

CONTROLE INTELIGENTE DE DEMANDAS ELÉTRICAS COM ARDUINO E NODE-RED PARA REDUÇÃO DE CUSTOS ENERGÉTICOS EM PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS

SMART ELECTRICAL DEMAND CONTROL USING ARDUINO AND NODE-RED FOR COST REDUCTION IN SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES

Vitor Hugo Santana Siqueira¹

RESUMO

A indústria representa aproximadamente 42% do consumo global de eletricidade. Contratos de demanda estabelecem o limite de potência que empresas podem utilizar, resultando em multas quando excedido. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de controlador de cargas utilizando Arduino e Node-RED, capaz de monitorar e gerenciar o consumo de energia em tempo real, priorizando cargas essenciais e desligando as não essenciais para evitar penalidades. O sistema demonstrou potencial de reduzir custos operacionais, promover eficiência energética e facilitar a gestão elétrica com baixo investimento.

Palavras-chave: Consumo; demanda; protótipo.

ABSTRACT

Industry accounts for approximately 42% of global electricity consumption. Demand contracts set the maximum power companies can use, resulting in penalties when exceeded. This paper presents the development of a load controller prototype using Arduino and Node-RED, capable of monitoring and managing power consumption in real time, prioritizing essential loads and disconnecting non-essential ones to avoid penalties. The system demonstrated potential to reduce operational costs, promote energy efficiency, and facilitate electrical management with low investment.

Keywords: consumption; demand; prototype.

¹ Vinculação do autor e endereço eletrônico. Exemplo: Pós-graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: souza@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O alto consumo de energia elétrica e as penalidades por ultrapassagem de demanda contratada representam um desafio econômico para empresas (FILIPPO FILHO, 2018). Soluções de automação acessíveis, como o uso de microcontroladores e plataformas de programação visual, podem mitigar esse problema, especialmente através da prototipagem rápida de soluções de baixo custo (LIMA et al., 2020). Este trabalho visa desenvolver um protótipo funcional de controlador de cargas capaz de manter o consumo mensal abaixo de 300 kWh, automatizando decisões e permitindo monitoramento em tempo real, em linha com as ações administrativas de gerenciamento de energia (FERREIRA; GEDRA, 2020).

1.1 Problema de pesquisa

Empresas de pequeno e médio porte frequentemente enfrentam penalidades financeiras por excederem a demanda contratada de energia elétrica, ou acabam pagando por uma demanda não utilizada, gerando desperdício de recursos. Este cenário é agravado pelas barreiras à implementação de medidas de eficiência energética em PMEs, como demonstrado por Silva et al. (2021) em seu estudo de caso no setor metalúrgico. Sistemas de gestão e controle de demanda existentes no mercado apresentam custos elevados, dificultando sua adoção por negócios com menor capacidade de investimento (COSTA et al., 2021). Além disso, muitas soluções não oferecem integração simplificada com tecnologias acessíveis, nem permitem monitoramento em tempo real com recursos de automação adaptativos, como os propostos por Pereira et al. (2021).

1.2 Objetivo(s)

Desenvolver um protótipo funcional de controlador de cargas baseado em Arduino, integrado a sensores de corrente e tensão, capaz de monitorar e gerenciar o consumo de energia elétrica em tempo real, garantindo que o consumo mensal de uma empresa não ultrapasse o limite de 300 kWh. O sistema deverá incluir uma interface intuitiva no Node-RED para acompanhamento do consumo, controle manual e automático de cargas, priorizando a redução de desperdício, a prevenção de multas por excedente contratual e a viabilidade de implementação com baixo custo.

1.3 Justificativa

O alto custo da energia elétrica e as penalidades por exceder a demanda contratada impactam diretamente a competitividade e a saúde financeira das empresas, um tema amplamente discutido em estudos sobre a demanda de energia no Brasil (SILVEIRA; MATTOS, 2017). Soluções de automação para gestão de consumo, embora eficientes, são em grande parte inacessíveis devido ao investimento inicial elevado.

O desenvolvimento de um sistema de controle de cargas com tecnologia aberta e de baixo custo representa uma alternativa viável para empresas que buscam eficiência energética, redução de custos operacionais e sustentabilidade, conforme preconizado em manuais de eficiência para a indústria (WEG, 2022). Além disso, o projeto se alinha às diretrizes do Plano Nacional de Eficiência Energética (BRASIL, 2007), que incentiva a adoção de tecnologias acessíveis para otimização do uso de energia no setor industrial.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo a International Energy Agency (IEA, 2022), a indústria é responsável por 38% do consumo global de energia elétrica. No Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023) aponta que esse valor chega a 36%. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010) regula os contratos de demanda, prevendo multas quando os limites são excedidos. Estudos recentes mostram que soluções de baixo custo, como sistemas baseados em Arduino integrados a sensores de corrente e tensão, podem reduzir o consumo em até 12%.

3 METODOLOGIA

O protótipo foi desenvolvido utilizando um Arduino Uno, sensores de corrente SCT-013, relés e a plataforma Node-RED instalada em uma Raspberry Pi 5. A comunicação foi feita via protocolo Firmata, permitindo o controle em tempo real. Uma interface homem-máquina (IHM) touch screen de 7" foi implementada com Node-RED Dashboard, permitindo acionamento manual e visualização do consumo.

O sistema foi programado para controlar cargas contínuas e intermitentes, com base em limites de demanda e temperatura. Para dimensionar corretamente os dispositivos de proteção, cabos e contadores, é necessário calcular as correntes elétricas de cada carga, fundamentando-se nos princípios de circuitos elétricos (NILSSON; RIEDEL, 2015) e seguindo as diretrizes para instalações elétricas industriais (CREDER, 2016).

3.1 CÁLCULO DAS CORRENTES PARA AS CARGAS DA FÁBRICA

Para dimensionar corretamente os dispositivos de proteção, cabos e contadores, é necessário calcular as correntes elétricas de cada carga, fundamentando-se nos princípios de circuitos elétricos (NILSSON; RIEDEL, 2015). Consideraremos um sistema trifásico com tensão de 220V e fator de potência (FP) típico de 0,92 para cargas indutivas, como motores (GUIMARÃES, 2018). A fórmula geral para corrente trifásica é:

$$I = 3 \times V \times FPP$$

Onde:

I: Corrente elétrica (A)

P: Potência ativa (kW)
 V: Tensão de linha (V)
 FP: Fator de potência

Circuito	Carga	Potência (kW)	Corrente (A)
1	Máquina de Injeção A	100	285,6
2	Máquina de Injeção B	120	342,7
3	Compressor de Ar	50	142,8
4	Ventiladores	20	57,1
5	Iluminação	10	28,6
6.1	Chiller 1	40	114,3
6.2	Chiller 2	40	114,3
7	Equipamentos Diversos	20	57,1

3.2 CORRENTE TOTAL E LIMITE CONTRATADO

Demanda Instalada (400 kW):

$$I_{\text{total}} = 285,6 + 342,7 + 142,8 + 57,1 + 28,6 + 228,5 + 57,1 = 1.142,4 \text{ A}$$

3.3 DIMENSIONAMENTO DE PROTEÇÕES E CABOS (220V)

O dimensionamento adequado dos sistemas de proteção é essencial para garantir a segurança operacional e a coordenação seletiva dos dispositivos de proteção em instalações industriais (KINDERMANN, 2012). A tabela a seguir apresenta as especificações dos cabos e proteções dimensionados:

Circuito	Carga	Corrente (A)	Cabo (mm ²)
1	Máquina de Injeção A	285,6	2x150
2	Máquina de Injeção B	342,7	2x185
3	Compressor de Ar	142,8	70
4	Ventiladores	57,1	16
5	Iluminação	28,6	6
6.1	Chiller 1	114,3	50
6.2	Chiller 2	114,3	50
7	Equip. Diversos	57,1	16

DIMENSIONAMENTO DE CONTADORES E DISJUNTORES

A especificação de contadores e dispositivos de comando deve considerar não apenas a corrente nominal, mas também as características específicas de partida, regime de

trabalho e condições ambientais de operação (WEG, 2022). O dimensionamento realizado é apresentado na tabela seguinte:

Circuito	Carga	Corrente (A)	Contator WEG	Disjuntor WEG
1	Máquina de Injeção A	285,6	CFW500 (400A)	DWX630 (630A)
2	Máquina de Injeção B	342,7	2x CFW300 (250A)	DWX630 (630A)
3	Compressor de Ar	142,8	CFW300 (160A)	DWX160 (160A)
4	Ventiladores	57,1	CFW11 (63A)	DW60 (63A)
5	Iluminação	28,6	CFW08 (32A)	DW32 (32A)
6.1	Chiller 1	114,3	CFW300 (160A)	DWX160 (160A)
6.2	Chiller 2	114,3	CFW300 (160A)	DWX160 (160A)
7	Equipamentos Diversos	57,1	CFW11 (63A)	DW60 (63A)

3.4 PROVA DE CONCEITO (POC) – DEMONSTRAÇÃO INICIAL DE VIABILIDADE TÉCNICA

A fim de validar os recursos exigidos na proposta apresentadas pelo corpo docente, apresentamos o protótipo funcional como demonstração inicial de viabilidade técnica. Foram feitas algumas alterações na proposta inicial, com o intuito de demonstrar o potencial de automação e interação do sistema apresentado. Sendo elas inseridas no campo de “Operação intermitente”, adicionada uma carga a mais, ficando “Chiller A”, “Chiller B e “Outras cargas”.

Nesse projeto, foi utilizado o hardware do Arduino Uno, com suas entradas e saídas possibilitando o controle da potência descrita na planta apresentada. Porém não foi usada sua IDE para programação e parametrização da lógica embarcada. Foi utilizado em conjunto a biblioteca Firmata e o software Node-RED.

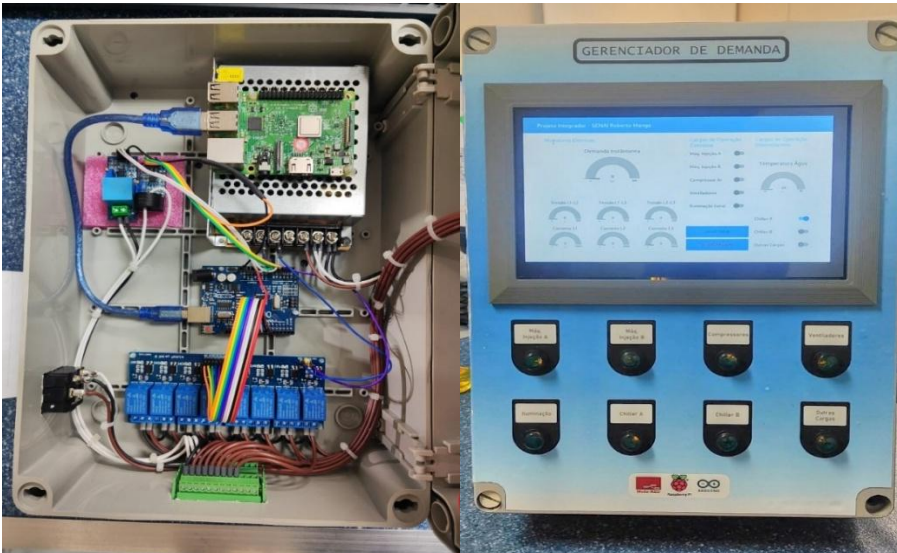
Biblioteca firmata: No Arduino é uma interface de comunicação padronizada que permite que softwares externos (como o Node-RED, Processing, Python, Matlab, etc.) controlem o Arduino em tempo real, sem precisar reprogramar o microcontrolador a cada modificação.

Node-RED: É uma ferramenta de programação visual baseada em fluxo, usada principalmente para integrar dispositivos de hardware, APIs, serviços online e automação de processos, tudo isso com pouco ou nenhum código tradicional. É uma plataforma de desenvolvimento *low-code* para automação, Internet das Coisas (IoT), controle de sistemas e integração de dados. Com interface em browser e código fonte aberto (open source), caso precise de programação em seus nós, é utilizado a linguagem *JavaScript*.

Em resumo o protótipo consiste no Node-RED rodando em um servidor local, foi usada a Raspberry PI 5, um minicomputador com estrutura voltada para educação, automação, IoT e projetos embarcados. O Firmata instalado no Arduino permite o controle remoto pelo Node-RED rodando na Raspberry dos GPIOs por

comunicação serial. O microcontrolador de certa forma acaba se tornando um escravo do programa.

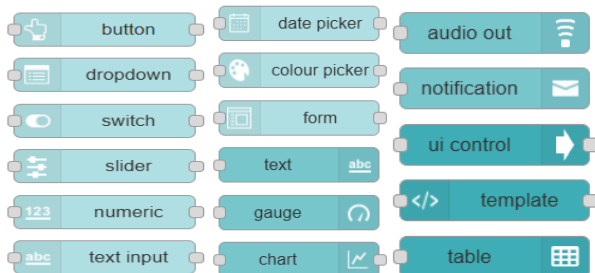
3.5 DESENVOLVIMENTO



Como o Node-RED trata-se de um programa *Open Source*, existe diversas bibliotecas, denominadas “Paletas” para infinitos tipos de aplicação, nesse projeto foi utilizada a do Arduino, que consiste em 2 nós, “Arduino in” e “Arduino out”. Segue abaixo:



Não foi utilizado nenhum botão físico para controle dos acionamentos, a fim de aproveitar a imersão da tecnologia que a automação representa, foi utilizado uma tela 7” touch como Interface Homem Máquina (IHM), a partir daí entra outra “Paleta” disponível no Node-RED, a “Dashboard”. Um conjunto de 17 nós que formam a parte gráfica da IHM. Segue abaixo demonstrativo:

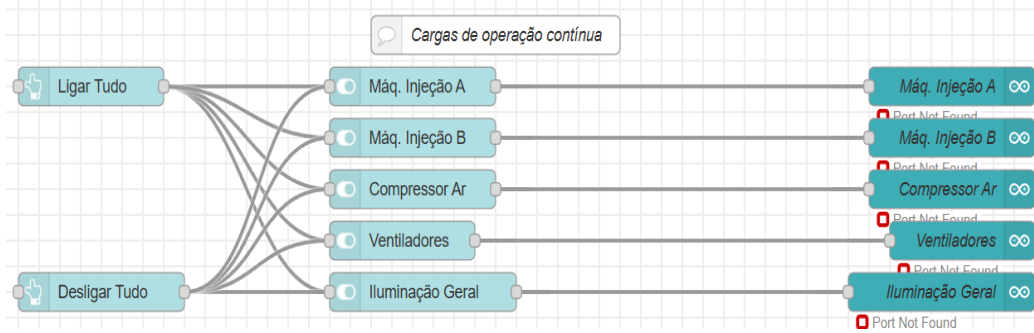


3.60 FLUXO

Cargas de operação contínua:

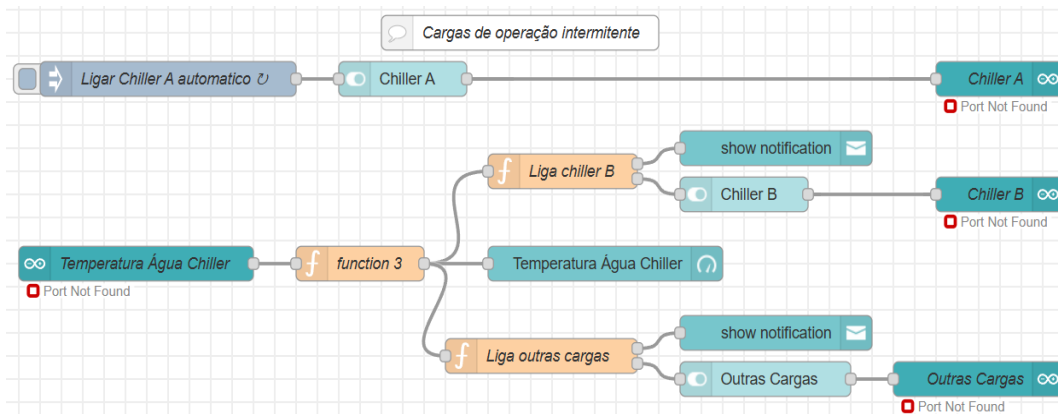
Segue abaixo partes do fluxo criado e breve explicação de sua

funcionalidade:



Trata-se de todas as cargas de “Operação Contínua”, não possui lógica diferenciada, apenas acionamento comum discreto e simultâneo.

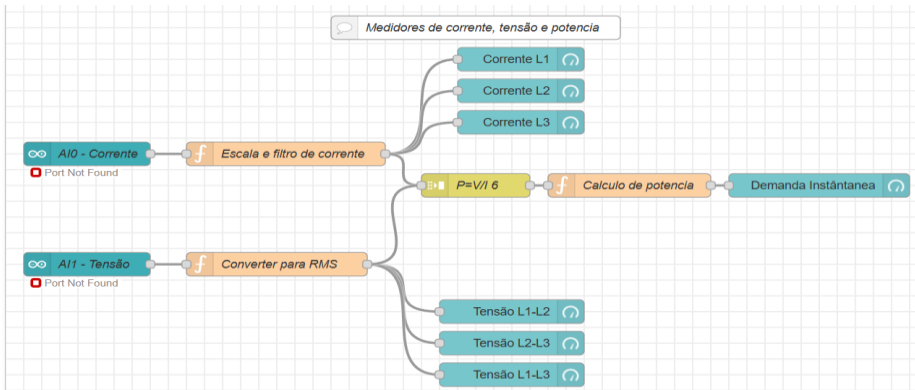
3.7 CARGAS DE OPERAÇÃO INTERMITENTE



O Chiller A possui operação totalmente automática, fica sempre ligado. Se caso for desligado, o programa manda comando a cada 10s para religá-lo.

O Chiller B é acionado de acordo com a temperatura da água. Liga caso a temperatura atinja 25° C e desliga automaticamente caso a temperatura atinja 10° C, o mesmo possui interação automática com “Outras Cargas”. Caso “Outras cargas” esteja ligado no momento que a água atingir $\geq 25^\circ \text{C}$, essa carga será desligada automaticamente, só poderá voltar a ser ligada manualmente quando a temperatura da água atingir valores $\leq 10^\circ \text{C}$. Ambos possuem notificação de acionamento, segue abaixo:

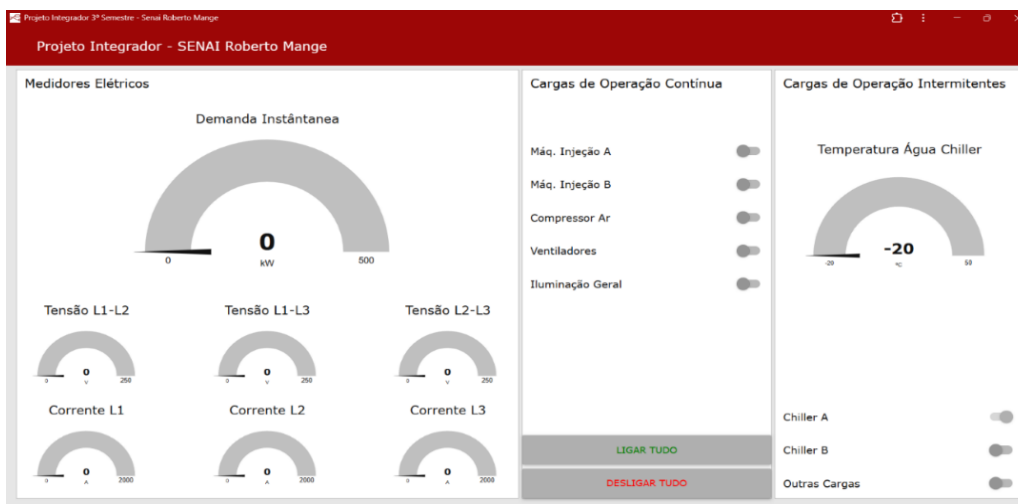
3.8 MEDIDORES DE GRANDEZAS ELÉTRICA:



Os medidores apresentam valores reais captados por sensor de tensão e corrente, a demanda instantânea é calculada a partir desses valores, considerando fator de potência e outras exigências.

Na apresentação do protótipo será utilizada apenas um valor de tensão e um valor de corrente, a fim de simplificação, porém o hardware e software é preparado para sistemas trifásicos conforme proposta.

3.9A DASHBOARD



A Dashboard consiste propriamente na interface do usuário com o sistema. Na parte lateral esquerda apresenta os medidores de Demanda Instantânea, tensão e corrente. No centro as cargas de operação contínuas, com possibilidade de acionamento discreto e simultâneo através dos botões “LIGAR TUDO” e “DESLIGAR TUDO”. Já na direita apresenta as cargas de operação intermitente e a medição de temperatura da água.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes demonstraram que o sistema foi capaz de manter o consumo dentro do limite contratado de 380 kWh/mês, desligando automaticamente cargas não essenciais. A interface gráfica foi bem avaliada pelos usuários, permitindo controle rápido e visualização de dados em tempo real. O custo total de implementação foi inferior a R\$ 1.500,00.

5 CONCLUSÃO

O protótipo demonstrou ser viável e eficaz no controle de demanda elétrica em pequenas e médias empresas. A solução alia baixo custo, facilidade de operação e escalabilidade. Sugere-se como trabalho futuro a integração com sistemas IoT para monitoramento remoto, migração para redes 380V e uso de algoritmos preditivos.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Brasília, DF: ANEEL, 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 19 set. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas. Brasília, DF: MME, 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 19 set. 2025.

COSTA, J. R. et al. Análise de Viabilidade de Sistemas de Gestão Energética para Pequenas Indústrias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 14., 2021, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte: COBEE, 2021. p. 1-10. Disponível em: <https://www.cobee.org.br/anais/2021>. Acesso em: 18 maio 2025.

CREDER, H. Instalações Elétricas Industriais. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 19 set. 2025.

FERREIRA, B.; GEDRA, R. Gerenciamento de Energia: Ações Administrativas. São Paulo: Érica, 2020.

FILIPPO FILHO, G. Gestão da Energia: Fundamentos e Aplicações. São Paulo: Blucher, 2018.

GUIMARÃES, C. H. C. Sistemas Elétricos de Potência e Seus Principais Componentes. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Energy Efficiency 2022. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <http://www.iea.org>. Acesso em: 19 set. 2025.

KINDERMANN, G. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. v. 1. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2012.

LIMA, A. et al. Prototipagem Rápida para Eficiência Energética. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, 15., 2020, [S. I.]. Anais [...]. [S. I.]: SBAI, 2020.

NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. Circuitos Elétricos. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2015.

PEREIRA, R. et al. Sistema de Baixo Custo para Monitoramento de Energia em Instalações Industriais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 23., 2021, [S. I.]. Anais [...]. [S. I.]: SBA, 2021.

SILVA, P. et al. Barreiras à Eficiência Energética em PMEs: Estudo de Caso no Setor Metalúrgico. Revista Engenharia Sustentável, [S. I.], v. 12, n. 2, p. 112-130, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/res>. Acesso em: 19 set. 2025.

SILVEIRA, A. G.; MATTOS, V. L. D. Estudo da Demanda de Energia Elétrica no Brasil: Uma Abordagem Econométrica. Curitiba: Appris, 2017.

WEG. Manual de Comando e Proteção de Motores Elétricos. Jaraguá do Sul: WEG, 2022. Disponível em: <https://www.weg.net>. Acesso em: 19 set. 2025.

WEG. Manual de Eficiência Energética para Indústrias. Jaraguá do Sul: WEG, 2022. Disponível em: <http://www.weg.net>. Acesso em: 19 set. 2025.

AGRADECIMENTOS

Manifestamos nossa gratidão ao corpo docente e à coordenação do curso, em especial ao professor José Neves Bezerra e professor Michel Chaparro, pela orientação, apoio técnico e pelas valiosas contribuições que enriqueceram este projeto. Aos colegas de equipe, pelo comprometimento, colaboração e troca de conhecimentos, elementos essenciais para a conclusão deste trabalho.

Agradecemos também às nossas famílias, pelo incentivo constante, paciência e compreensão diante das horas dedicadas à pesquisa e ao desenvolvimento deste trabalho. Por fim, expressamos nosso reconhecimento a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste projeto.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

VITOR HUGO SANTANA SIQUEIRA



Graduando em Tecnologia Mecatrônica Industrial na Faculdade de Tecnologia Senai Roberto Mange. Especialista em elétrica e Automação com forte atuação na industrial alimentícia, de transportes e metalúrgica com manutenção, projetos e aplicação. Atualmente atuando no setor de manutenção de uma multinacional brasileira do setor metalúrgico.