipo de projeto, dados da obra, dados do proprietário, dados da UC, UCs que irão participar do sistema de compensação e dados do responsável técnico. Na Figura 7, apresenta-se a primeira parte do memorial técnico.

Figura 7: Memorial Técnico - Cadastro.

| MEMORIAL TÉCNICO PARA PROJETO ELÉTRICO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD) SOLAR | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|
| Tipo de Projeto | | Microgeração (potência inferior ou igual a 75kW) | | Previsão de Atendimento: Empresário | |
| FINALIDADE | | O projeto prevê a instalação de um sistema de energia solar fotovoltaica conectado ao sistema de distribuição de BT da Energia para acesso a microgeração, com potência instalada menor que 75 kW. O projeto tem como finalidade atender a residência registrada pelo nº da UC. | | | |
| Normas e Práticas Técnicas e Resoluções Relacionadas: | | NDE 013, NDU 001, Resolução 482, NDU 015, Prodist 3.7 | | | |
| DADOS DO PROPRIETÁRIO | | | | | |
| NOME | | | | | |
| PESSOA FÍSICA | | CPF | | REG/EMISSOR | |
| ENDEREÇO | | Nº | | COMP. | |
| BAIRRO | | CIDADE CAMPINA GRANDE, PB | | UF RJ | |
| EMAIL | | | | | |
| TELEFONE 01 | | 02 | | 03 | |
| DADOS DA OBRA | | | | | |
| EDIFICAÇÃO | | | | | |
| ENDEREÇO | | Nº | | COMP. | |
| BAIRRO | | CIDADE CAMPINA GRANDE, PB | | ZONA URBANA | |
| Dados da Unidade Consumidora Geradora | | | | | |
| UNIDADE DE CONSUMIDORA EXISTENTE: | | Matrícula | | Geração na Própria UC | |
| Tipo de Fonte da Geração | | Solar | | Potência de Geração 4,1 kW | |
| Potência previamente instalada da UC | | 23 kW | | Tipo de Ramal de Entrada Aéreo | |
| Tipo de conexão | | Trifásica | | Causa de Atendimento Residencial | |
| Tensão de conexão | | 220/380V | | | |
| Dimensionamento do Ramal de Entrada | | Condutor: cabo de cobre isolado de 5kV PVC 3x30(0). Aterramento: 3 hastes de cabo de cobre de 6mm ² . Diâmetro Termoprotetido de 40A. Eletroduto: 32mm PVC. Rigido | | | |
| DESCREVER ABAIXO TODAS AS UCs QUE IRÃO PARTICIPAR DO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO: | | | | | |
| Nº UC | | % de Compensação | | Nº UC | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| DADOS DO RESP. TÉCNICO | | | | | |
| NOME | | | | | |
| REG. PROFISSIONAL | | ORGÃO: CFT | | CPF | |
| EMAIL | | | | | |
| TELEFONE 01 | | 02 | | 03 | |
| PARTICIPAÇÃO | | | | | |

Fonte: Solar Nobre.

A segunda parte do memorial técnico, "Informações da Geração" apresenta informações tais como: informações dos módulos fotovoltaicos, informações dos inversores e parâmetros de proteção recomendados pela Energisa para a parametrização do inversor. Na Figura 8, apresenta-se a segunda parte do memorial técnico.

Figura 8: Memorial Técnico - Informações da Geração.

| MEMORIAL TÉCNICO PARA PROJETO ELÉTRICO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD) SOLAR | | | |
|--|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| Informações Das Placas | | | |
| <i>Fabricante dos Módulos</i> | Canadian Solar | <i>Modelo dos Módulos</i> | CS3W-410P (INMETRO 004325/2018) |
| <i>Potência Individual dos Módulos (Wp):</i> | 410 | <i>Quantidade de Módulos</i> | 10 |
| <i>Potência Total da Geração (kWp):</i> | 4,10 | <i>Área Total dos Arranjos (m²)</i> | 20 m² |
| <i>Localização da Instalação das placas:</i> | Será instalado no telhado | | |
| Informações Dos Inversores | | | |
| <i>Fabricante do Inversor</i> | Solar | <i>Modelo dos Inversores</i> | 3300TL-G3 |
| <i>Potência Individual dos Inversores (kW):</i> | 3,3 | <i>Quantidade de Inversores</i> | 1 |
| <i>Potência Total dos Inversores (kW):</i> | 3,3 | <i>Localização dos Inversores:</i> | Ao lado do QDC |
| <i>Altura do Inversor - Do topo do visor até a pia acabado</i> | 1,50m | <i>Certificações:</i> | (INMETRO 003358/2020) |
| <i>Dimensionamento dos equipamentos de proteção</i> | Condutores: CC: #6mm² isolamento HEPR/XLPE; CA: #10mm² isolamento HEPR/XLPE; Disjuntores CA: termomagnético de 20A bipolar; DPS: CA: 275 VCA - 40kA. Aterramento: 03 hastes de terra cobreada de 2,4m x 5/8" interligada entre si com cabo de cobre nu #10,0mm², distância entre as hastes de 3m. Para conexão com a haste/cabo será usado conector grampo GTDU revestido com massa catáfora | | |
| Ajustes Recomendados das Proteções - Parametrização do Inversor | | | |
| <i>Descrição</i> | <i>Parâmetros</i> | <i>Tempo de Atuação</i> | |
| <i>Tensão no ponto de Conexão:</i> | V < 80% (0,8 PU) Vn | Desligar em 0,2 s | |
| <i>Tensão no ponto de Conexão:</i> | V < 110% (1,1 PU) Vn | Desligar em 0,2 s | |
| <i>Regime Normal de Operação</i> | 80 % <= V < 110% | Condições normais | |
| <i>Subfrequência</i> | f < 57,5 HZ | Desligar em até 0,2 s | |
| <i>Sobrefrequência</i> | f > 62,0 HZ | Desligar em 0,2 s | |
| <i>Frequência Nominal da Rede</i> | f = 60 HZ | Condições normais | |
| <i>Após a perda da rede (ilhamento), deverá interromper o fornecimento de energia a rede:</i> | Ilhamento | Interromper em até 2s | |
| <i>Após a retomada das condições normais de tensão e frequência da rede, religar:</i> | Reconexão | Após 180s | |
| NOTAS: | | | |
| 1. Os inversores deverão ser instalados em local de fácil e permanente acesso, onde o visor do inversor deverá ficar a uma altura máxima de 1,50m do piso acabado ao seu topo. | | | |
| 2. Próximo à caixa de medição deverá ser instalada uma placa de advertência com os seguintes dizeres: "CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA". | | | |
| 3. A placa de advertência deverá ser confeccionada em PVC ou acrílico com espessura mínima de 1mm e conforme modelo apresentado no desenho 16, em anexo à Norma Técnica 013. | | | |
| 4. Para o ramal de entrada monofásico deverá ser instalado a caixa de medição trifásica, pois a monofásica não suporta o medidor bidirecional. | | | |
| Observações do projeto: | | | |
| PARCEER ENERGISA | | | |
| ESPAÇO PARA INSERIR LOGOTIPO DA EMPRESA RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO PROJETO | | | |

Fonte: Solar Nobre.

O formulário de solicitação apresenta as informações necessárias para solicitação do acesso a interligação do sistema de geração à rede da concessionária, tais como: dados da UC, dados da geração, documentações a serem anexadas, contatos da distribuidora e dados do solicitante. Esse documento é disponibilizado pela concessionária. Na Figura 9, apresenta-se um formulário de solicitação para a rede da concessionária Energisa.

Figura 9: Formulário de Solicitação de Acesso para Microgeração Distribuída com Potência Igual ou Inferior a 10 kW.

| SOLICITAÇÃO DE ACESSO PARA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM POTÊNCIA IGUAL OU INFERIOR A 10kW | | | | | |
|---|--|-----------------------------------|---|------|--|
| 1. IDENTIFICAÇÃO DA UNIDADE CONSUMIDORA - UC | | | | | |
| Código da UC: | | Classe: | Residencial | | |
| Titular da UC: | | | | | |
| Logradouro: | | | | | |
| N°: | Bairro: | Cidade: | Campina Grande | | |
| E-mail: | | UF: | PB | CEP: | |
| Telefone: | | Celular: | | | |
| CNPJ/CPF: | | | | | |
| 2. DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA - UC | | | | | |
| Potência Instalada (kW): | 23 | Tensão de Atendimento: | 380/220 V | | |
| Tipo de Conexão: | Monofásica <input type="checkbox"/> | Bifásica <input type="checkbox"/> | Trifásica <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Tipo de Ramal: | Aéreo <input checked="" type="checkbox"/> | Subterrâneo | <input type="checkbox"/> | | |
| 3. DADOS DA GERAÇÃO | | | | | |
| Potência Instalada de Geração (kWp): | 4,1 | | | | |
| Tipo da Fonte de Geração: | Solar <input checked="" type="checkbox"/> | Eólica <input type="checkbox"/> | Biomassa <input type="checkbox"/> | | |
| | Cogeração <input type="checkbox"/> | Outra (Especificar): | | | |
| 4. DOCUMENTAÇÕES A SEREM ANEXADAS | | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 1. ART do Responsável Técnico pelo Projeto Elétrico e instalação do sistema de Microgeração; | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 2. Diagrama Unifilar contemplando Geração/Proteção (Inversor, se for o caso)/Medição e Memorial Descritivo da instalação; | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 3. Certificado de conformidade do(s) Inversor(es) ou número de Registro da concessão do INMETRO do(s) inversor(es) para a tensão Nominal de conexão com a rede; | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 4. Dados necessários ao Registro da Central Geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 5. Lista de Unidades Consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI e VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012; | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 6. Cópia de documento que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver); | | | | |
| <input type="checkbox"/> | 7. Documento que comprove o reconhecimento pela ANEEL da cogeração qualificada (se houver). | | | | |
| 5. CONTATOS NA DISTRIBUIDORA (PREENCHIDO PELA DISTRIBUIDORA) | | | | | |
| Responsável/Área: | | | | | |
| Endereço: | | | | | |
| Telefone: | | | E-mail: | | |
| 6. DADOS DO SOLICITANTE | | | | | |
| Nome/Procurador Legal: | | | | | |
| Telefone: | | | E-mail: | | |
| Local: | Campina Grande - PB | | | | |
| Data: | ___/___/_____ | | Assinatura do Responsável | | |

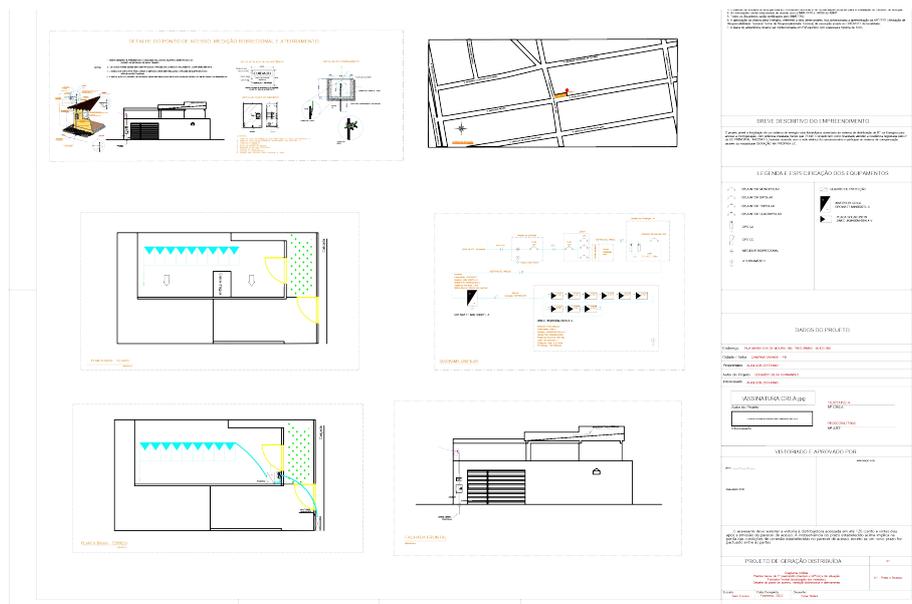
Fonte: Energisa.

4.1.2 Prancha

Com a proposta elaborada e aprovado pelo cliente, inicia-se o processo de elaboração do *layout* do projeto, resultando na prancha. A prancha apresenta informações básicas do projeto, tais como: Diagrama unifilar, potência do inversor, dimensionamento de cabos, disjuntores, hastes de aterramento, dispositivos de proteção contra surtos CC e CA, com base na norma ABNT NBR (Associação Brasileira de Normas Técnicas Norma Brasileira) 5410 (2004), NDU 013 e NDU 001, representação da fachada frontal e padrão de entrada, planta baixa do telhado e térreo, planta de situação e notas obrigatórias.

Na Figura 10, apresenta-se a prancha do projeto fotovoltaico trifásico *on grid* de 4,05 kW de potência.

Figura 10: Prancha do Projeto Fotovoltaico Trifásico *On Grid* de 4,05 kW de Potência.



Fonte: Próprio Autor.

Nesse projeto foram utilizados nove módulos fotovoltaicos da fabricante JINKO, modelo JKM450M-60HL4-V. A quantidade de módulos pode ser determinada pela Equação 2, definida a seguir.

$$Q_m = \frac{P}{P_m} \quad (2)$$

Em que:

- Q_m : é a quantidade de módulos;
- P : é a potência do sistema (kWp);
- P_m : é a potência máxima que o módulo pode fornecer (kWp);

Para a proteção CC foi utilizado uma *string box* de uma entrada e uma saída, com dispositivo de proteção contra surtos (DPS) de tensão nominal de 1000 VCC e corrente nominal de 20 kA. A *string box* é um equipamento de proteção da parte CC do sistema fotovoltaico, é conectada entre os módulos fotovoltaicos e o inversor, fornece proteção contra sobretensão e sobrecorrente e permite o seccionamento do circuito.

Para a proteção CA foram utilizados dois DPSs com tensão máxima de operação de 275 VAC e capacidade máxima de descarga de 40 kA e dois disjuntores, em que um foi instalado na caixa de proteção CA e o outro no quadro geral. Segundo a norma ABNT NBR 5410 (2004), para que a proteção dos condutores contra sobrecargas fique assegurada, as características de atuação do dispositivo destinado a provê-la devem ser tais que:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (3)$$

$$I_2 \leq 1,45I_Z \quad (4)$$

Em que:

- I_B : é a corrente do circuito;
- I_Z : é a capacidade de condução de corrente dos condutores;
- I_n : é a corrente nominal do dispositivo de proteção;
- I_2 : é a corrente convencional de atuação, para disjuntores, ou corrente convencional de fusão, para fusíveis.

Foram utilizados condutores de 4 mm² com isolamento HEPR/XLPE e foi admitido uma corrente 25% superior a corrente máxima de saída do inversor, assim, têm-se que:

$$I_B = 1,25 \times 16$$

$$I_B = 20 \text{ A}$$

e,

$$I_Z = 42 \text{ A}$$

Assim, pela Inequação [3](#), tem-se que:

$$20 \leq I_n \leq 42$$

Foram escolhidos disjuntores de 20 A, ou seja, $I_n = 20 \text{ A}$, pela Inequação [4](#), tem-se que:

$$\begin{aligned} I_2 &\leq 1,45I_Z \\ 1,45 \times 20 &\leq 1,45 \times 42 \\ 23,2 \text{ A} &\leq 60,9 \text{ A} \end{aligned}$$

Dessa forma, a Inequação [3](#) e Inequação [4](#) foram atendidas.

Além da prancha e documentação técnica, para a solicitação de acesso à microgeração distribuída, deve-se anexar os certificados de conformidade do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) do inversor e módulo utilizados no projeto. Esses documentos atestam que os equipamentos passaram por ensaios e foram aprovados, conforme as normas técnicas brasileiras. Por fim, o projeto pode ser submetido a concessionária.

4.1.3 Acompanhamento da Obra

Com a aprovação da concessionária, inicia-se a obra do projeto fotovoltaico. No acompanhamento da obra, foi possível ter a experiência prática da instalação e conhecer os dispositivos que compõem o sistema de geração.

As etapas principais da obra são: embutir os eletrodutos para passagem dos cabos de alimentação CC e CA, fixação das placas no telhado, realização das conexões elétricas dos dispositivos e a parametrização do inversor, seguindo os critérios estabelecidos pela concessionária. Na Tabela [1](#), apresenta-se os ajustes recomendados de proteção para parametrização do inversor de acordo com a NDU 13 (2019, revisão 4.1).

Na Figura [11](#), apresenta-se uma fotografia ilustrativa de um momento de acompanhamento da obra do projeto fotovoltaico trifásico *on grid*. Com a obra finalizada, ocorre a vistoria pela concessionária para checar as devidas exigências e a aprovação para a conexão com a rede de baixa tensão da Energisa.

Tabela 1: Parâmetros de Proteção do Inversor Recomendados pela Energisa.

| Descrição | Parâmetros | Tempo de Atuação |
|---|----------------------------------|------------------------|
| Tensão no ponto de Conexão | $V < 80\% (0,8 \text{ PU}) V_n$ | Desligar em 0,2 s |
| Tensão no ponto de Conexão | $V > 110\% (1,1 \text{ PU}) V_n$ | Desligar em 0,2 s |
| Subfrequência | $f < 57,5 \text{ Hz}$ | Desligar em até 0,2 s |
| Sobrefrequência | $f > 62,0 \text{ Hz}$ | Desligar em 0,2 s |
| Após a perda da rede (ilhamento), deverá interromper o fornecimento de energia à rede | Ilhamento | Ilhamento em até 0,2 s |
| Após a retomada das condições normais de tensão e frequência da rede, religar | Reconexão | Após 180 s |

Fonte: [Energisa](#) (2019b).

Figura 11: Momento de Acompanhamento de Obra do Projeto Fotovoltaico *On Grid*



Fonte: Próprio Autor.

5 Conclusões

O estágio na empresa Solar Nobre é muito enriquecedor para o desenvolvimento profissional, mostrando o cotidiano de um engenheiro eletricitista e de uma empresa do ramo solar. O aprendizado em assuntos empresariais e o conhecimento sobre sistemas fotovoltaicos são de grande auxílio na execução da função de um engenheiro eletricitista.

O curso de Engenharia Elétrica na UFCG foi de grande importância para o desenvolvimento teórico dos conceitos do estagiário em disciplinas como Instalações Elétricas, Sistemas Elétricos, Geração de Energia Elétrica e Expressão Gráfica, otimizando o tempo gasto na compreensão e aprendizagem das atividades executadas. Para um melhor desenvolvimento acredito ser necessário um embasamento empresarial mais focado no dia-a-dia do trabalho de um engenheiro ou dono de empresa, assim como um curso em excel avançado para melhoria nos processos utilizados para gerir e realizar projetos em uma empresa.

A empresa de energia solar mostra-se atender uma crescente demanda do mercado. O trabalho oferecido é de um retorno considerável ao cliente, obtendo grande vantagem ao realizar a instalação.

Referências

- ABNT. Perguntas frequentes. <https://www.abntcatalogo.com.br/faq.aspx>. Acessado em: 22/12/2021.
- ANEEL. Geração distribuída. <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>, 2015. Acessado em: 04/12/2021.
- L. P. Carlette. Comparação de algoritmos de máxima potência para carregamento de baterias em sistemas fotovoltaicos. *Trabalho de conclusão de curso*, 2015.
- Energisa. Ndu - 001. *Fornecimento de Energia Elétrica a Edificações Individuais ou Agrupadas até 3 Unidades Consumidoras*, 2019a.
- Energisa. Ndu - 013. *Critérios para a Conexão em Baixa Tensão de Acesantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição*, 2019b.
- M. G. Villalva. *Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações*. Érica, 2012.