



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

VITALINO DE ALENCAR BEZERRA NETO

**Relatório de Estágio
Dalpra Representações**

**Campina Grande
2024**

VITALINO DE ALENCAR BEZERRA NETO

**Relatório de Estágio
Dalpra Representações**

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

Orientador: Ronimack Trajano de Sousa

Campina Grande
2024

Em primeiro lugar a Deus e a Cristo que me deram a redenção e a própria vida. E a minha família e professores que contribuíram para minha melhora como ser humano.

AGRADECIMENTOS

De início agradeço a Deus, que nos momentos mais difíceis me ajudou a prosseguir.

A meus pais que foram sempre meus alicerces que mesmo nas piores tempestades me mantiveram erguido.

Ao Prof. Ronimack Trajano, que esteve presente em quase todo meu percurso na graduação das disciplinas básicas até as ênfases, obrigado por todos os ensinamentos.

Aos professores que amam o que fazem contribuindo para o crescimento de todos que buscam o caminho da educação.

A minha irmã Leda que foi minha companhia durante todo o percurso acadêmico, dividindo os bons e maus momentos.

A Paola Bezerra que acredita e me incentiva mais que qualquer outra pessoa.

Aos meus supervisores de estágio Adones e Maria, agradeço pelo apoio e experiências compartilhadas.

Aos profissionais da WEG que sempre quando os procurei me atenderam e me ensinaram muito.

Agradeço aos magníficos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, sobretudo a Tchaikovsky e Adail, que nunca medem esforços para ajudar. Em conclusão agradeço a todos os funcionários da UFCG.

O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.

RESUMO

No corrente relatório tem-se como finalidade relatar as atividades desenvolvidas durante o estágio integrado do discente Vitalino de Alencar Bezerra Neto do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, na empresa Dalpra Representações, representante WEG da Paraíba, durante o período de 28 de fevereiro de 2024 a 6 de setembro de 2024. A carga horária foi de 40 horas semanais, totalizando 775 horas trabalhadas. O estágio foi realizado sob a orientação de Ronimack Trajano de Souza e supervisão de Adones Tafarel Dalprá. O aluno foi designado para elaboração e revisão de proposta técnica comercial, participar e ministrar palestras técnicas referentes a equipamentos WEG, acompanhamento de pedidos/carteiras, atendimento técnico a clientes.

Palavras-chave: Estágio Integrado, UFCG, WEG, Propostas Técnicas, Palestras.

ABSTRACT

The current report aims to present the activities carried out during the integrated internship of the student Vitalino de Alencar Bezerra Neto, from the Electrical Engineering course at the Federal University of Campina Grande (UFCG), at Dalpra Representações, a WEG representative in Paraíba, from February 28 to September 6, 2024. The internship had a workload of 40 hours per week, totaling 775 hours of work, under the guidance of Ronimack Trajano de Souza and supervision of Adones Tafarel Dalprá.

During the internship, the student was responsible for the preparation and revision of technical commercial proposals, participated in and delivered technical lectures on WEG equipment, followed up on orders and portfolios, and provided technical support to clients.

Keywords: Integrated Internship, UFCG, WEG, Technical Proposals, Lectures.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de geração <i>on-grid</i>	16
Figura 2 – Sistema <i>off-grid</i> com acumulação.	17
Figura 3 – Sistema <i>off-grid</i> sem acumulação.	18
Figura 4 – Sistema híbrido com acumulação.	19
Figura 5 – Média de consumo por tipo de carga em uma indústria.	20
Figura 6 – Faixas de tensão de operação CFW500.	34
Figura 7 – Curva de carga da residência para o período de 24h.	38
Figura 8 – Comportamento de consumo para 3 dias.	45
Figura 9 – Potência consumida sem o uso do inversor.	46
Figura 10 – Potência consumida com o uso do inversor.	46
Figura 11 – Motor antigo 1.	47
Figura 12 – Motor antigo 2.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Datasheet WEG Módulo 550 Wp.	25
Tabela 2 – Datasheet inversor SIW 300H M050 L1.	28
Tabela 3 – Datasheet SBW300.	37
Tabela 4 – Cargas instaladas na residência.	37
Tabela 5 – Comportamento estimado do sistema.	41
Tabela 6 – Folha de dados do motor de 7,5 cv.	50
Tabela 7 – Folha de dados disjuntor motor MPW40-3-U016.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampère
Bisc	Coefficiente de Temperatura da Corrente de Curto-circuito
Bmp	Coefficiente de Temperatura da Tensão de Máxima Potência
Bvoc	Coefficiente de Temperatura da Tensão de Circuito Aberto
C	Custo
C	Custo
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CV	Cavalo-Vapor
CkWh	Custo do Quilowatt-Hora
E	Consumo Médio Mensal da Residência
FCDt	Fluxo de Caixa Descontado do Período t
FCt	Fluxo de Caixa do Período t
FV	Fotovoltaica
Fs	Fator de Serviço
Gstc	Constante de Irradiação Solar
Htot	Irradiação solar média
I	Investimento
IEC	International Electrotechnical Commission
Imax	Máxima Corrente do Sistema
In	Corrente Nominal
In'	Corrente Nominal Corrigida
Ip	Corrente de Partida
Isc	Corrente de Curto-circuito do Módulo
Isc'	Corrente de Curto-circuito Corrigida do Módulo

KW	Quilowatt
L	Leste
L1	Primeiro segmento lombar
MPPT	Rastreamento do Ponto de Máxima Potência
NBR	Norma Brasileira
Nmax	Número Máximo de Módulos
Nmin	Número Mínimo de Módulos
NmodmaxMPPT	Número de Módulos Máximos por MPPT
NmodminMPPT	Número de Módulos Mínimos por MPPT
Nmodulos	Número de Módulos
Ns	Quantidade de Módulos em Série por MPPT
Nstrp	Número de Paralelos Dentro do Mesmo MPPT
PB	Plexo Braquial
Pfv	Potência Fotovoltaica
S	Área
SEE	Sistema de Eficiência Energética
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
St	Área Total
TD	Taxa de Desempenho
TIR	Taxa Interna de Retorno
Tmax	Máxima Temperatura
Tmin	Mínima Temperatura
V	Volt
VA	Volt Ampére
VPL	Valor Presente Líquido
Vmax	Máxima Tensão de Circuito

V _{min}	Tensão de Máxima para Funcionamento
V _{mp}	Tensão de Máxima Potência
V _{mp'}	Tensão de Máxima Potência Corrigida
V _{oc}	Tensão de Circuito Aberto
V _{oc'}	Tensão de Circuito Aberto Corrida
W _p	Watt-pico
kW	Quilowatts
kWh	Quilowatt-hora
kW _p	Quilowatt-pico
r	Taxa de Desconto
t	Período
°C	Graus Célsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Energia Solar Fotovoltaica	15
2.1.1	<i>On-grid</i>	16
2.1.2	<i>Off-grid</i>	16
2.1.2.1	<i>Off-grid com Acumulação</i>	16
2.1.2.2	<i>Off-grid sem Acumulação</i>	17
2.1.3	Geradores Híbridos	18
2.2	Eficiência Energética	19
2.3	Payback Descontado	20
2.4	Taxa Interna de Retorno	21
3	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	23
3.1	Projetos Fotovoltaicos	23
3.1.1	<i>On-grid</i>	23
3.1.1.1	Dados	23
3.1.1.2	Calculo da Potência Fotovoltaica em kWp	24
3.1.1.3	Módulos Fotovoltaicos	24
3.1.1.3.1	<i>Corrente de Curto-circuito Corrigida</i>	26
3.1.1.3.2	<i>Tensão de Circuito Aberto</i>	26
3.1.1.3.3	<i>Tensão de Máxima Potência</i>	27
3.1.1.4	Inversor	27
3.1.1.5	Número Máximo e Mínimos de Módulos por MPPT	29
3.1.1.6	Distribuição do Arranjo	30
3.1.1.7	Validação do Sistema	30
3.1.1.7.1	<i>Corrente de Curto-Circuito</i>	31
3.1.1.7.2	<i>Verificação de Máxima Tensão de Circuito Aberto</i>	31
3.1.1.7.3	<i>Verificação para Mínima Tensão de Funcionamento</i>	32
3.1.2	<i>Off-Grid sem Acumulação (Bombeamento)</i>	33
3.1.2.1	Dados	33
3.1.2.2	Inversor	33
3.1.2.3	Motor Fechado em Triângulo	34
3.1.2.4	Motor com Fechamento em Estrela	35

3.1.2.5	Escolha	36
3.1.3	<i>Off-Grid</i> com Acumulação	36
3.1.3.1	Dados	38
3.1.3.2	Potência Fotovoltaica	39
3.1.3.3	Inversor	39
3.1.3.4	Número de módulos de armazenamento e controle	40
3.1.3.5	Gerador	40
3.2	Projeto de Eficiência Energética	45
3.3	Dimensionamento de Disjuntor Motor	49
4	CONCLUSÃO	53
5	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A disciplina de estágio é uma atividade que desempenha um papel importante para a formação dos acadêmicos, pois permite que estes tenham a oportunidade ingressar na realidade de sua profissão. No decorrer do estágio, o estagiário desenvolveu atividades que contribuíram para o desenvolvimento de habilidades técnicas e não técnicas. Isso incluiu o manuseio de *softwares*, a interpretação e utilização de normas técnicas, desenvolvimento de projetos fotovoltaicos, eficiência energética, dimensionamento de equipamentos elétricos, participar de treinamentos presenciais e remotos oferecidos pela WEG além de atividades interpessoais e a chance de elaborar uma visão concreta das demandas e desafios presentes no mercado de trabalho. Todas essas atividades possibilitaram ao aluno aprimorar e pôr em prática conhecimentos obtidos durante a graduação.

Neste documento relata-se a experiência do aluno Vitalino de Alencar Bezerra Neto durante o seu estágio integrado em Engenharia Elétrica na empresa Dalpra Representações, representante WEG na Paraíba. O estágio teve início no dia 28 de fevereiro de 2024 e durou até o dia 6 de setembro de 2024, totalizando 775 horas de experiência ao longo de seis meses, com uma carga 40 horas semanais.

O aluno foi designado para elaboração e revisão de proposta técnica comercial, participar e ministrar palestras técnicas referentes a equipamentos WEG, acompanhamento de pedidos/carteiras, atendimento técnico a clientes, sob supervisão de Adones Tafarel Dalprá e orientação do professor Ronimack Trajano de Souza.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Fornecer suporte técnico na execução de projetos fotovoltaicos e de eficiência energética, bem como o dimensionamento de equipamentos elétricos, em sua maioria voltamos para o uso em motores elétricos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Compreender conceitos básicos relacionados aos projetos fotovoltaicos;
- Dimensionar geradores fotovoltaicos a partir de dados enviados pelos integradores;
- Compreender conceitos básicos relacionados aos projetos de eficiência energética;
- Elabora projetos de eficiência energética;
- Dimensionar equipamentos elétricos, disjuntor motor.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica (FV) é uma das fontes renováveis mais promissoras, aproveitando a radiação solar para gerar eletricidade. Com o aumento da demanda por energia e a necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, a energia solar tem se destacado como a melhor alternativa para diminuir o uso de combustíveis fósseis. A atmosfera terrestre recebe, anualmente aproximadamente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia do sol. Diante disso a radiação solar, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, constitui uma inesgotável fonte energética, em que há um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia, (CRESESB-CEPEL, 2008). Às duas principais maneiras de utilização da energia solar são a termossolar e a fotovoltaica

No sistema termossolar, a energia proveniente do Sol é transformada em calor, aquecendo, principalmente, a água de residências, hotéis e clubes, bem como em usinas térmicas solares gerando eletricidade por meio do vapor produzido. A energia térmica do sol é captada utilizando placas solares ou tubos a vácuo a fim de realizar a captação de energia e transferir o calor para a água, armazenada em reservatório de água conhecido como *Boile*.

No sistema fotovoltaico ocorre a conversão direta da radiação solar em energia elétrica. A conversão é feita por células fotovoltaicas, compostas de material semicondutor, geralmente o silício. Ao incidir sobre as células fotovoltaicas, a luz solar provoca a movimentação dos elétrons do material condutor, transportando-os pelo material até serem captados por um campo elétrico (formado por uma diferença de potencial existente entre os semicondutores). Os geradores fotovoltaicos são compostos de 3 componentes básicos: módulos fotovoltaicos, inversores e estrutura de montagem dos módulos.

- Módulos fotovoltaicos: são dispositivos que convertem a luz do sol em eletricidade. Eles são compostos por células solares, geralmente feitas de silício, que geram eletricidade por meio do efeito fotovoltaico;
- Inversores: Convertem a corrente contínua (CC) gerada pelas células em corrente alternada (CA), utilizada na maioria das residências e indústrias;
- Estrutura de montagem dos módulos: Estruturas que suportam os painéis solares, permitindo um ângulo adequado para maximizar a captação de luz solar;

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três tipos básicos: *on-grid*, *off-grid* e híbridos.

2.1.1 On-grid

Sistema fotovoltaico conectado à rede pública e não há acúmulo do excedente gerado. Assim, a geração de energia e a companhia elétrica estão integradas para não haver falta nem desperdício de eletricidade. Por esse sistema não possui dispositivo de armazenamento, toda energia excedente gerada, que não é consumida pelo usuário, é enviada para a rede de distribuição sendo convertida em créditos de energia elétrica que poderão ser descontados na fatura de energia. Na figura 1 mostra-se de forma simplificada um sistema *on-grid*.

Figura 1 – Sistema de geração *on-grid*.



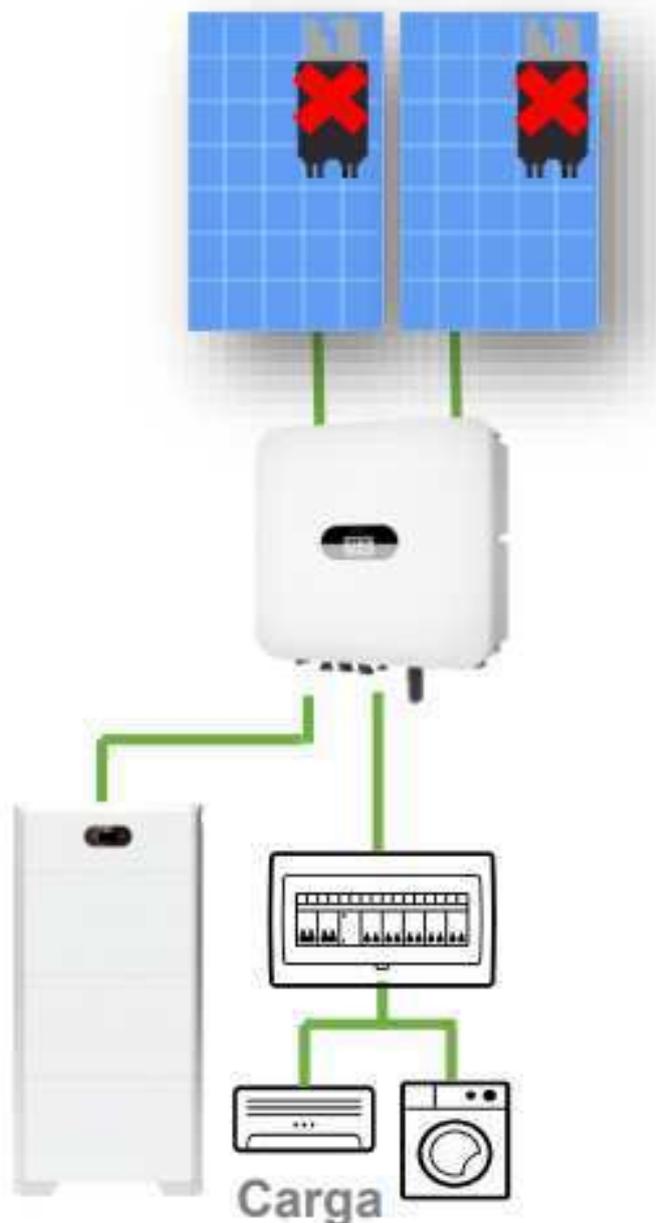
Fonte: Solar drive

2.1.2 Off-grid

Os sistemas *off-grids* podem ser divididos em dois tipos: com acumulação e sem acumulação.

2.1.2.1 Off-grid com Acumulação

Esse tipo de sistema é geralmente utilizado em regiões em que não há acesso à rede de distribuição. A energia gerada pelos módulos fotovoltaicos é utilizada de forma imediata, sem que seja injetada na rede, ou seja, a energia gerada é consumida com a rede. Comumente esse sistema é usado em transferência de água para caixa de água, irrigação de plantações, bombeamento de água em poços artesianos. Na Figura 2 mostra-se de forma simplificada um sistema *off-grid* sem acumulação.

Figura 2 – Sistema *off-grid* com acumulação.

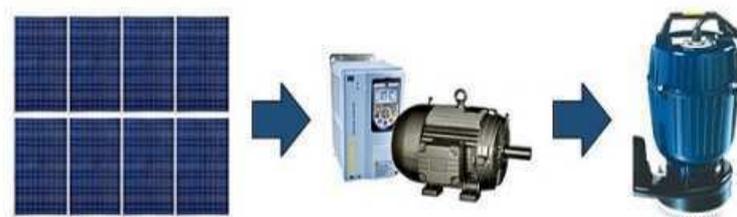
Fonte: Solar drive

2.1.2.2 *Off-grid* sem Acumulação

Esse tipo de sistema é geralmente utilizado em regiões em que não há acesso à rede de distribuição. A energia gerada pelos módulos fotovoltaicos é utilizada de forma imediata, sem que seja injetada na rede, ou seja, a energia gerada é consumida com a rede. Comumente esse sistema é usado em transferência de água para caixa de água, irrigação de plantações, bombeamento de água em poços artesianos. Na Figura 3 mostra-se de

forma simplificada um sistema *off-grid* com acumulação.

Figura 3 – Sistema *off-grid* sem acumulação.



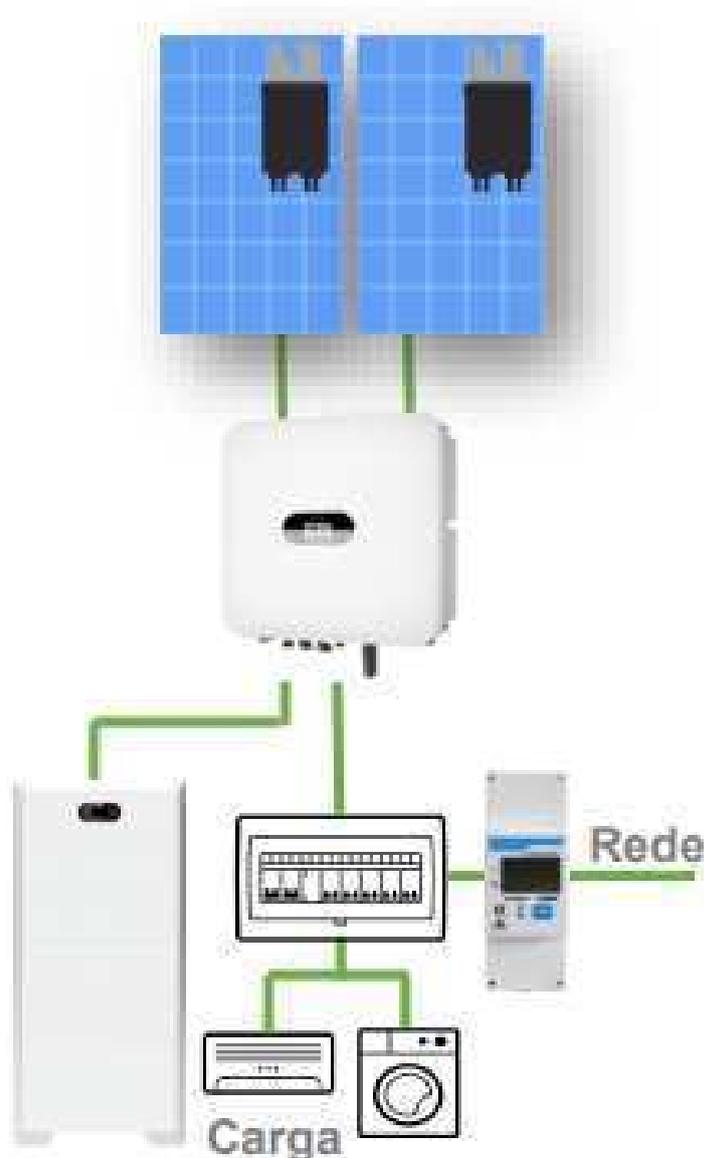
Fonte: Solar drive

2.1.3 Geradores Híbridos

Esses sistemas são projetados para funcionar de maneira integrada, permitindo que a energia solar atenda a maior parte da carga elétrica durante o dia, enquanto as fontes convencionais entram em ação quando necessário, como em períodos de alta demanda ou baixa radiação solar. Isso não apenas reduz os custos operacionais e as emissões de carbono, mas também assegura um fornecimento contínuo de energia.

Ademais, muitos geradores solares híbridos podem ser equipados com baterias para armazenamento de energia, aumentando a resiliência e a autonomia do sistema. Essa solução é especialmente vantajosa em áreas remotas ou em situações onde a estabilidade da rede elétrica é uma preocupação. Na Figura 4 mostra-se de forma simplificada um gerador híbrido conectado a rede com um sistema de baterias.

Figura 4 – Sistema híbrido com acumulação.



Fonte: Solar drive

2.2 Eficiência Energética

A eficiência energética é um conceito fundamental na busca por um uso mais racional e sustentável dos recursos energéticos, especialmente em um cenário global onde a demanda por energia continua a crescer. Um dos principais focos de eficiência energética está nos motores elétricos, que desempenham um papel crucial em diversas indústrias e aplicações comerciais.

A eficiência de um motor elétrico é definida pela relação entre a potência de saída, mecânica, e a potência de entrada, elétrica. Motores mais eficientes convertem uma maior

porcentagem da energia elétrica produzindo trabalho útil. A eficiência pode ser afetada por diversos fatores, incluindo o design do motor, a qualidade dos materiais utilizados, as condições de operação e a manutenção.

Os motores elétricos são os principais consumidores de energia dentro de uma indústria. Em média, representam quase 70% de toda a eletricidade utilizada em uma planta fabril, conforme indicam dados da Eletrobrás/Procel, e ainda podem alcançar quase a totalidade do consumo de energia elétrica em alguns segmentos. Na Figura 5 mostra-se a média de consumo por tipo de carga em uma indústria.

Figura 5 – Média de consumo por tipo de carga em uma indústria.



Fonte: Eletrobras/Procel

A Portaria Interministerial N° 1 estabelece os níveis mínimos de eficiência energética a serem atendidos pelos Motores Elétricos Trifásicos de Indução Rotor Gaiola de Esquilo em IR3 (Tabela 19 da NBR 17094-1:2018, determina os valores mínimos de rendimento), válido para todos os motores comercializados, sejam novos ou usados. A partir de agosto de 2019 entrou em vigor a nova lei, implicando na obrigatoriedade do atendimento dos novos níveis de rendimentos estabelecidos para motores elétricos trifásicos, incluindo a faixa de potência de 0,16 a 500 cv, de 2 a 8 polos.

Não obstante, as exigências não englobam motores já instalados. Muitas vezes a substituição direta de motores antigos por motores novos trazem a curto prazo uma economia enorme para o cliente. Ensaios, realizados pela WEG, revelam que as perdas no rendimento podem variar de 3 a 7,5 pontos percentuais a cada rebobinagem do motor, além da perda de rendimento por outras avarias.

2.3 *Payback* Descontado

O *payback* descontado é uma técnica de análise de investimentos que considera o tempo necessário para recuperar o investimento inicial, considerando o valor do dinheiro

no tempo. Diferente do *payback* simples, que calcula o período em que o fluxo de caixa se iguala ao investimento sem considerar a taxa de desconto, o *payback* descontado desconta os fluxos de caixa futuros pela taxa de retorno desejada ou custo de capital. Assim, o *payback* descontado oferece uma visão clara de quanto tempo levará para recuperar o investimento, considerando o valor do dinheiro ao longo do tempo.

Para calcular o *payback* descontado, primeiro, é necessário calcular o fluxo de caixa descontado que é calculado consoante a equação 2.1.

$$FCD_t = \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad (2.1)$$

Sendo:

- FCD_t = Fluxo de caixa descontado do período t;
- FC_t = Fluxo de caixa do período t;
- r = Taxa de desconto (custo de capital);
- t = Período;

De posse dos valores do fluxo de caixa descontado o *payback* descontado pode ser calculado conforme a equação 2.2.

$$\sum_{t=1}^n FCD_t = I \quad (2.2)$$

Sendo:

- FCD_t: Fluxo de caixa descontado;
- t: Período;
- I: Investimento;

2.4 Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma métrica financeira amplamente utilizada na avaliação de projetos de investimento. Ela representa a taxa de desconto que torna o valor presente líquido (VPL) de todos os fluxos de caixa de um projeto igual a zero. Em outras palavras, é a taxa que iguala o investimento inicial aos retornos futuros esperados. A TIR é

uma ferramenta importante para a tomada de decisões financeiras, ajudando investidores e gestores a avaliar a rentabilidade de diferentes projetos. A TIR é calculada resolvendo a equação do VPL, equação 2.3.

$$VPL = \sum_{n=1}^n \frac{FCt}{(1 + TIR)^t} - I \quad (2.3)$$

Sendo:

- VPL: Valor presente líquido;
- FCt: Fluxo de caixa do período t;
- t: Período;
- I: Investimento;

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Inicialmente houve uma apresentação institucional da WEG para o aluno tendo em vista que a Dalpra Representações tem seu funcionamento totalmente associado a WEG. Foi mostrado o portfólio de produtos e as áreas de atuação da WEG, *drives & controls*, *enérgia* (Turbinas e solar), motores elétricos e construção civil. Depois foram ministrados treinamentos de maneira online síncrona para que o aluno lograsse conhecimento técnico sobre os produtos ofertados.

Para demonstrar as atividades desenvolvidas pelo aluno, as seções 3.1 a 3.3 exemplificam projetos desenvolvidos pelo aluno durante o período de estágio.

3.1 Projetos Fotovoltaicos

Os clientes atendidos pelo aluno não eram clientes finais. Os geradores fotovoltaicos eram dimensionados para empresas, integradores WEG, que posteriormente revendiam para seus clientes finais. Para o dimensionamento do sistema, os integradores forneciam algumas informações como o consumo mensal de seu cliente final, cidade de instalação do sistema, local de instalação (telhado, tipo de telhado, ou solo), área útil de instalação.

3.1.1 *On-grid*

3.1.1.1 Dados

Para o dimensionamento do sistema, o cliente informa alguns dados relevantes. Com os dados informados é possível obter as demais informações para o dimensionamento. A seguir, é apresentado o dimensionamento de um sistema fotovoltaico projetado para uma residência na cidade de Paulista-PB.

- Consumo mensal médio: 900 kWh/mês (Fornecido pelo cliente);
- Latitude: -6,598° S (Fornecido pelo cliente);
- Longitude: -37,62° O (Fornecido pelo Cliente);
- Temperatura mínima: 19 °C (Clima data);
- Temperatura máxima: 39 °C (Clima data);
- Local de instalação (Telhado ou solo): 50 m², Telhado (Fornecido pelo cliente);
- Tensão de atendimento da unidade consumidora: 220 monofásico (Fornecido pelo cliente);

- Irradiação solar diária média mensal (kWh/m² /dia) = 6,01 (Dado coletado no Global Solar Atlas ou no Crecesb);

3.1.1.2 Cálculo da Potência Fotovoltaica em kWp

O cálculo da potência fotovoltaica necessária para suprir o consumo é dado conforme a equação 3.1.

$$P_{fv} = \frac{E(\text{kWh/mes}) * G_{stc}(\text{kW/m}^2)}{H_{tot}(\text{kWh/m}^2/\text{dia}) * TD * 30} \quad (3.1)$$

Sendo:

- P_{fv}: Potência fotovoltaica;
- E: Consumo médio mensal da residência (900);
- G_{stc}: Constante de Irradiação Solar (1 kW/m²);
- H_{tot}: Irradiação solar média (6,01);
- TD: Taxa de desempenho do sistema (0,8);

Assim a potência fotovoltaica da residência é:

$$P_{fv} = \frac{900 * 10^3}{6,01 * 0,8 * 30} = 6,24 \text{ kWp}$$

Assim a P_{fv} diária necessária para suprir o consumo mensal de 900 kWh/mes da residência é de 6,24 kWp.

3.1.1.3 Módulos Fotovoltaicos

Para esse projeto foram escolhidos os módulos WPV 550-555 HMM1 do fabricante WEG. O *datasheet* desse módulo pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Datasheet WEG Módulo 550 Wp.

Módulos WEG 550 Wp	
Potência máxima	550W
Tensão de circuito aberto (Voc)	49,80 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	13,98 A
Tensão de máxima potência (Vmp)	41,95V
Corrente de máxima potência (Imp)	13,12 A
Eficiência	21,30%
Tolerância de potência	3%
Tensão máxima do sistema	1500 Vcc
Temperatura de operação	-40 °C a 85 °C
Coeficiente de temperatura (Pmax)	-0,34 % / °C
Coeficiente de temperatura (Voc)	-0,265 % / °C
Coeficiente de temperatura (Isc)	0,050 % / °C
Dimensões	2,278 m x 1,134 m x 0,30 m

Fonte: Solar drive

A quantidade de módulos (Nmodulos) necessários para munir o sistema pode ser calculado consoante a equação 3.2. Da Tabela 1 obteve-se a informação que a potência do módulo (Pmod) é de 550 Wp.

$$N_{modulos} = \frac{P_{fv}(Wp)}{P_{mod}(Wp)} \quad (3.2)$$

Assim o número de módulos necessários são:

$$N_{modulos} = \frac{6240}{550} = 11,34 \text{ módulos}$$

Logo serão necessários 12 módulos de 550 Wp para atender a demanda do sistema. Utilizando a Tabela 2, dimensões, é possível calcular a área (S) que cada módulo ocupa.

$$S = 2,278 * 1,134 = 2,583 \text{ m}^2$$

Com a área individual ocupada por cada módulo, é possível calcular a área total (St) ocupada pelo sistema.

$$S_t = 2,58 * 12 = 30,99 \text{ m}^2$$

Como o telhado onde o sistema será instalado possui uma área de 50 m² o espaço necessário para instalação do sistema pode ser instalado com folga.

As informações do datasheet dos módulos, Tabela 1 - Voc, Isc e Vmp - são fornecidas para condições padrão de teste (STC), temperatura de 25 °C. Logo é necessário corrigir essas variáveis para as condições da região que os equipamentos serão utilizados.

3.1.1.3.1 Corrente de Curto-circuito Corrigida

A corrente de curto-circuito, Isc, pode ser corrigida conforme a equação 3.3.

$$Isc' = Isc * (1 - (Bisc/100 * (25 - Tmax))) \quad (3.3)$$

Sendo:

- Isc': Corrente de curto-circuito corrigida do módulo;
- Isc: Corrente de curto-circuito do módulo (13,98 A);
- Bisc: Coeficiente de temperatura da corrente de curto-circuito do módulo (0,05% /°C);
- Tmax: Máxima temperatura que o módulo pode atingir (79°C);

Logo:

$$Isc'' = 13,98 * (1 - (0,05/100 * (25 - 79))) = 14,36 \text{ A}$$

Assim a corrente de curto-circuito do módulo WEG de 550 W para as condições do local de instalação é de 14,36 A.

3.1.1.3.2 Tensão de Circuito Aberto

A tensão de circuito aberto, Voc, pode ser corrigida conforme a equação 3.4.

$$Voc' = Voc * (1 + (Bvoc/100 * (Tmin - 25))) \quad (3.4)$$

Sendo:

- Voc': Tensão de circuito aberto corrigida;
- Voc: Tensão de circuito aberto do módulo (49,8 V);

- B_{voc} : Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto do módulo (-0,265%/°C);
- T_{min} : Mínima temperatura do módulo (19 °C);

Logo:

$$V_{oc}' = 49,8 * (1 + (-0,265/100 * (19 - 25))) = 50,59 \text{ V}$$

Dessa maneira a tensão de circuito aberto, V_{oc}' , do módulo WEG de 550 W para as condições do local de instalação é de 50,59 V.

3.1.1.3.3 Tensão de Máxima Potência

A tensão de máxima potência, V_{mp} , pode ser corrigida conforme a equação 3.5.

$$V_{mp}' = V_{mp} * (1 + (B_{mp}/100 * (T_{max} - 25))) \quad (3.5)$$

Sendo:

- V_{mp}' : Tensão de máxima potência corrigida;
- V_{mp} : Tensão de máxima potência do módulo (41,95 V);
- B_{mp} : Coeficiente de temperatura da tensão de máxima potência do módulo (-0,34/°C);
- T_{max} : Máxima temperatura do módulo (79 °C);

Logo:

$$V_{mp}' = 41,95 * (1 + (-0,34/100 * (79 - 25))) = 34,25 \text{ V}$$

Dessa maneira a tensão de circuito aberto, V_{mp}' , do módulo WEG de 550 W para as condições do local de instalação é de 34,25 V.

3.1.1.4 Inversor

De posse da potência pico necessária para suprir o consumo mensal escolhe-se o inversor mais adequado (Custo x Benefício) que atenda a necessidade do sistema. Para esse projeto foi escolhido o conversor SIW 300H M05 L1 da WEG, é possível verificar seu *datasheet* na tabela 2.

A escolha desse equipamento em específico se deu por suas características suprirem a necessidade do sistema. Conforme a Tabela 2 o inversor opera com carregamento de até 150% (7500 W), como a potência do sistema é de 6,24 kWp o carregamento do sistema ficou em aproximadamente 125% (6240 W/5000 W), considerado um carregamento ótimo. Além da potência do inversor atender a necessidade do sistema foi considerado sua elevada eficiência (98,40%), o que permite quase que aproveitamento máximo da energia gerada.

Tabela 2 – Datasheet inversor SIW 300H M050 L1.

SIW300H M050 L1	
ENTRADA (FV)	
Eficiência máxima	98,40%
Potência de entrada máxima	7500 W
Tensão de entrada máxima	600 V
Faixa de operação do MPPT	80 V ~600 V
Tensão de partida	100
Faixa de tensão MPPT em máxima potência	90 V ~560 V
Corrente de entrada máxima/MPPT	12,5 A
Corrente máxima de curto-circuito/MPPT	18 A
Número de MPPTs	2
Número máximo de entradas por MPPT	1
Conexão à rede	Monofásica
Potência nominal de saída	5000 W

SIW300H M050 L1	
Tensão de saída nominal	220 / 230V
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz
Corrente de saída máxima	25A
SAÍDA ON-GRID	
Potência nominal de saída	5000 W
Tensão de saída nominal	220/230 V
Frequência de rede CA nominal	50/60 Hz
Corrente de saída máxima	25 A
SAÍDA OFF-GRID	
Potência aparente máxima	5000 VA
Tensão de saída nominal	220 V
Frequência de rede CA nominal	50/60 Hz
Corrente de saída máxima	22,7 A

Fonte: Solar drive

3.1.1.5 Número Máximo e Mínimos de Módulos por MPPT

O MPPT, Rastreamento de Ponto de Potência Máxima, é uma tecnologia utilizada em sistemas de energia solar para otimizar a extração de energia dos painéis solares. A principal função do MPPT é ajustar continuamente a carga elétrica para garantir que os painéis operem no ponto de máxima potência, mesmo quando as condições de luz variam.

Na Tabela 2 pode se verificar que o inversor possui dois. Cada MPPT do inversor possui uma tensão máxima e mínima de operação além de suportar uma corrente máxima de curto-circuito. É imprescindível que esses limites sejam respeitados. Se a tensão máxima ou corrente for excedida o equipamento será danificado, caso a tensão mínima não seja atingida o equipamento não funcionará, assim a geração de energia será comprometida.

O número mínimo de módulos por MPPT ($N_{modminMPPT}$) pode ser calculado consoante a equação 3.6.

$$N_{modminMPPT} = \frac{V_{minMPPT}}{V_{min'}} \quad (3.6)$$

A tensão mínima por MPPT ($V_{minMPPT}$) é de 80 V, pode ser obtida na tabela 2 e $V_{mp'}$ (34,25°C), calculado na seção 3.1.1.3.3 por meio da equação 3.5.

$$N_{modminMPPT} = \frac{80}{34,25} = 2,34 \text{ módulos.}$$

Para atingir a tensão mínima de operação por MPPT serão necessários 2,34 módulos, como não existe número fracionado de módulos o número mínimo de módulos por MPPT são de 3 módulos, considerando o módulo WEG 550 W.

O número máximo de módulos por MPPT ($N_{maxMPPT}$) pode ser calculado conforme a equação 3.7.

$$N_{modmaxMPPT} = \frac{V_{maxMPPT}}{V_{oc'}} \quad (3.7)$$

A tensão máxima por MPPT ($V_{maxMPPT}$) é de 600 V, pode ser obtida na Tabela 2 e $V_{oc'}$ (50,59°C), calculado na seção 3.1.1.3.2 por meio da equação 3.4.

Logo:

$$N_{modmaxMPPT} = \frac{600}{50,59} = 11,86 \text{ módulos}$$

Para atingir a tensão máxima de operação por MPPT serão necessários 11,86 módulos, como não existe número fracionado de módulos o número máximo de módulos por MPPT são de 11 módulos, considerando o módulo WEG 550 W.

3.1.1.6 Distribuição do Arranjo

Para atender a demanda da residência na seção 3.1.1.3 foram definidos uma quantidade de 12 módulos. Obtou-se utilizar arranjos de 6 módulos em série conectados por MPPT.

O principal motivo da opção conectar os módulos em série é a corrente máxima de curto-circuito/MPPT, 18 A, que o inversor suporte. Se forem conectados pelo menos dois módulos em paralelo a corrente de curto-circuito seria o dobro de $I_{sc'}$, 28,72 A, essa corrente danificaria o inversor.

A escolha de 6 módulos por MPPT principalmente se dar por respeitar à quantidade máxima de módulos máxima, MPPT ($N_{modmaxMPPT}$), e mínima, $N_{modminMPPT}$, calculados na seção 3.1.1.5. Outro é motivo é que se ocorrer algum problema em um dos arranjos ou em uma das MPPT o sistema continuará geralmente metade da energia inicial.

3.1.1.7 Validação do Sistema

Nessa etapa é analisada se o arranjo escolhido não ultrapassam ou não atingem os parâmetros do inversor.

3.1.1.7.1 Corrente de Curto-Circuito

É necessário verificar se o arranjo não ultrapassa a máxima corrente suportada pelo inversor. Essa análise é feita por meio da equação 3.8.

$$I_{max} = N_{strp} * I_{sc} * (1 - (B_{isc}/100 * (25 - T_{max}))) \quad (3.8)$$

Sendo:

- I_{max} : Máxima corrente do sistema;
- N_{strp} : Número de paralelos dentro do mesmo MPPT (1);
- I_{sc} : Corrente de curto-circuito do módulo (13,98 A);
- B_{isc} : Coeficiente de temperatura da corrente de curto-circuito do módulo (0,05% /°C);
- T_{max} : Máxima temperatura que o módulo pode atingir (79°C);

Logo:

$$I_{max} = 1 * 13,98 * (1 - (0,05/100 * (25 - 79))) = 14,36 \text{ A}$$

Assim a corrente de curto-circuito corrigida do módulo WEG 550 Wp é de 13,98 A. Consultado a Tabela 2 é possível verificar que a corrente máxima de entrada por MPPT do inversor é de 18 A. Como I_{max} do arranjo é menor que I_{max} da entrada do inversor, não há preocupação com os efeitos adversos dessa condição.

3.1.1.7.2 Verificação de Máxima Tensão de Circuito Aberto

Esta verificação impede tensão destrutiva ao inversor, em caso, de baixas temperaturas causarem tensões superiores ao máximo admitido na entrada do inversor. Essa análise é feita por meio da equação 3.9.

$$V_{max} = N_s * V_{oc} * (1 + (B_{voc}/100 * (T_{min} - 25))) \quad (3.9)$$

Sendo:

- V_{max} : Máxima tensão de circuito;
- N_s : Quantidade de módulos em série por MPPT;

- Voc: Tensão de circuito aberto do módulo (49,8V);
- Bvoc: Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto do módulo (-0,265%/°C);
- Tmin: Mínima temperatura do módulo (19);

Logo:

$$V_{max} = 6 * 49,8 * (1 + (-0,265/100 * (19 - 25))) = 303,54 \text{ V}$$

Consultado o datasheet, Tabela 2, verifica-se que a tensão máxima de entrada por MPPT é de 600 V. Como V_{max} do arranjo é menor que V_{max} da entrada do inversor não há preocupação com os efeitos adversos dessa condição.

3.1.1.7.3 Verificação para Mínima Tensão de Funcionamento

Essa análise impede que o inversor opere com sub-eficiência, em caso de altas temperaturas causarem tensões inferiores ao mínimo admitido na entrada do inversor. Essa análise é feita por meio da equação 3.10.

$$V_{min} = N_s * V_{mp} * (1 + (B_{mp}/100 * (T_{max} - 25))) \quad (3.10)$$

Sendo:

- V_{min} : Tensão de máxima para funcionamento;
- V_{mp} : Tensão de máxima potência do módulo (41,95 V);
- B_{mp} : Coeficiente de temperatura da tensão de máxima potência do módulo (-0,34/°C);
- T_{max} : Máxima temperatura do módulo (79°C);

Logo:

$$V_{min} = 41,95 * (1 + (-0,34/100 * (79 - 25))) = 34,25 \text{ V}$$

Consultado o datasheet, Tabela 2, é possível verificar que a tensão mínima de entrada por MPPT é de 80 V. Como V_{min} do arranjo é maior que V_{min} da entrada do inversor não há preocupação com os efeitos adversos dessa condição.

3.1.2 Off-Grid sem Acumulação (Bombeamento)

3.1.2.1 Dados

Usualmente o cliente entra em contato e informa alguns dados para ser possível dimensionar a quantidade de módulos e o inversor adequado para suprir o sistema requerido. Como a potência do motor, tensão de alimentação do motor, corrente do motor e coordenadas do local de instalação. Este dimensionamento foi feito para a cidade de Boqueirão-PB.

- Potência do motor: 3 cv
- Tensão do motor: 220/380 V
- Corrente do motor: 7,84 / 4,52 A
- Latitude: -7,48 S
- Longitude: - 36,14 L
- Tmin: 18 °C;
- Tmax: 35 °C;

Para esse sistema foi escolhido o módulo 550 Wp WEG, seu datasheet pode ser verificado na Tabela 1.

De posse dos dados é possível escolher o inversor e dimensionar a quantidade de módulos necessários para que o sistema opere.

3.1.2.2 Inversor

O gerador utilizado nessa aplicação é o CFW500 da WEG. Os modelos de CFW500 funcionam em quatro faixas de tensão de operação cc, já que sua alimentação para essa aplicação é integralmente oriunda dos módulos fotovoltaicos. A Figura 6 mostra as faixas de tensão de operação do CFW500.

Figura 6 – Faixas de tensão de operação CFW500.

Tensão de Alimentação	Monofásica 220 Vca	Mon/Trif 220 Vca	Trifásica 220 Vca	Trifásica 380 Vca	Trifásica 480 Vca
Tensão de Funcionamento	250 - 380 Vcc	250 - 380 Vcc	250 - 380 Vcc	450 - 760 Vcc	450 - 760 Vcc
Proteção Subtensão	200 Vcc	200 Vcc	200 Vcc	360 Vcc	360 Vcc
Proteção de Sobretensão	410 Vcc	410 Vcc	410 Vcc	810 Vcc	810 Vcc

Fonte: Solar drive - BOMBEAMENTO SOLAR FOTOVOLTAICO

Como o motor pode ser ligado tanto em 220 V como 380 V trifásico torna-se necessário analisar qual solução é mais viável do ponto de vista financeiro para o cliente. Pode-se usar tanto o modelo CFW500B10P0B2DB20H03SD ou CFW500B06P5T4DB20H03SD, abaixo são descritas as características mais importantes desses inversores.

CFW500A09P6T2NB20H03SD:

- Tensão de alimentação do inversor para operar em máxima potência: 200-240 Vca ou 250-380 Vcc;
- Tensão do motor: 220 V
- Corrente de saída: 9,6 A

CFW500B06P5T4DB20H03SD:

- Tensão de alimentação do inversor para operar em máxima potência: 380-480 Vca ou 450 760 Vcc
- Tensão do motor: 380 V
- Corrente de saída: 6,1 A;

3.1.2.3 Motor Fechado em Triângulo

Para o motor fechado em 220 V, a solução disponível é o inversor com faixa de operação de tensão cc de 250 - 380 V e corrente máxima de saída de 9,6 A.

Para dimensionar a quantidade de módulos é necessário corrigir a tensão de circuito aberto (Voc) e a tensão de máxima potência (Vmp) do módulo, corrigidas pela temperaturas máximas e mínimas do local de instalação.

Para calcular a máxima temperatura de circuito aberto corrigida dos módulos, utiliza-se a equação 3.4. Voc (49,8 V), Bvoc (0,265%/ °C) e Tmin (18 °C).

$$Voc' = 1 \cdot 49,8 \cdot (1 + (-0,265/100 \cdot (18-25))) = 50,72 \text{ V}$$

Para calcular a máxima temperatura de circuito aberto corrigida dos módulos, Voc' , utiliza-se a equação 3.5. Onde: Vmp (41,95 V), $Bvmp$ (0,34%/°C) e $Tmax$ (75°C).

$$Vmp' = 41,95(1 + (-0,34/100 \cdot (75-25))) = 34,82 \text{ V}$$

Para calcular o número de módulos necessário para o sistema operar em máxima potência dividi-se tensão mínima de operação em máxima potência do inversor, 200 pela tensão mínima do módulo e a tensão máxima de máxima potência do inversor pela tensão máxima de operação do módulo.

$$Nmin = \frac{250}{34,82} = 7,18$$

$$Nmax = \frac{380}{50,72} = 7,49$$

Assim a melhor escolha possível para esse arranjo considerando o módulo e o inversor escolhido são 7 módulos conectados em série, pois com essa quantidade de módulos se garante que o inversor funcione na sua faixa de máxima potência na maior parte do dia.

Por fim verifica-se se a quantidade de módulos do sistema não excede os limites de proteção de subtensão e sobretensão do inversor.

- Subtensão (200 V): Número de módulos x $Vmp' > 200 \text{ V}$; $243,74 \text{ V} > 200 \text{ V}$
- Sobretensão (410 V): Número de módulos x $Voc' < 410 \text{ V}$; $355,04 \text{ V} < 410 \text{ V}$

Como os limites de sobretensão e subtensão foram respeitados a quantidade de módulos respeita os parâmetros de operação do inversor.

3.1.2.4 Motor com Fechamento em Estrela

Para o motor fechado em 380 V, a solução disponível é o item inversor, com faixa de operação de tensão cc de 450 - 760 V e corrente máxima de saída de 6,1 A.

Como o local de instalação não é alterado Voc' e Vmp' têm seu valor mantido. Para calcular o número de módulos necessário para o que o sistema funcione de forma correta o procedimento é análogo ao da seção 3.1.2.3, alterando apenas os limites de tensões de operação do inversor

$$N_{min} = \frac{450}{34,82} = 12,92$$

$$N_{max} = \frac{760}{50,72} = 14,98$$

Assim a melhor escolha possível para esse arranjo considerando o módulo e o inversor escolhido são 13 ou 14 módulos conectados em série. Obtou-se pela escolha de 14 módulos para esse sistema. Pois com essa quantidade de módulos se garante que o inversor funcione na sua faixa de máxima potência.

Por fim verifica-se se a quantidade de módulos do sistema não excede os limites de proteção de subtensão e sobretensão do inversor.

- Subtensão (360 V): Número de módulos x $V_{mp}' > 360$ V; $487,48$ V > 360 V
- Sobretensão (810 V): Número de módulos x $V_{oc}' < 810$ V; $710,08$ V < 810 V

Como os limites de sobretensão e subtensão foram respeitados a quantidade de módulos respeita os parâmetros de operação do inversor.

3.1.2.5 Escolha

As duas configurações, com 7 módulos conectador em série (motor fechado em triângulo) e com 14 módulos em série (motor fechado em estrela), atendem as necessidades do cliente. Logo optou-se pela alternativa que possuísse o menor custo para o cliente.

Como um sistema tem o dobro de módulos em relação ao outro e ambos ligam o mesmo motor, fica evidente que o sistema com 7 módulos e o motor funcionando em 220 V é mais viável para essa aplicação.

3.1.3 Off-Grid com Acumulação

Geralmente esses sistemas são adquiridos por clientes que não possuem acesso à rede elétrica de distribuição. A energia gerada durante o dia é parte usada para suprir a carga da residência e o excedente produzido é armazenado nas baterias. As baterias utilizadas nesses sistemas são as SBW300 e seu datasheet pode ser verificado na tabela 3.

Tabela 3 – Datasheet SBW300.

Baterias SBW300			
Módulo BMS	SBW300 C050W0		
Número de módulos BMS	1		
Energia do módulo de armazenamento	5 kWh		
Número de módulos de armazenamento	1	2	3
Energia utilizável de armazenamento	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Potência de saída máxima	2,5 kWh	5 kWh	5 kWh
Tensão nominal	450 V		
Faixa de tensão de operação	350 V~560 V		
Tecnologia da bateria	Lítio Ferro Fosfato (LiFePO ₄)		
Escalabilidade	3 B050 série / 2 x paralelo		
Inversores compatíveis	SIW300H M020/30/40/50/60 L1		

Fonte: Solar drive

Para dimensionar a quantidade de módulos de armazenamento SBW300 B050 W0, inversor e quantidade de módulos para suprir o sistema durante dia e noite pede-se para o cliente enviar os equipamentos instalados na residência e os períodos de funcionamento desses. Na Tabela 4 mostra uma lista de equipamentos da residência que devem ser supridos pelo sistema.

Tabela 4 – Cargas instaladas na residência.

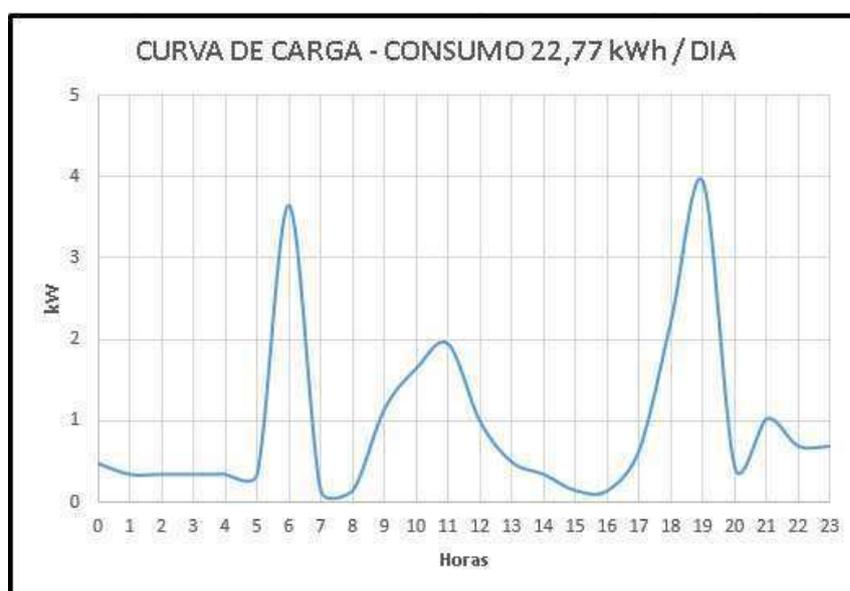
Equipamento	Quantidade	Potência ind (W)	Potência total (KW)
Lâmpada	9	15	0,135
Televisão	1	150	0,150
Micro-ondas	1	600	0,6
Ventilador	2	100	0,2
Celular	2	30	0,06
<i>Air Fryer</i>	1	1200	1,2
Geladeria	1	150	0,15
Máquina de lavar roupa	1	1000	1
Chuveiro elétrico	1	3500	1
Liquidificador	1	500	0,5

Fonte: Autor

De posse dos equipamentos instalados na residência dimensiona-se a quantidade de módulos necessários para os alimentar durante o dia. Os módulos fotovoltaicos além de suprir a carga precisam carregar os módulos de armazenamento para que esses alimentem as cargas durante o período noturno.

Além das cargas instaladas outro ponto importante para o dimensionamento é saber o perfil de utilização dessas. Para isso pedi-se os horários de funcionamento das cargas e o período que elas estão ligadas. De posse dessas informações monta-se a curva de carga, Figura 7, e estima-se o consumo diário em 22,77 kWh /dia do cliente. Sendo que 11,5 kWh são consumidos durante o dia (Energia fornecida diretamente pelos módulos fotovoltaicos) e 11,26 kWh são consumidos durante o período noturno (Energia fornecida pelas baterias). Na Figura 7 exibe a curva de carga da residência.

Figura 7 – Curva de carga da residência para o período de 24h.



Fonte: Autor

De posse desses dados agora é possível calcular a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para suprir as cargas e carregar os módulos baterias.

3.1.3.1 Dados

Esse projeto foi realizado para a cidade de Paulista - PB ($37,59^{\circ}$ S; $6,62^{\circ}$ L). Para projetos off-grid com acumulação sempre se utiliza a irradiação solar mais baixa do período, para esse projeto foi considerada a irradiação de $4,85 \text{ kWh/m}^2$ dia, referente ao mês de junho).

3.1.3.2 Potência Fotovoltaica

Considerando uma taxa de desempenho do sistema de 80%, utiliza-se a equação 3.1, calcula-se a potência fotovoltaica necessária para suprir o consumo diário do cliente de 22,5 kWh/dia.

$$P_{fv} = \frac{22,77 \cdot 10^3}{4,85 \cdot 0,8} = 5,87 \text{ kWp}$$

Assim a potência fotovoltaica necessária para suprir a carga da residência é de 5870 kWh. De posse da P_{fv} é possível calcular a quantidade de módulos.

Para esse projeto foram escolhidos os módulos WEG 500Wp, Tabela 1. A quantidade de módulos necessários para atender o sistema pode ser calculado conforme a equação 3.2.

$$N_{\text{módulos}} = \frac{5870}{550} = 10,67 \text{ módulos}$$

Assim serão necessários 11 módulos de 550 Wp para prover o consumo do sistema.

3.1.3.3 Inversor

De posse da potência pico necessária para suprir o consumo mensal escolhe-se o inversor mais adequado (Custo x Benefício) que atenda a necessidade do sistema. Para esse projeto foi escolhido o conversor SIW 300H M05 L1 da WEG, é possível verificar seu datasheet na tabela 2. A escolha desse equipamento em específico se deu por esse ser compatível com as baterias SBW 300, além de suas características suprirem a necessidade do sistema. Conforme a Tabela 2 o inversor opera com carregamento de até 150% (7500 W), como a potência do sistema é de 5,87 kWp o carregamento do sistema ficou em aproximadamente 117% (5879 W/5000 W), considerado um carregamento ótimo. Além da potência do inversor atender a necessidade do sistema foi considerado sua elevada eficiência (98,40%), o que permite quase que aproveitamento máximo da energia gerada.

Esses módulos foram distributivos em um arranjo com 6 módulos em série e outro arranjo de 5 módulos em série. A escolha de ligar os módulos em série se dar para não ultrapassar a máxima corrente de curto-circuito suportada pelo inversor. Obteve-se por dividir o sistema dessa forma para se ocorrer algum problema em um dos arranjos ou em uma dos MPPT o sistema continuará gerando energia.

Como esse é o mesmo inversor escolhido Para o sistema on-grid, seção 3.1.1, e o local de instalação do gerador é o mesmo, Paulista - PB. O sistema dimensionado na seção 3.1.1 possuía 12 módulos e a corrente I_{max} e V_{max} do inversor eram respeitados. Para não ficar repetitivo não serão repetidos os cálculos para I_{max} e V_{max} . Torna-se então necessário apenas a verificação de V_{min} , equação 3.10, já que um dos MPPTs terão 5 módulos.

$$V_{min} = 5 * 41,95 * (1 + (-0,34/100 * (79 - 25))) = 171,24 \text{ V}$$

Consultado o datasheet, Tabela 2, é possível verificar que a tensão mínima de entrada por MPPT são de 80 V e a menor tensão para o inversor operar em máxima potência é de 90. Como V_{min} do arranjo é maior que V_{min} da entrada do inversor não há preocupação com os efeitos adversos dessa condição.

3.1.3.4 Número de módulos de armazenamento e controle

O datasheet do conjunto módulo de controle, SBW300 C05 W, e armazenamento, SBW300 B050 W0 pode ser verificado na Tabela 3. Cada módulos de armazenamento tem capacidade para 5 kWh, porém sua potência de saída máxima é de 2,5 kWh. Como o consumo noturno, suprido pelo sistema de armazenamento é de 11,26 kWh, foram necessários e 3 módulos de armazenamento.

Cada módulo de controle tem capacidade de gerenciar no máximo 3 módulos de carga. Assim para esse sistema foi necessário apenas um módulo de controle SBW300 C050 W0.

3.1.3.5 Gerador

Assim o sistema dimensionado contem:

- 11 módulos de 550 Wp;
- 1 inversor de 5 kWp
- 3 módulos de armazenamento;
- 1 módulos de controle;

Na Tabela 5 mostra-se o comportamento estimado do sistema, considerando um período de 3 dias.

Tabela 5 – Comportamento estimado do sistema.

Horário	En. Consumida (kWh)	En. Gerada (kWh)	Balanco (kWh)	En. Bateria (kW)
00:00	-0,49	0,00	-0,49	15,0
01:00	-0,35	0,00	-0,35	14,7
02:00	-0,35	0,00	-0,35	14,3
03:00	-0,35	0,00	-0,35	14,0
04:00	-0,35	0,00	-0,35	13,6
05:00	-0,35	0,00	-0,35	13,3
06:00	-3,65	0,31	-3,34	9,9
07:00	-0,15	0,61	0,46	10,4
08:00	-0,15	1,41	1,26	11,6
09:00	-1,15	2,11	0,96	12,6
10:00	-1,65	3,05	1,40	14,0
11:00	-1,95	3,52	1,57	15,0
12:00	-1,00	3,52	2,52	15,0
13:00	-0,50	3,29	2,79	15,0

Horário	En. Consumida (kWh)	En. Gerada (kWh)	Balanco (kWh)	En. Bateria (kW)
14:00	-0,35	2,35	2,00	15,0
15:00	-0,15	1,57	1,42	15,0
16:00	-0,15	0,85	0,70	15,0
17:00	-0,65	0,47	-0,18	14,8
18:00	-2,24	0,23	-2,00	12,8
19:00	-3,94	0,00	-3,94	8,9
20:00	-0,44	0,00	-0,44	8,4
21:00	-1,04	0,00	-1,04	7,4
22:00	-0,70	0,00	-0,70	6,7
23:00	-0,70	0,00	-0,70	6,0
00:00	-0,49	0,00	-0,49	5,5
01:00	-0,35	0,00	-0,35	5,2
02:00	-0,35	0,00	-0,35	4,8
03:00	-0,35	0,00	-0,35	4,5
04:00	-0,35	0,00	-0,35	4,1
05:00	-0,35	0,00	-0,35	3,8
06:00	-3,65	0,31	-3,34	0,4
07:00	-0,15	0,61	0,46	0,9

Horário	En. Consumida (kWh)	En. Gerada (kWh)	Balanco (kWh)	En. Bateria (kW)
08:00	-0,15	1,41	1,26	2,2
09:00	-1,15	2,11	0,96	3,1
10:00	-1,65	3,05	1,40	4,5
11:00	-1,95	3,52	1,57	6,1
12:00	-1,00	3,52	2,52	8,6
13:00	-0,50	3,29	2,79	11,4
14:00	-0,35	2,35	2,00	13,4
15:00	-0,15	1,57	1,42	14,8
16:00	-0,15	0,85	0,70	15,0
17:00	-0,65	0,47	-0,18	14,8
18:00	-2,24	0,23	-2,00	12,8
19:00	-3,94	0,00	-3,94	8,9
20:00	-0,44	0,00	-0,44	8,4
21:00	-1,04	0,00	-1,04	7,4
22:00	-0,70	0,00	-0,70	6,7
23:00	-0,70	0,00	-0,70	6,0
00:00	-0,49	0,00	-0,49	5,5
01:00	-0,35	0,00	-0,35	5,2

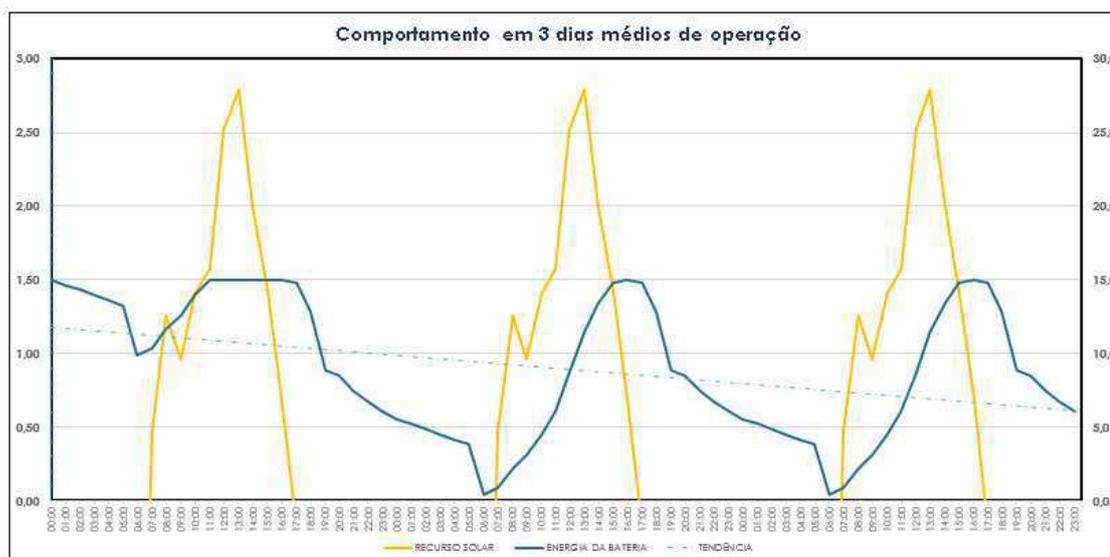
Horário	En. Consumida (kWh)	En. Gerada (kWh)	Balanco (kWh)	En. Bateria (kW)
02:00	-0,35	0,00	-0,35	4,8
03:00	-0,35	0,00	-0,35	4,5
04:00	-0,35	0,00	-0,35	4,1
05:00	-0,35	0,00	-0,35	3,8
06:00	-3,65	0,31	-3,34	0,4
07:00	-0,15	0,61	0,46	0,9
08:00	-0,15	1,41	1,26	2,2
09:00	-1,15	2,11	0,96	3,1
10:00	-1,65	3,05	1,40	4,5
11:00	-1,95	3,52	1,57	6,1
12:00	-1,00	3,52	2,52	8,6
13:00	-0,50	3,29	2,79	11,4
14:00	-0,35	2,35	2,00	13,4
15:00	-0,15	1,57	1,42	14,8
16:00	-0,15	0,85	0,70	15,0
17:00	-0,65	0,47	-0,18	14,8
18:00	-2,24	0,23	-2,00	12,8
19:00	-3,94	0,00	-3,94	8,9

Horário	En. Consumida (kWh)	En. Gerada (kWh)	Balanco (kWh)	En. Bateria (kW)
20:00	-0,44	0,00	-0,44	8,4
21:00	-1,04	0,00	-1,04	7,4
22:00	-0,70	0,00	-0,70	6,7
23:00	-0,70	0,00	-0,70	6,0

Fonte: Autor

Baseado nos dados da Tabela 5 foi estimado o comportamento do consumo da residência, Figura 8, considerando um período de 3 dias.

Figura 8 – Comportamento de consumo para 3 dias.



Fone: Autor

3.2 Projeto de Eficiência Energética

Os projetos de eficiência energética desenvolvidos pelo aluno visam a substituição de equipamentos que possuem uma baixa eficiência por equipamentos com eficiência mais alta. Mostrando ao cliente que em pouco tempo o investimento inicial é recuperado por meio da economia na fatura de energia elétrica.

Sistemas de bombeamento tradicionais onde a vazão é controlada mecanicamente por válvulas, a válvula atua como uma barreira mecânica para fazer o controle de pressão, todavia o motor continua operando em rotação nominal gerando gastos desnecessários. Como solução indica-se a utilização de um inversor de frequência, geralmente o CFW500 ou

CFW11, dependendo da aplicação. Com a aplicação do inversor de frequência a potência exigida pelo motor torna-se proporcional a vazão. Na Figura 9 ilustra-se o processo sem o inversor e na Figura 10 ilustra-se o processo com o inversor.

Figura 9 – Potência consumida sem o uso do inversor.



<https://learn.weg.net/lms/#/aprendizagem>

Figura 10 – Potência consumida com o uso do inversor.



<https://learn.weg.net/lms/#/aprendizagem>

Como exemplo ilustra-se nas Figuras 11 e 12 os motores substituídos no projeto de eficiência energética realizado pelo aluno. Os motores antigos foram substituídos por motores já com o nível de eficiência IR3.

Figura 11 – Motor antigo 1.



Fonte: Autor

Figura 12 – Motor antigo 2.



Fonte: Autor

Os dois motores possuem as mesmas características elétricas, 20 cv 4 polos. Ambos estavam em operação há 17 anos, além de cada um já ter passado por duas rebobinagens. Para estimar a eficiência desses motores utilizou-se o SEE PLUS, software da WEG. Após inserido os dados no SEE PLUS o rendimento atual dos motores foi estimado em 88%. A equação 3.11 foi usada para calcular o consumo do motor para o período de 1 ano.

$$C = \frac{P * horas * dias * Ckwh}{n(3.11)}$$

Sendo:

- C: Custo (R\$);

- P: Potência em kW;
- CkWh: (R\$ 0,49/kWh);
- n: Rendimento ou eficiência;

Assim o custo anual dos motores antigos era de:

$$C = \frac{20 \cdot 0,7355 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,49}{0,88} = 71.751,37 \text{ R\$}$$

Os novos motores escolhidos para substituir os antigos eram 20 cv 4P e possuíam eficiência de 93,5%. Assim o custo anual de energia é de:

$$C = \frac{20 \cdot 0,7355 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,49}{0,935} = 67.530,70 \text{ R\$}$$

A economia anual é de 4.220,67 R\$ por motor e que o valor desembolsado foi de 18.000 R\$ na compra dos dois motores é possível calcular a taxa interna de retorno (TIR) e *payback* descontado (Mostra em quanto tempo o cliente recupera o investimento). Geralmente mostra-se a TIR, e *payback* para o cliente para convencê-lo que a troca dos motores é vantajosa.

Nesse projeto obteve-se uma TIR de 46%, considerando um período de 10 anos. Se comparada a SELIC (10,5%) do momento do projeto mostra-se que o investimento é mais que vantajoso.

Para esse projeto obteve-se um *payback* descontado 2,55 anos, ou seja, o cliente recupera o investimento em 2 anos 6 meses e 18 dias.

3.3 Dimensionamento de Disjuntor Motor

Muitas vezes quando clientes compram motores esses solicitam que sejam dimensionamentos as proteções para esses motores. Como exemplo mostra-se o dimensionamento de um disjuntor motor feito para um motor de 7,5 cv, com método de partida direta. Sua principal função é a proteção contra curtos-circuitos, proteção magnética, e sobrecargas, proteção térmica. Na Tabela 6 mostra a folha de dados do motor.

Tabela 6 – Folha de dados do motor de 7,5 cv.

Motor elétrico - 7,5 cv	
Potência	5,5 kW (7,5 cv)
Número de Polo	2
Frequência	60 Hz
Rotação nominal	3515 rpm
Escorregamento	2,36%
Tensão nominal	220/380 V
Corrente nominal	19,4/11,3A
Ip/In	8,5
Fator de serviço	1,25
Método de partida	Partida direta
Grau de proteção	IP55
Regime de serviço	S1

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico—Baixa-Tens%C3%A3o/Usos-Gerais/W22/W22-/W22-IR3-Premium-7-5-cv-2P-112M-3F-220-380-V-60-Hz-IC411—TFVE—B14D/p/12219200>

Para o dimensionamento do disjuntor motor são necessários as seguintes variáveis: corrente nominal, tensão de operação do motor e fator de serviço. Como esse motor pode operar tanto em 220 V como em 380 V foi necessário perguntar ao cliente qual seria sua tensão de operação. Para esse projeto o cliente escolheu a tensão de 380V.

Da folha de dados, Tabela6, do motor foi possível extrair a corrente nominal do motor ($I_n = 11,3A$), operando em 380 V. O fator de serviço ($F_s = 1,25$) e a corrente de partida ($I_p = 8,5 I_n$). Como o motor possui $F_s = 1,25$ foi necessário aplicar esse ajuste em relação a I_n .

$$I_n' = 1,25 * 11,3 = 14,125 A$$

Assim a faixa de ajuste da corrente nominal do disjuntor motor (I_{ndm}), proteção contra sobrecarga, deve possuir em sua faixa de ajuste corrente ligeiramente maior que I_n para seu menor valor e ligeiramente maior que I_n' para seu maior valor.

Para a proteção magnética, contra curto-circuito, o disjuntor não pode desarmar na partida do motor. Na partida do motor a corrente pode chegar muitas vezes a corrente nominal. Logo a proteção magnética não deverá atuar na partida do motor.

$$I_p = 8,5 * 11,3 = 96,05 A$$

Desse modo foi escolhido o disjuntor MPW40-3-U016, esse disjuntor possui faixa de ajuste da corrente nominal de 10 a 16 A e disparo magnético instantâneo de $13xI_n$. Na Tabela 7 mostra-se a folha de dados do equipamento.

Tabela 7 – Folha de dados disjuntor motor MPW40-3-U016.

MPW40-3-U016	
Corrente nominal Inmax (Ie)	40 A
Faixa de ajuste de corrente	10-16 A
Número de polos	3
Curto-Circuito	13 Iemax
Tensão de trabalho	690 V
Frequência de trabalho	60 Hz
Tensão de impulso nominal suportável	6 kV
Categoria de utilização -IEC 60 947-2 (Disjuntor-motor)	A
Categoria de utilização -IEC 60 947-4-1 (Partida de motores)	AC-3
Proteção de sobrecarga	Sim

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Partida-e-Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Motores/Disjuntores-motores/Disjuntores-Motores-MPW/DISJUNTOR-MOTOR-AZ-MPW40-3-U016/p/12428128>

4 CONCLUSÃO

A experiência do estágio permitiu ao estagiário utilização dos conhecimentos adquiridos durante todo o período acadêmico. Porém, o principal foi o desenvolvimento de suas habilidades sociais. Durante o período acadêmico é dado muita ênfase no conhecimento específico, entretanto não basta ao profissional o conhecimento específico, muitas vezes sem as habilidades interpessoais, o profissional não tem a chance de pôr os conhecimentos técnicos em prática.

De modo geral, durante o estágio o aluno teve a chance de interagir com diversos profissionais gabaritados de diversas áreas o que proporcionou ganho de conhecimento em diversas áreas. O estágio também proporcionou ao aluno o conhecimento de diversos equipamentos elétricos que englobava o funcionamento e onde poderiam ser utilizados.

Foi possível o aprimoramento na desenvoltura em diversas áreas como projetos de eficiência energética, dimensionamento de equipamentos para partida e proteção de motores e projetos fotovoltaicos para diversas aplicações.

Compreender o funcionamento e aplicação de equipamentos como inversores para aplicação solar, abriu um leque enorme para o aluno, pois esses equipamentos são aplicados em diversas áreas do mercado. Na aplicação solar, por exemplo, o aluno com o conhecimento obtido pode instalar geradores solares em residências ou até mesmo em usinas fotovoltaicas, abrindo assim um mercado de trabalho enorme para o aluno.

A habilidade de negociar foi uma das mais vantajosas adquiridas durante o estágio. O aluno além de ter conhecimentos técnicos necessitou desenvolver técnicas de persuasão, pois o cliente tem que ter a percepção que está ganhando algo para poder ceder algo. O contato direto com os clientes foi uma das partes mais valiosas dessa experiência. Foi possível aprender a importância de construir relacionamentos sólidos e entender as necessidades dos clientes, o que é fundamental para criar propostas de valor que realmente atendam às expectativas.

Por fim, o estágio não apenas consolidou o interesse pela profissão, mas também melhorou o aluno para os desafios futuros, reforçando a importância da continuidade do aprendizado. Outrossim, tomando como premissa que a disciplina de estágio visa inserir os discentes no mercado de trabalho, é possível afirmar que esse objetivo foi integralmente alcançado durante o estágio.

5 REFERÊNCIAS

<https://weg365.sharepoint.com/sites/SOLARBOX/>

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/weg-account>

<https://www.weg.net/institutional/BR/pt/solutions/energy-efficiency>

Uso eficiente de energia. **WEG**. Sem data. Disponível em:

WEG-gestao-eficiente-da-energia-eletrica-50030292-brochure-portuguese-web.pdf.

Acesso em: 20 setembro 2024

Aquecedor solar: o que é, como funciona e benefícios. **Portal Solar**. Sem data. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/aquecedor-solar-o-que-e>. Acesso em: 25 de outubro 2024

Fundamentos de energia solar para a disciplina Fundamentos de Sistemas Fotovoltaicos. **Alexandre da Silva Barcellos e Alexandre Lopes de Oliveira**. Disponível em: <https://acesse.one/il1ZU>. Acesso: 25 de outubro 2024.