

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS – CAMPUS IPATINGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PEDRO ANTONIO MIRANDA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE PAINEL AUTOMATIZADO PARA OTIMIZAÇÃO E
SEGURANÇA NO CARREGAMENTO DE EMPILHADEIRAS**

Ipatinga
2025

PEDRO ANTONIO MIRANDA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE PAINEL AUTOMATIZADO PARA OTIMIZAÇÃO E
SEGURANÇA NO CARREGAMENTO DE EMPILHADEIRAS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso Bacharelado em
Engenharia Elétrica do Instituto Federal de
Minas Gerais – Campus Ipatinga para
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Gabriel Miranda Freitas

Ipatinga
2025

S581d Silva, Pedro Antônio Miranda da.

Desenvolvimento de painel automatizado para otimização e segurança no carregamento de empilhadeiras. Pedro Antônio Miranda da Silva.– 2025.

63f.;il.

Orientador: Gabriel Miranda Freitas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus Ipatinga*, 2025.

1. Automação Industrial. 2. Segurança Operacional. 3. Painel Elétrico. I. Freitas, Gabriel Miranda. II. Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus Ipatinga*. III. Título.

CDD 670.42

Catálogo: Rejane Valéria Santos - CRB-6/2907

PEDRO ANTONIO MIRANDA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE PAINEL AUTOMATIZADO PARA OTIMIZAÇÃO E
SEGURANÇA NO CARREGAMENTO DE EMPILHADEIRAS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso Bacharelado em
Engenharia Elétrica do Instituto Federal de
Minas Gerais – Campus Ipatinga para
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Elétrica.

Aprovado em: ____/____/____ pela banca examinadora:

Prof. Me. Gabriel Miranda Freitas
(Orientador)

Felipe Antunes

Oséias de Paula Ferreira

Aos meus pais, por todo amor, força
e renúncia. Sem vocês, eu não
chegaria até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, a Deus, por ser minha força e guia em todos os momentos, iluminando meus passos e tornando possível a realização deste sonho.

À minha família, que é meu porto seguro, minha eterna gratidão. Aos meus pais e à minha irmã, que sempre acreditaram em mim e me sustentaram com amor, paciência e dedicação, mesmo nos momentos mais desafiadores, deixo um agradecimento que palavras jamais serão suficientes para expressar.

Sou imensamente grato pelas oportunidades profissionais que a vida me proporcionou e à empresa da qual faço parte, por acreditar no meu potencial, incentivar meu crescimento e contribuir para minha formação.

Aos dedicados docentes do IFMG, minha profunda admiração e respeito pelo compromisso em oferecer não apenas conhecimento, mas também inspiração, preparando-nos para enfrentar o mercado de trabalho com competência e confiança.

Ao meu orientador, deixo um agradecimento especial: cada orientação, conselho e incentivo foi essencial para transformar este trabalho em algo muito melhor do que eu poderia imaginar.

O temor do Senhor é o princípio da
sabedoria, e o conhecimento do
Santo é prudência.

Provérbios 9:10

RESUMO

O presente trabalho apresenta o projeto, o dimensionamento e a implementação de um painel elétrico automatizado para carregar baterias de empilhadeiras elétricas. Ele integra um Controlador Lógico Programável (CLP) e uma Interface Homem-Máquina (IHM). A ideia surgiu da necessidade de melhorar a segurança no dia a dia, otimizar o tempo de carregamento e diminuir a exposição dos operadores a riscos elétricos, sempre seguindo as normas de regulamentação técnica. Ao longo do estudo, foram analisados os riscos de painéis não automatizados, definidos os requisitos técnicos, escolhidos os componentes certos, elaborado o projeto elétrico, além de realizar o comissionamento e planejar estratégias de manutenção preventiva. Como parte da pesquisa, realizou-se um estudo de caso, onde o painel automatizado mostrou benefícios importantes, podendo reduzir operacionais, a melhorar a eficiência energética e o aumentar da segurança dos trabalhadores. Os resultados, indicam o potencial da automatização do processo de carregamento para atender os requisitos técnicos.

Palavras-chave: Automação industrial, Painel elétrico, Segurança operacional, Carregamento de baterias, Controlador Lógico Programável.

ABSTRACT

This project presents the design, development, and implementation of an automated electrical panel for charging electric forklift batteries. The system combines a Programmable Logic Controller (PLC) with a Human-Machine Interface (HMI). The idea came from the need to make daily operations safer, speed up charging times, and reduce workers' exposure to electrical hazards — all while following technical and regulatory standards. During the process, we assessed the risks of using non-automated panels, defined the technical requirements, selected the right components, created the electrical design, carried out commissioning, and planned preventive maintenance strategies. As part of the research, a case study was conducted in which the automated panel demonstrated significant benefits, including reductions in operational risks, improvements in energy efficiency, and enhanced worker safety. The results indicate the potential of automating the charging process to effectively meet technical and safety requirements.

Keywords: Industry automation, electric panel, operation safety, charging of batteries, programmable logic controller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Total de acidentes de origem elétrica 2023.....	8
Figura 2: Total de acidentes de origem elétrica 2024.....	10
Figura 3: Estação de carregamento.	22
Figura 4: Diagramas de blocos da CPU do CLP.	27
Figura 5: Linguagem de programação <i>LADDER</i>	31
Figura 6: Diagrama de ligação da entrada geral do painel e proteção contra surtos (DPS).	36
Figura 7: Circuito do sistema de ventilação e tomada reserva.	38
Figura 8: Diagrama de proteção e comando dos carregadores.	39
Figura 9: Tela de acionamento dos carregadores.	40
Figura 10: Gráfico de tensão apresentado pela IHM.	40
Figura 11: Ligações das entradas digitais para acionamento dos carregadores.	41
Figura 12: Ligações das saídas digitais para acionamento dos carregadores.	42
Figura 13: Circuito dos sinaleiros de indicação de status e falhas.	43
Figura 14: Layout físico do painel.....	44
Figura 15: Comparação entre os métodos de carregamento.	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1. Objetivos gerais	9
1.2. Objetivos específicos	9
1.3. Justificativa	9
1.4. Estrutura do trabalho	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. Transformações industriais: dos painéis manuais à automação inteligente	12
2.2. Risco dos painéis não automatizados.....	13
2.3. Normas e regulamentações aplicáveis	15
2.4. A importância da automação industrial	18
2.5. Funcionamento das empilhadeiras elétricas	21
2.6. Métodos tradicionais de carregamento e seus riscos	23
3. DIMENSIONAMENTO DO PAINEL PARA CARREGAMENTO DE EMPILHADEIRAS.....	24
3.1. Dimensionamento do painel	24
3.2. Proteções elétricas e dispositivos de segurança	25
3.3. Dimensionamento do controlador lógico programável	26
3.4. Integração com o sistema de automação ihm.....	28
3.5. Desenvolvimento do projeto elétrico e montagem do painel.....	28
3.6. Programação do clp e ihm	30
3.7. Comissionamento do painel.....	33
3.8. Manutenção preventiva e atualização do sistema	34
4. ESTUDO DE CASO.....	36
4.1. Implementação do painel automatizado	36
4.2. Comunicação entre clp e ihm.....	44
5. RESULTADOS E ANÁLISES.....	46
5.1. Benefícios da automação para empresa e operadores	46
5.2. Desafios na implementação de sistemas automatizados	48
6. CONCLUSÃO.....	50
APÊNDICE A - DIAGRAMA DE MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS	51
APÊNDICE B - DIAGRAMA DE AUTOMAÇÃO DO PAINEL	52
APÊNDICE C – LAYOUT DE PAINEL	53

APÊNDICE D – PROGRAMAÇÃO <i>LADDER</i>	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1. INTRODUÇÃO

Com a modernização dos processos produtivos, a automação industrial tem conquistado cada vez mais espaço e relevância, desempenhando um papel crucial na melhoria da eficiência, segurança e confiabilidade operacional. Ao integrar tecnologias avançadas, a automação é capaz de otimizar tarefas, reduzir riscos e erros, aumentando significativamente a produtividade das indústrias.

A automação contém em si o conceito de usar a potência elétrica ou a potência mecânica para acionar algum tipo de máquina. Tal potência acrescenta à máquina algum tipo de inteligência para que ela execute sua tarefa de modo mais eficiente e com vantagens econômicas e de segurança. (RIBEIRO, 2001).

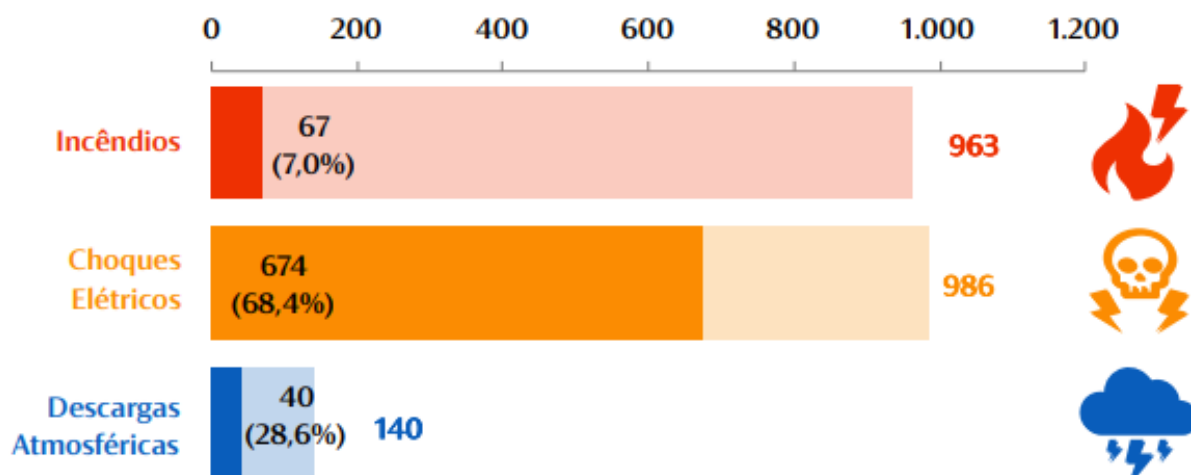
Um dos grandes benefícios da automação dos processos industriais está na mitigação dos riscos existentes em certas atividades desenvolvidas diariamente por milhares de trabalhadores, podendo diminuir os índices de acidentes de trabalho que requerem maior conhecimento técnico do operador.

Destaca-se que a segurança operacional é um tema em crescente valorização dentro de empresas e entidades dos mais diferentes setores. Conforme dados do ano de 2023 divulgados pelo Tribunal Superior do Trabalho (TST), acidentes de trabalho matam ao menos uma pessoa a cada 3 horas e 47 minutos no Brasil (BRASIL, 2023).

Observa-se que a segurança operacional no ambiente industrial é crescentemente exigida devido à realização de diversas atividades que expõem os trabalhadores a riscos de acidentes de trabalho, especialmente em operações com maquinários, equipamentos e intervenções em sistemas elétricos.

Em 2023, conforme indicado na Figura 1 os acidentes de origem elétrica no Brasil somaram 2.089 ocorrências, resultando em 781 mortes. Dentre essas fatalidades, 674 foram causadas por choques elétricos, 67 por incêndios de origem elétrica e 40 por descargas atmosféricas (ABRACOPEL, 2024).

Figura 1: Total de acidentes de origem elétrica 2023.



Total: 781 (37,4%) mortes em 2.089 acidentes. Período: 2023

Fonte: https://abracopel.org/wp-content/uploads/2024/06/Ebook-Anuario-12062024_compressed_rev1.pdf. Acesso em: 15 dez. 2025

Dentre as diversas operações industriais que envolvem riscos elétricos, o presente trabalho dá destaque ao processo de carregamento das baterias de empilhadeiras elétricas, mostrando a necessidade da adoção de medidas específicas para evitar acidentes e oferecer soluções práticas.

As empilhadeiras elétricas são utilizadas em setores logísticos e industriais devido à sua eficiência e baixo impacto ambiental. Apesar disso, o carregamento dessas máquinas exige atenção quanto à segurança.

O envolvimento de operadores com eletricidade exige responsabilidade, com isso as empresas adotam padrões rigorosos e burocráticos para conceder permissões de trabalho e garantir a operação dos trabalhadores. Tais padrões demandam diversas capacitações e conhecimentos técnicos específicos, a fim de que os trabalhadores executem suas atividades e operem os equipamentos com segurança.

As capacitações de funcionários para operação com eletricidade geram custos, os treinamentos regulares que visam aumentar a eficiência operacional e a percepção de risco, e que nem sempre esses treinamentos alcançam os resultados almejados.

Dessa forma, os painéis elétricos automatizados representam uma solução prática para otimizar o carregamento das baterias, garantindo uma maior confiabilidade e conformidade com as normas de segurança como a NR-10 e NR-12.

A criação de painéis elétricos automatizados compostos por controladores lógicos programáveis (CLP) e interfaces Homem-Máquina (IHM), auxilia num ambiente de trabalho mais seguro.

1.1. Objetivos Gerais

Este trabalho possui como objetivo geral projetar e dimensionar um painel elétrico automatizado para carregamento de baterias de empilhadeiras elétricas, integrado com CLP e IHM, buscando alcançar eficiência energética e segurança operacional. Ainda, o projeto visa a garantia das normas regulamentadoras como a NR10 e NBR-5410, dentre outras.

1.2. Objetivos Específicos

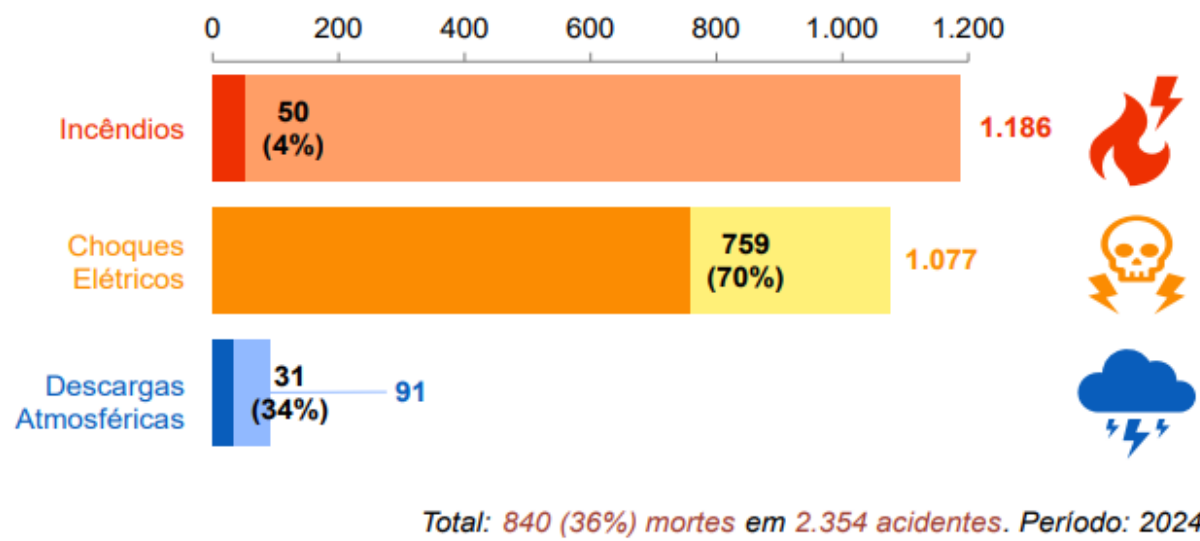
- Análise dos requisitos técnicos e das normas regulamentadoras que se aplicam ao carregamento de baterias de empilhadeiras elétricas, com ênfase nas normas NR10 e NBR 5410.
- Seleção de componentes elétricos e eletrônicos ideais para o projeto do painel automatizado, incluindo o CLP (Controlador Lógico Programável) e a IHM (Interface Homem-Máquina).
- Projetar o circuito elétrico de um painel automatizado, observando os critérios de segurança, eficiência energética e funcionalidade.

1.3. Justificativa

O trabalho se fundamenta pela necessidade de aliar a automação industrial à promoção de um ambiente de trabalho mais seguro aos operadores, especialmente àqueles que lidam com o carregamento de baterias das empilhadeiras elétricas.

Em atenção aos dados divulgados pela Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade- ABRACOPEL, os números de acidentes envolvendo eletricidade são alarmantes. Em 2024, foram registrados 2.373 acidentes de origem elétrica, representando um aumento de 11,6% em relação ao ano anterior. Desses, 1.077 envolveram choques elétricos, resultando em 759 mortes, um crescimento de 12,6% em relação a 2023 (ABRACOPEL, 2025), conforme ilustrado na Figura 2 .

Figura 2: Total de acidentes de origem elétrica 2024.



Fonte: <https://abracopel.org/wp-content/uploads/2025/03/Anuario-2025.pdf>. Acesso em: 15 dez 2025.

Segundo o Ministério do Trabalho e Emprego, "a NR-10 estabelece requisitos e condições mínimas para a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos que garantam a segurança e a saúde dos trabalhadores" (BRASIL, 2020). Entretanto, apesar da existência de normas regulamentadoras, ainda existem lacunas a serem preenchidas, especialmente em setores industriais que necessitam de maior agilidade de processos.

O tema proposto por essa pesquisa apresenta uma solução para reduzir não somente os custos manuais, evitando também vários riscos como, por exemplo, o de contato de operadores com partes vivas do painel.

O painel automatizado será capaz de monitorar tensão e corrente elétrica, apresentar falhas, além de permitir que o operador através da IHM habilite o carregador. Além da proteção e diminuição de riscos, a eficiência aumentará.

1.4. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado em seis capítulos, descritos a seguir:

Capítulo 2 – Reúne os principais conceitos relacionados ao estudo, abordando as formas de carregamento de empilhadeiras elétricas e aspectos técnicos que sustentam o desenvolvimento do projeto.

Capítulo 3 – Expõe a metodologia utilizada para o dimensionamento do painel elétrico, contemplando os cálculos de demanda, a definição dos componentes gerais e a seleção das proteções adequadas, como disjuntores e demais dispositivos de segurança.

Capítulo 4 – Descreve a aplicação prática do projeto, detalhando o local de implementação, as particularidades do sistema, a configuração do painel automatizado.

Capítulo 5 – Apresenta os resultados obtidos a partir da implementação do sistema, discutindo o desempenho, as melhorias alcançadas e os impactos observados.

Capítulo 6 – Reúne as considerações finais sobre o trabalho, destacando as contribuições do estudo, suas limitações e sugestões de temas para pesquisas futuras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, são apresentados de forma clara e acessível os principais conceitos, as bases teóricas e os avanços tecnológicos ligados à automação industrial. Ela aborda as mudanças que aconteceram ao longo do tempo, desde os sistemas manuais até as soluções automatizadas e inteligentes. Além disso, explica também os princípios técnicos que estão por trás dos painéis elétricos automatizados.

2.1. Transformações industriais: dos painéis manuais à automação inteligente

A Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII, foi a grande precursora da revolução tecnológica que transformou a vida de inúmeros trabalhadores daquela época. Certo é que seus impactos perduram até os dias de hoje, e continuam a moldar o nosso cotidiano (IGLÉSIAS, 1990).

Ferreira (2001) ressalta que a Revolução Industrial tinha como principal finalidade mecanizar a produção, que até então, era baseada em técnicas artesanais de manufatura, ou seja, produtos feitos à mão, em pequena escala.

Importante ressaltar que nesse primeiro cenário o principal objetivo era apenas de mecanização da produção, substituindo o trabalho manual intensivo por máquinas movidas a novas fontes de energia. Com a Revolução Industrial assistir-se-ia à passagem da manufatura à maquinofatura, nesse contexto a máquina passa a ser o centro do processo (IGLÉSIAS, 1990).

A automação industrial, envolvendo sistemas com pouca ou nenhuma intervenção humana, surge de forma significativa com a Segunda e Terceira Revolução Industrial, as quais trouxeram importantes avanços na informática e robótica para os processos produtivos (PAZOS, 2002).

Com o advento da eletrônica, a microinformática assumiu o papel da produção automatizada, em que o homem utilizando técnicas de inteligência artificial, materializadas pelos sistemas computadorizados, instrui um processador de informações a desenvolver tarefas complexas e tomar decisões rápidas para controle do processo (MAMEDE, 2007).

Desde então, a automação industrial tem sido de maneira significativa adotada como meio de melhorar a eficiência, produtividade e segurança dos processos produtivos. Além do mais, a automação auxilia a garantir que as operações industriais

sejam mais sustentáveis e eficientes em termos energéticos, o que é essencial para o sucesso das empresas no mercado atual (GROOVER, 2008).

2.2. Risco dos painéis não automatizados

Os painéis não automatizados são quadros elétricos que precisam de operação manual para controlar, supervisionar e ligar ou desligar circuitos elétricos (RIBEIRO, 2001). Apesar de sua ampla utilização, especialmente em sistemas mais antigos, esses painéis não possuem sistemas inteligentes de monitoramento, sensores ou comandos remotos, os tornando totalmente dependentes de intervenções humanas para realização de quaisquer atividades.

Importante destacar que os painéis não automatizados possuem um custo reduzido se comparados aos painéis elétricos automatizados, uma vez que estes últimos podem exigir altos investimentos em equipamentos tecnológicos e softwares de última geração. Assim, algumas empresas que buscam reduzir custos iniciais podem optar pelo uso de painéis manuais.

Há de se ressaltar ainda que os sistemas eletrônicos são mais complexos e demandam um maior conhecimento técnico para manutenção e reparação. Por outro lado, os painéis não automatizados são mais usuais, exigindo conhecimentos mais básicos para operar e solucionar problemas.

Ocorre que, apesar de todas as vantagens do uso de um painel não automatizado, sua dependência de operação manual pode levar a diversos erros humanos, à redução da eficiência operacional e ao aumento de risco de falhas elétricas. Isso é especialmente relevante em sistemas complexos que necessitam de monitoramento constante e ajustes frequentes.

A interação dos operadores com painéis convencionais pode apresentar vários riscos que afetam tanto a segurança dos trabalhadores quanto a integridade das instalações elétricas. Em ambientes industriais, onde os painéis são antigos, ainda é comum encontrar painéis elétricos sem proteções adequadas, como acrílicos ou barreiras físicas, o que aumenta a exposição a componentes energizados, a chance de erros humanos.

Muitos desses painéis possuem partes vivas, ou seja, barramentos que possuem tensões elevadas acessíveis, aumentando significativamente o risco de choques elétricos e outros acidentes, principalmente em equipamentos onde a

manutenção é realizada manualmente e sem o uso devido de equipamentos de proteção.

Com base em João Mamede Filho (2007), os projetistas devem considerar no desenvolvimento de sua planta todas as características referentes aos meios ambientes, tomando providências necessárias a fim de tornar o projeto perfeitamente correto quanto à segurança do patrimônio e das pessoas qualificadas ou não para o serviço de eletricidade.

A ausência de automação nos painéis aumenta consideravelmente esses riscos, pois obriga o operador a ter contato direto com componentes energizados, o que eleva a chance de acidentes. Por isso, é fundamental implementar sistemas automatizados e barreiras de proteção para reduzir os perigos e garantir um ambiente de trabalho mais seguro.

Outro risco que os painéis não automatizados estão sujeitos é o de superaquecimento e até explosão se não houver um monitoramento adequado das cargas elétricas. Quando a distribuição e consumo de energia não são devidamente controlados, é possível que o equipamento funcione continuamente acima da capacidade projetada, o que gera um acúmulo excessivo de calor nos componentes internos.

Franchi (2013) classifica a sobrecarga como uma circunstância onde a corrente elétrica é superior ao que os materiais utilizados suportam, por um determinado valor e por um limite de tempo, resultando em um superaquecimento por perda Joule. Esse problema se intensifica ainda mais quando o painel é subdimensionado, ou seja, quando a carga conectada ultrapassa os limites previstos no projeto original e não há um sistema eficaz de proteção e controle.

O excesso de carga faz com que os disjuntores, barramentos e outros dispositivos se desgastem rapidamente, comprometendo a integridade do painel e aumentando o risco de falhas graves, como incêndios e explosões. As indústrias, em geral, já estão permanentemente sujeitas a riscos de incêndio e, dependendo do produto que fabricam, são bastante vulneráveis a explosões normalmente seguidas de incêndio (MAMEDE, 2007).

Além disso, o superaquecimento também pode diminuir a eficiência dos materiais isolantes e causar curto-circuitos, ampliando ainda mais os perigos. A melhor forma de evitar esses problemas é implementar sistemas de monitoramento de carga e fazer revisões periódicas da capacidade dos painéis. Um ponto de

destaque ao tratarmos sobre os painéis não automatizados é que a interação manual constante com equipamentos elétricos aumenta a possibilidade de erros humanos. Os erros de configuração, atrasos em manutenção e operações incorretas podem causar danos irreversíveis.

Diante de todos os riscos mencionados, é possível concluir que, apesar dos painéis não automatizados apresentarem custos mais acessíveis, o mesmo não se torna seguro quando se trata de produções em grandes escalas. Um estudo realizado pela Schneider Electric destaca que 98% dos locais apresentam riscos potenciais para a segurança dos operadores e das instalações elétricas (SE.COM, 2023).

Quando o assunto é o carregamento de baterias, especialmente aquelas utilizadas nas empilhadeiras elétricas, os riscos aumentam consideravelmente devido à alta corrente envolvida, à emissão de gases inflamáveis e ao potencial de superaquecimento. O carregamento inadequado dessas baterias pode resultar em superaquecimento, vazamento de substâncias químicas e até mesmo incêndios, como é o caso das baterias de íon-lítio, que podem sofrer uma "fuga térmica" se danificadas (GLOBAL SPILL, 2023).

Ante ao exposto, é evidente que o investimento em tecnologias mais seguras é essencial para mitigar os riscos causados pelos painéis não automatizados. A implementação de novos sistemas não apenas contribui para redução dos riscos de acidentes, como também garante maior eficiência operacional e segurança para os trabalhadores.

Assim, a modernização das infraestruturas elétricas não deve ser vista apenas como um custo, mas como um investimento indispensável na preservação de vidas e patrimônio.

2.3. Normas e regulamentações aplicáveis

No capítulo anterior, vimos que a eletricidade pode apresentar diversos riscos e, se manuseada de maneira inadequada, pode até ser fatal. Neste sentido, as normas de segurança são essenciais para garantir condições dignas e seguras aos trabalhadores que lidam com essa fonte de perigo diariamente, especialmente em ambientes industriais.

Assim, o uso de painéis de controle industriais, sejam automatizados ou não, exige a observância de uma série de normas e regulamentações que garantem segurança e conformidade com padrões técnicos.

No Brasil, as Normas Regulamentadoras (NR's), instituídas pelo Ministério do Trabalho e Emprego, têm como objetivo prevenir acidentes e doenças ocupacionais, promovendo a proteção da saúde e da integridade física dos trabalhadores. A criação de normas de segurança reflete a preocupação do legislador em preservar vidas humanas e promover um ambiente de trabalho mais seguro.

Em um país onde milhares de acidentes de trabalho são registrados anualmente, essas regulamentações incentivam as empresas a investir em treinamentos e tecnologias preventivas. Além disso, elas promovem uma cultura de responsabilidade dentro das organizações, garantindo que a segurança dos trabalhadores seja uma prioridade. Atualmente, existem mais de 30 NR's, cada uma tratando de diferentes aspectos de segurança e saúde no trabalho (ZUANAZZI, 2022).

Vale destacar que a normatização e própria legislação brasileira vêm evoluindo de forma a abarcar abordagens modernas de prevenção de riscos no ambiente de trabalho. Um exemplo disso é que a legislação trabalhista reconhece o direito dos trabalhadores à proteção contra atividades perigosas.

O artigo 193 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) traz a definição de atividades perigosas como aquelas atividades que expõem os trabalhadores a riscos acentuados devido à energia elétrica, inflamáveis ou explosivos.

Contribuindo de forma significativa para o avanço da proteção do trabalhador, temos o entendimento sumulado do Tribunal Superior do Trabalho (súmula nº 364), estabelecendo que o adicional de periculosidade é devido quando o trabalhador está exposto permanentemente, ainda que de forma intermitente, às condições de risco (TST, 2023).

Assim, as normas regulamentadoras surgem da necessidade de sistematizar e formalizar as práticas de segurança e saúde no ambiente de trabalho. Cada norma é designada por um número e um título que especifica seu escopo.

A NR-10 estabelece os requisitos e condições mínimas visando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade. (NR-10, 2004). Essa norma também estabelece medidas de segurança para instalações e serviços em eletricidade, exigindo treinamentos específicos e o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs).

A NR-10 desempenha um papel fundamental na definição de um quadro regulatório robusto que não apenas protege os trabalhadores, mas também melhora a qualidade das instalações elétricas em todo o país.

A NBR 5410, intitulada “Instalações Elétricas de Baixa Tensão”, estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens. Essa norma se destina a orientar a correta implementação, manutenção e inspeção de sistemas elétricos que operam com tensões até 1000 volts em corrente alternada e até 1500 volts em corrente contínua. (NBR 5410, 2004).

A NBR 5410 tem uma influência direta na qualidade e na segurança das instalações elétricas, uma vez que é responsável por definir as condições mínimas para um sistema elétrico seguro.

Já a NR-12, intitulada “Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos”, institui requisitos mínimos para prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos, buscando minimizar os riscos mecânicos e elétricos que podem comprometer a segurança dos operadores (BRASIL, 2020).

Essa norma é capaz de impactar o setor industrial em diversos aspectos, como (i) na redução de acidentes ao exigir medidas de proteção em máquinas e equipamentos; (ii) na padronização de processos ao definir requisitos técnicos claros para o uso e manutenção de máquinas; (iii) na modernização industrial ao estimular o uso de tecnologias mais seguras e equipamentos com proteção adequadas.

Ganha destaque também as diretrizes internacionais da *International Electrotechnical Commission* (IEC) e *International Standard Organization* (ISO). A IEC, fundada em 1906, é a organização líder mundial na preparação e publicação de normas internacionais para tecnologias da eletricidade, eletrônicas e relacionadas. Já a ISO é uma organização internacional independente, não governamental e tem atuação direta e de extrema relevância na elaboração e divulgação de normas internacionais.

Nesse contexto, fica claro que tanto as diretrizes internacionais quanto às opiniões de especialistas ressaltam a importância da normatização nos projetos de automação industrial. A atuação de organizações como a IEC e a ISO cria fundamentos técnicos globais que se conectam diretamente às exigências práticas do setor.

Nos ensinamentos de Mamede Filho, o cumprimento das normas de segurança é indispensável ainda na fase de elaboração do projeto elétrico. Para ele, todo e qualquer projeto deve ser elaborado com base em documentos normativos. A adoção de normas, além de ser uma exigência técnica profissional, conduz a resultados altamente positivos no desempenho operacional das instalações, garantindo-lhes segurança e durabilidade (2018).

Certo é que a adequação de um painel elétrico às normas de segurança garante não só o processo e a produtividade, como também torna o ambiente de trabalho mais seguro e confiável, tornando a identificação de falhas e o tempo de manutenção mais rápido e assertivo.

Diante do que foi apresentado, não restam dúvidas que seguir as normas e regulamentações técnicas é fundamental para garantir a segurança, a eficiência e a conformidade legal dos sistemas de automação industrial. Todas as normas ditas anteriormente servem como um bom guia para o desenvolvimento de projetos seguros e padronizados.

Cumprir as exigências normativas com rigor não apenas garante proteção aos profissionais e aos equipamentos envolvidos, como também contribui para a melhoria contínua dos processos industriais, fortalecendo a competitividade e a sustentabilidade das operações.

2.4. A importância da automação industrial

A automação industrial nada mais é que a tecnologia pela qual um procedimento ou processo é obtido sem assistência humana. Segundo Rosário (2009) a automação é todo processo que executa tarefas e atividades de maneira autônoma ou que ajuda o homem nas suas tarefas de rotina.

Por muitos anos a automação industrial foi vista como uma ameaça aos trabalhadores, causando diversos receios quanto à substituição da mão de obra humana por maquinários automatizados, especialmente em setores industriais que exigiam a realização de atividades repetitivas. Tal motivo fez com que a automação industrial fosse amplamente percebida como uma verdadeira vilã.

Ocorre que o constante avanço no desenvolvimento tecnológico, especialmente nas áreas produtivas, fez com que a automação industrial se tornasse um importante ponto de investimento para as indústrias (NAVARRO, 2012).

A partir de então a automação industrial começa a ser vista como uma forma de modernizar os processos de produção, sendo a principal responsável por aumentar a eficiência, a qualidade e competitividade das indústrias no mundo todo.

Para o administrador de empresas, Gabriel Sperandio Milan, a automação se tornou uma oportunidade de aprimoramento para as empresas competirem dentro de seus segmentos, expandindo suas infraestruturas, investindo na qualificação e melhorias para instalações, visando eficácia e a produtividade para melhor entrega ao cliente (MILAN, PRETTO e BASSO, 2007).

Vale ressaltar que o processo de automação industrial é apenas consequência das diversas necessidades da indústria. Segundo Geomar Machado Martins (2012), a automação industrial gera, pelo seu alto nível, produtos de qualidade, maior versatilidade de modelos, baixos custos e baixas perdas de energia e matérias e mais disponibilidade e qualidade de informação referente ao processo.

A evolução ao longo do tempo reflete uma busca constante por eficiência e inovação. Desde a Revolução Industrial até a era atual da automação avançada, as transformações têm sido significativas (OLIVEIRA, SANTOS & FERREIRA, 2024).

É indiscutível que a automação trouxe um impacto direto na produtividade e na sustentabilidade das empresas, e sem dúvidas esse foi um dos seus grandes feitos. A automação torna possível realizar processos repetitivos e complexos de maneira rápida e precisa. Os equipamentos automatizados funcionam de forma contínua, sem precisar de pausas constantes, o que diminui bastante o tempo de produção e os custos operacionais. Assim, as empresas conseguem produzir mais em menos tempo e com maior consistência.

Henry Ford, precursor da produção em massa no início do século XX, afirmou: “Qualquer cliente pode ter um carro pintado da cor que quiser, desde que seja preto”. Essa citação captura a eficiência da produção em massa, um dos primeiros estágios significativos na evolução da automação (OLIVEIRA, SANTOS & FERREIRA, 2024). Ao padronizar a produção, Ford conseguiu reduzir os custos da linha de produção e aumentar a eficiência, o que tornava o automóvel acessível a mais pessoas.

Com sistemas automatizados, é totalmente possível manter um padrão de qualidade bem rigoroso em toda a linha de produção. Sensores e controladores são capazes de assegurar que os processos sigam as diretrizes definidas, reduzindo, assim, erros humanos e garantindo a qualidade do produto final.

Nesse cenário, a automação industrial surge como uma solução para alcançar altos níveis de eficiência e qualidade, utilizando máquinas inteligentes que realizam tarefas complexas com precisão (ALMEIDA ET AL, 2023).

Entretanto a contribuição significativa da automação para a segurança dos trabalhadores, uma vez que muitas tarefas perigosas e de alto risco passaram a ser realizadas por máquinas, o que por consequência gera a redução de riscos de acidentes, lesões e doenças ocupacionais, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro. Embora se discuta o alto investimento inicial em automação, é notório que os ganhos a longo prazo compensam esse custo.

De acordo com o Fundacentro (1982) os acidentes de trabalho estão relacionados com dois tipos de situação: a condição insegura e o ato inseguro. A condição insegura é caracterizada pelas condições no local de trabalho, como irregularidades em máquinas e equipamentos, a maneira que o trabalho é realizado, a falta de treinamento, a falta de supervisão e até mesmo horas excessivas de trabalho.

O ato inseguro, por sua vez, é relacionado à prática ou omissão do trabalhador frente às normas de segurança estabelecidas. Para Ribeiro e Lacaz (1984, apud CHAGAS; SALIM; SERVO,2012)

Os anos 1960 e 1970 foram períodos em que se constatou um crescente número de acidentes, mortes e doenças profissionais no Brasil, sendo que o pagamento dos benefícios monetários a eles relacionados sempre coube à Previdência Social. O Brasil era tido como campeão mundial da acidentalidade - a média dos anos 1970 era de 1,5 milhão de acidentes, cerca de 4 mil óbitos e 3,2 mil doenças profissionais. Em 1975 o número de acidentes registrados bateu o recorde de 1,9 milhão, o que significava que neste ano 14,74% dos 12,9 milhões de trabalhadores segurados sofrera algum acidente de trabalho.

Diante dos dados alarmantes, a automação industrial se tornou uma aliada necessária na prevenção de acidentes de trabalho, especialmente na redução da exposição direta dos trabalhadores às atividades perigosas. Além do mais, a automação permite controle e padronização de processos evitando falhas humanas que podem resultar em graves acidentes.

Admite-se, ainda, que automação industrial está em constante evolução, sendo impulsionadas pelos avanços tecnológicos que tornam os processos mais eficientes, precisos e inteligentes.

Nos últimos anos, a integração da Inteligência Artificial (IA) tem sido um dos principais fatores dessa evolução. Agora, os sistemas automatizados não apenas realizam tarefas repetitivas, mas também aprendem, se adaptam e tomam decisões com base em grandes volumes de dados.

Essa união entre automação e IA está transformando o cenário da indústria, trazendo não só aumento na produtividade, mas também criando novas formas de trabalho, onde a inteligência humana e a artificial se complementam de maneira estratégica.

2.5. Funcionamento das empilhadeiras elétricas

Em 1917, a empresa *Clark Company*, fabricante de eixos, concebeu o primeiro protótipo para transporte interno de materiais que foi chamado de “*Tructractor*”. O veículo chamou a atenção de pessoas que visitaram a fábrica e despertou-lhe o desejo de adquiri-lo para uso próprio. Alguns anos depois, uma melhoria foi implementada neste veículo, sendo considerado o primeiro elevador hidráulico, cuja finalidade era elevar os materiais (PORT SIDE, 2015).

Em 1923, Yale foi a primeira empresa a utilizar garfos que levantaram cargas fora do chão e uma torre de elevação que poderia estender para além da altura do caminhão. O caminhão Yale foi considerado a primeira empilhadeira (PORT SIDE, 2015).

Desde então diversas melhorias foram acrescentadas às empilhadeiras até se tornarem parte indispensável na fabricação e nas operações de armazenagem. A evolução tecnológica contribui significativamente para o aprimoramento das empilhadeiras, as tornando mais eficientes e sustentáveis.

Nesse cenário, ganha destaque as empilhadeiras elétricas que, também são equipamentos usados para movimentar cargas, e que funcionam com motores elétricos alimentados por baterias recarregáveis, geralmente de íon-lítio ou chumbo-ácido.

Ao contrário das empilhadeiras a combustão, que utilizam combustíveis fósseis, as elétricas são mais silenciosas, emitem menos poluentes e são mais eficientes em termos de energia. A Figura 3, representa estações de carregamento de empilhadeiras elétricas.

Figura 3: Estação de carregamento.



Fonte: <https://psoengenharia.com.br/>. Acesso em: 26 nov 2025

As empilhadeiras elétricas são ferramentas essenciais para a movimentação de cargas na logística industrial. Elas funcionam com energia e baterias recarregáveis, que podem ser de chumbo-ácido ou íon-lítio. O funcionamento dessas empilhadeiras se dá pela conversão da energia elétrica em energia mecânica, utilizando motores elétricos que acionam tanto a tração quanto o sistema hidráulico de elevação.

A direção é geralmente assistida por um sistema elétrico, e a velocidade é controlada por inversores de frequência ou controladores eletrônicos.

Um dos grandes benefícios das empilhadeiras elétricas é que elas não emitem gases poluentes, o que as torna ideais para ambientes fechados, como galpões e centros de distribuição. Além disso, os modelos mais modernos vêm equipados com tecnologia que permite o monitoramento remoto, controle de torque e gerenciamento eficiente da energia da bateria, tudo isso contribuindo para uma operação mais segura e eficaz.

2.6. Métodos tradicionais de carregamento e seus riscos

O carregamento tradicional de empilhadeiras, realizado com painéis não automatizados, é caracterizado por operações manuais, supervisão direta dos operadores e ausência de sistemas inteligentes de controle e monitoramento.

A operação de painéis não automatizados expõe o operador a riscos elevados, como choques elétricos, queimaduras, arcos elétricos e até mesmo acidentes fatais. Segundo Kraemer (2018), “trabalhar com eletricidade exige um grau de instrução desenvolvido com muita atenção e preocupação não só com a saúde, mas em primeiro lugar com a vida”, sendo fundamental analisar os riscos e adotar medidas preventivas para evitar acidentes graves.

No método tradicional, a necessidade de intervenção direta do operador em comandos, ajustes e manutenções aumenta significativamente a exposição a partes energizadas. Estudos acadêmicos apontam que “acima de 50 VCA e 120 VCC podem ocasionar grande risco ao ser humano, dependendo da intensidade da corrente em um eventual choque, desde um leve formigamento de membros até uma parada cardiorrespiratória, podendo levar à morte” (Comin, 2016).

Além disso, a ausência de sistemas de monitoramento e alarmes em tempo real dificulta a identificação de falhas, favorecendo a ocorrência de incêndios e danos aos equipamentos.

A automação do painel elétrico, com a integração de CLP e IHM, representa um avanço significativo na mitigação desses riscos. Segundo Rocha, Pacheco e Pinheiro (2024), em um artigo publicado na *Brazilian Journal of Development*, “a adequação de um painel elétrico de acordo com as normas de segurança garante não só o processo e a produtividade, mas também torna o ambiente de trabalho mais seguro e confiável, tornando a identificação de falhas e o tempo de manutenção mais rápido e assertivo”.

A automação elimina a necessidade de acesso frequente ao interior do painel, pois as operações passam a ser realizadas via interface segura, reduzindo drasticamente o risco de choque elétrico e contato com partes viva.

3. DIMENSIONAMENTO DO PAINEL PARA CARREGAMENTO DE EMPILHADEIRAS

Neste capítulo do trabalho terá destaque o processo técnico de elaboração do painel para carregamento de empilhadeiras elétricas, bem como a especificação dos componentes elétricos necessários para o seu funcionamento seguro e eficaz.

3.1. Dimensionamento do painel

O dimensionamento de um painel elétrico automatizado é uma etapa essencial para garantir o funcionamento de forma eficiente e segura do sistema. Segundo João Mamede (2007), o dimensionamento e a especificação correta de materiais, equipamentos e dispositivos são fatores determinantes no desempenho de uma instalação elétrica industrial.

Essa etapa exige cálculos precisos, seleção criteriosa de componentes adequados e garantia de conformidade com normas técnicas aplicáveis. Além disso, o planejamento do projeto deve considerar a carga de trabalho, os requisitos operacionais e a integração com sistemas automatizados, como CLP's e IHM's.

Necessário se faz destacar a importância do cálculo da demanda no momento de dimensionar um painel elétrico. É a partir desse cálculo que será possível determinar a capacidade necessária para atender às cargas conectadas, considerando o uso simultâneo dos equipamentos.

Segundo a ANEEL (2021), "a demanda elétrica é definida como a média das potências elétricas ativas ou reativas, injetada ou requerida do sistema elétrico durante um intervalo de tempo especificado", o que reforça a necessidade de precisão nesse cálculo.

Tal definição é fundamental para garantir que o painel seja dimensionado corretamente, evitando sobrecargas ou sub dimensionamentos que possam comprometer a segurança e a eficiência da instalação.

Sob a perspectiva de Mamede (2007), para se determinar a demanda total da instalação, deve-se utilizar a seguinte fórmula:

$$D = \frac{P}{F_p} \cdot F_d \quad [1]$$

Onde:

D é demanda em [kVa]

P é a potência ativa instalada que será alimentada pelo painel em [W]

Fd corresponde ao fator de demanda, ou seja, a porcentagem de carga instalada que será usada instantaneamente.

FP equivale ao fator de potência.

Considerando que a potência ativa [P], pode ser obtida pelo produto da tensão pela corrente, poderíamos então reescrever a fórmula da seguinte maneira:

$$D = \frac{(V \cdot I)}{F_p} \cdot F_d \quad [2]$$

Onde:

V é a tensão em [V]

I é a corrente em [A]

Através da equação acima é possível determinar a demanda que o painel deverá atender. Como exemplo, é possível citar um carregador que necessita de 20A em 380V para carregar uma bateria. Definindo o fator de potência e o fator de demanda como 1, é possível obter a demanda que o carregador necessita, sendo de 7,6kVA. Para calcular a demanda total, é necessário realizar o produto da demanda acima pela quantidade total de carregadores previstos no projeto. Diante de tais dados, possuímos informações importantes como a corrente total que pode ser extraída do painel, que será usada para definir a proteção geral do painel.

3.2. Proteções elétricas e dispositivos de segurança

A definição das proteções individuais de cada circuito requer análise criteriosa da corrente de operação e das características dinâmicas do carregamento. Conforme os ensinamentos de Mamede (2019), "o dispositivo de proteção deve ser dimensionado para suportar a corrente máxima transitória do sistema, sem desarmes indevidos, garantindo continuidade operacional".

Partindo desse princípio, a escolha da corrente nominal do dispositivo de proteção deve ser igual ou superior à corrente de projeto, ou simplesmente de carga prevista, sendo ela o parâmetro de referência para garantir que os componentes suportem as demandas do sistema, sem colocar em risco a segurança e nem prejudicar a eficiência da instalação. Vejamos:

$$I_a \geq I_c \quad [3]$$

Onde:

I_a é a corrente nominal do dispositivo de proteção

I_c é a corrente de projeto

Contudo, destaca-se que a corrente nominal do dispositivo de proteção deve ser menor ou igual que a capacidade do condutor, de forma a evitar aquecimentos e garantir a segurança da instalação elétrica. Vejamos:

$$I_a \leq I_{nc} \quad [4]$$

I_{nc} é a corrente nominal do condutor, após aplicação dos fatores de correção

Para um cálculo mais assertivo, a NBR-5410 mostra fatores de correção tabelados que devem ser aplicados a corrente nominal do condutor, contudo I_{nc} pode ser reescrito seguindo a equação 5.

$$I_{nc} = \frac{I_c}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} \quad [5]$$

k_1 – fator de correção de temperatura

k_2 – fator de correção para resistividade térmica do solo

k_3 – fator de correção por agrupamento

Ainda, a corrente de curto-circuito presumida (I_{cc}) deve ser calculada para garantir que o disjuntor possua capacidade de interrupção adequada. Segundo a NBR IEC 60947-2 (ABNT, 2019), "disjuntores industriais devem suportar correntes de até 10 kA em redes de 380 V".

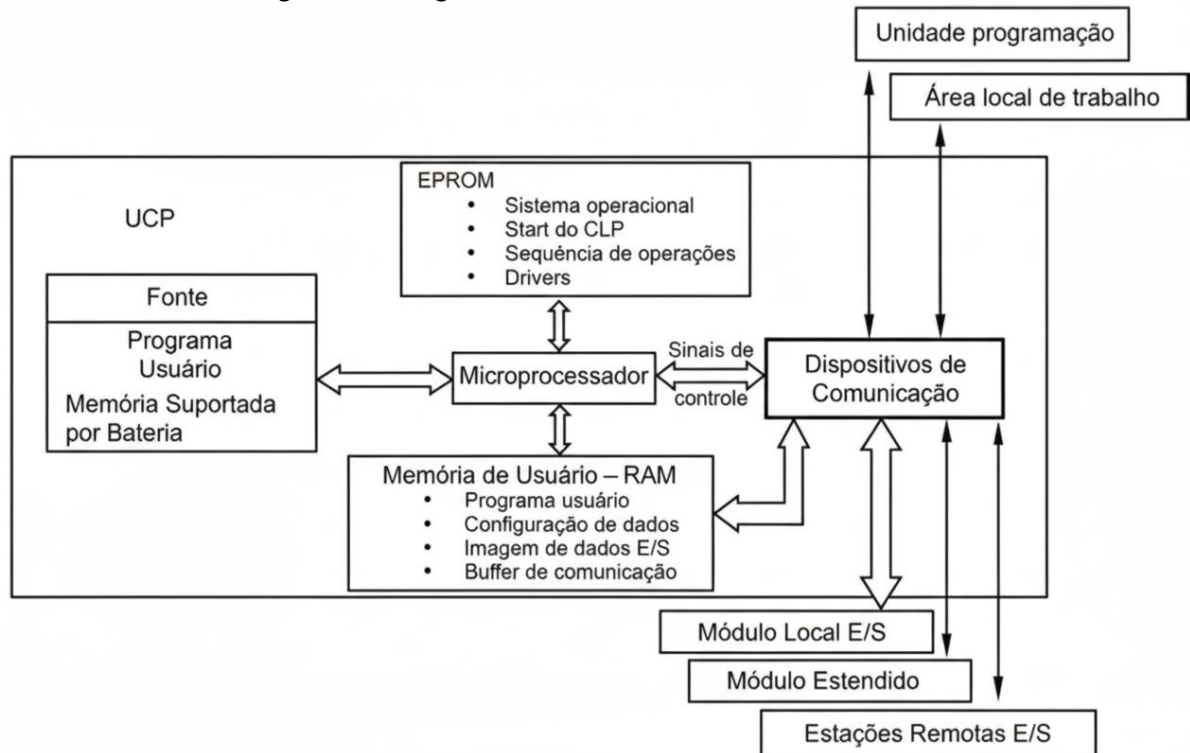
3.3. Dimensionamento do controlador lógico programável

O dimensionamento do Controlador Lógico Programável (CLP) é uma etapa fundamental no projeto de automação, pois define sua capacidade de executar funções com eficiência e segurança. Conforme Mamede (2019), "a seleção adequada do CLP depende da análise detalhada dos requisitos operacionais, da quantidade de entradas/saídas (E/S) e da complexidade da lógica de controle".

A arquitetura do CLP, como mostra a Figura 4, é modular e composta por três elementos principais: a fonte de alimentação, a unidade central de processamento

(CPU) e memórias — ROM para o sistema operacional e RAM para dados e programas do usuário (FRANCHI, 2008).

Figura 4: Diagramas de blocos da CPU do CLP.



Fonte: Engenharia de Automação Industrial, Moraes e Castrucci

Os dispositivos de entrada convertem sinais físicos em informações processadas pela CPU, enquanto os de saída acionam atuadores conforme o programa de controle. O terminal de programação é responsável pelo desenvolvimento e transferência do software.

Destacam-se três tipos de módulos de saída: (i) Relé: aciona cargas de corrente alternada ou contínua com simplicidade e robustez; (ii) Triac: ideal para cargas indutivas e resistivas em corrente alternada e (iii) Transistor: empregado em corrente contínua, oferece alta velocidade e longa vida útil. Essa modularidade garante ao CLP flexibilidade, segurança e integração com processos automatizados.

O dimensionamento adequado assegura eficiência, segurança e expansibilidade. “O CLP deve ser selecionado considerando o número de entradas e saídas digitais e analógicas, a capacidade de processamento e memória, a integração com outros dispositivos por meio de protocolos padronizados e a adequação às condições ambientais de operação” (FRANCHI, 2008, p. 45).

Segundo a norma da ABNT NBR IEC 61131-2, “os requisitos de robustez e confiabilidade do controlador devem ser atendidos para garantir a operação segura em ambientes industriais” (ABNT, 2019, p.7). Além disso, a escolha deve prever futuras ampliações e manter conformidade com as normas: “A manutenção da conformidade com normas técnicas vigentes garante não apenas o bom funcionamento do sistema, mas também a segurança dos operadores e a preservação dos equipamentos” (MAMEDE, 2019, p. 89).

3.4. Integração com o sistema de automação IHM

A integração entre CLP e IHM é o elo que transforma a automação industrial em algo acessível e seguro para o operador. Segundo Franchi (2008, p. 67), “a comunicação entre CLP e IHM é a espinha dorsal da automação, unindo lógica de controle e usabilidade operacional”. O CLP executa a lógica de controle e toma decisões rápidas, já a IHM traduz essas decisões em informações visuais simples, facilitando o entendimento do processo.

A comunicação entre esses dispositivos acontece por protocolos como Modbus e Ethernet/IP. Para Mamede (2019, p. 153), “a sincronização entre o código do CLP e a interface da IHM é crítica para evitar inconsistências operacionais”. Isso garante que o operador veja, em tempo real, o que está acontecendo no painel elétrico.

A IHM não serve apenas para mostrar os dados, ela permite ajustes, aciona comandos e alerta sobre falhas. Segundo Groover (2008, p. 215), “sistemas automatizados integrados reduzem em até 40% as falhas operacionais”. Assim, a integração entre CLP e IHM não só melhora a eficiência, mas aumenta a segurança e a confiabilidade do sistema.

Nesse projeto, a IHM é responsável por toda a operação do sistema, permitindo que o operador monitore e controle as saídas dos carregadores sem a necessidade de acessar partes vivas do painel, o que reduz significativamente os riscos de choque elétrico e acidentes no ambiente de trabalho.

3.5. Desenvolvimento do projeto elétrico e montagem do painel

O desenvolvimento do esquema elétrico do painel é uma etapa crucial para garantir a segurança e eficiência do sistema, o tornando confiável. De acordo com Caetano de Santana e Cunha Faria (2023) “o projeto elétrico inicia-se com a

leitura do descritivo do painel, para coleta de todas as informações importantes sobre sua aplicação e componentes presentes, seguindo uma comparação com as normas vigentes para verificar se tudo está dentro dos conformes”.

A NBR5410 estabelece requisitos que os esquemas elétricos devem conter, segundo a referida norma técnica “todos os elementos necessários para a correta montagem e operação do painel, incluindo dispositivos de proteção, condutores e acessórios, além de indicar a posição dos componentes e as conexões entre eles”. Essa documentação detalhada é essencial para prevenir erros de montagem e facilitar futuras manutenções ou ampliações do sistema.

Quando componentes como o CLP, a IHM e outros são bem integrados, o sistema se torna mais simples de operar, monitorar e manter, reduzindo riscos desnecessários. Como reforça Mamede (2019), “a clareza nos diagramas e a atenção aos detalhes técnicos são fundamentais para evitar erros e garantir a confiabilidade do painel elétrico”.

Por isso, um esquema elétrico bem planejado é indispensável na automação moderna, pois promove eficiência, segurança e confiança no ambiente industrial.

Já a montagem do painel elétrico é uma etapa fundamental para garantir a segurança e a facilidade de manutenção do sistema automatizado. O layout físico do painel deve ser planejado a partir de um projeto técnico detalhado, onde cada componente é posicionado de forma estratégica, levando em consideração (i) o espaço disponível, (ii) a acessibilidade para intervenções futuras e (iii) a segurança dos operadores.

No estudo de caso apresentado por Silva (2019), “um layout bem planejado reduz o tempo de operação e facilita o controle dos processos produtivos, além de permitir uma melhor distribuição dos equipamentos e tarefas”.

O desenho do layout físico, geralmente baseado no diagrama unifilar, define os locais de fixação de disjuntores, barramentos, CLP, IHM, terminais de conexão e demais dispositivos, otimizando o uso do espaço e prevenindo sobrecargas térmicas.

A montagem dos componentes segue etapas padronizadas. Primeiro, é feita a fixação dos trilhos e barramentos. Em seguida, é feita a instalação dos dispositivos de proteção, controle e automação. A disposição dos elementos deve favorecer a ventilação interna e o acesso rápido para manutenção, além de garantir a durabilidade dos equipamentos.

Segundo a Adequada Engenharia (2025), “a escolha do gabinete, o posicionamento dos componentes e a preparação do local de instalação são fatores essenciais para a segurança e o desempenho do painel”.

Destaca-se ainda, que a fiação e a organização dos cabos são etapas críticas para a segurança e a rastreabilidade dos circuitos. A adoção de práticas como o uso de canaletas, braçadeiras, codificação por cores e etiquetas resistentes, facilitam a identificação dos circuitos, evitando emaranhados e reduzindo o risco de curtos-circuitos ou falhas por mau contato.

Como ressalta o guia técnico da Wirebus (2025), “a organização adequada dos cabos não só contribui para a segurança, mas também agiliza a manutenção e a expansão futura do sistema”. Além disso, recomenda-se separar cabos de energia, de controle e de comunicação para evitar interferências eletromagnéticas, garantindo assim a integridade dos sinais.

Por fim, a etapa de testes de funcionamento é indispensável para assegurar que todos os circuitos e componentes operem conforme o projeto. São realizados testes de continuidade, isolamento, funcionalidade e simulação de operação real, conforme orientações de normas técnicas como a NBR IEC 61439 e a NR-10.

Os testes de qualidade, como o teste de continuidade e o teste funcional, garantem que o painel atenda às especificações do projeto e opere com segurança em todas as condições previstas. Assim, a documentação dos resultados dos testes é fundamental para a rastreabilidade e a conformidade do sistema.

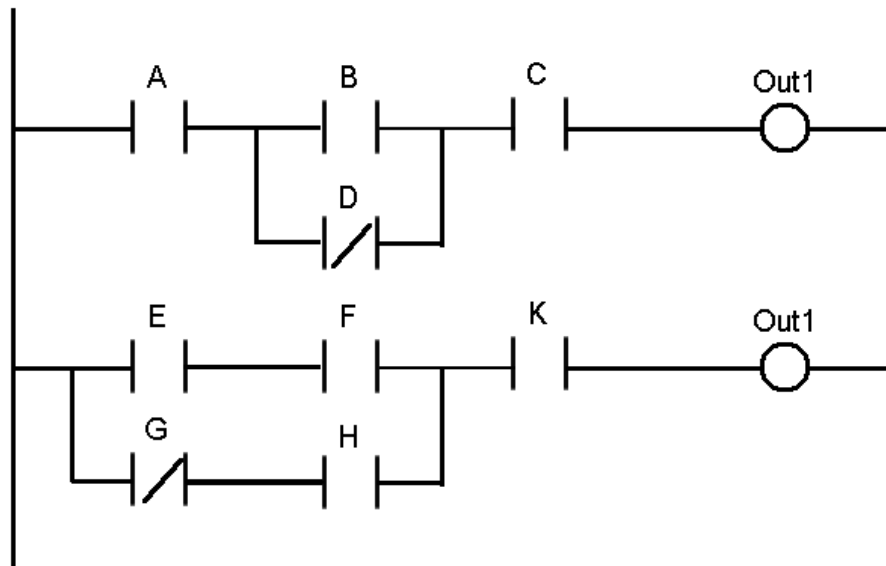
3.6. Programação do CLP e IHM

A programação de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) utilizando a linguagem Ladder é amplamente reconhecida no ambiente industrial por sua abordagem visual, intuitiva e próxima dos antigos esquemas de comandos elétricos, facilitando a compreensão e a manutenção dos sistemas automatizados.

O processo de desenvolvimento de um programa em Ladder inicia-se pela identificação das entradas (sensores, botoeiras) e saídas (atuadores, motores), que recebem endereços específicos no CLP. A lógica de controle é então construída por meio de linhas horizontais, chamadas de “rungs”, onde são inseridos contatos normalmente abertos ou fechados, bobinas, temporizadores e contadores, compondo a lógica sequencial do processo, conforme evidenciado na Figura 5. Essa abordagem

permite que a lógica flua da esquerda para a direita, ativando as saídas conforme as condições das entradas são satisfeitas

Figura 5: Linguagem de programação *LADDER*.



Fonte: <https://www.citisystems.com.br/linguagem-ladder/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

Além dos elementos básicos, a linguagem *Ladder* incorpora blocos funcionais, como temporizadores (TON temporizador para acionar (O tempo começa a contar quando a entrada é acionada), TOF temporizador para desligar (O tempo começa a contar quando a entrada é desacionada), TP temporizador de pulso, usados para gerar um pulso de curto tempo) e contadores (CTU contador crescente (*Count UP*), CTD contador decrescente (*Count DOWN*), que ampliam as possibilidades de controle e automação de processos industriais.

A facilidade de visualização e a semelhança com os esquemas elétricos tradicionais tornam a Ladder uma linguagem acessível a profissionais de diferentes áreas, promovendo a integração entre engenharia elétrica e tecnologia da informação

No entanto, é importante ressaltar que a programação de CLPs não se limita à Ladder. A norma IEC 61131-3 estabelece cinco linguagens padrão para programação de CLPs: (i) diagrama de ladder (LD), (ii) diagrama de bloco funcional (FBD), (iii) gráfico de função sequencial (SFC), (iv) lista de instruções (IL) e (v) texto estruturado (ST).

Destaca-se também que o desenvolvimento da interface IHM (Interface Homem-Máquina) é essencial para proporcionar ao operador informações claras, precisas e em tempo real sobre o processo de carregamento de empilhadeiras.

A IHM atua como mediadora entre o mundo digital do CLP e o operador, traduzindo dados técnicos em gráficos, indicadores e mensagens de fácil compreensão. Como destaca Moraes (2007, p. 45), “a IHM representa o corpo de todo sistema supervisório, possibilitando monitorar e operar toda uma planta em uma única tela, controlando processos e recebendo feedbacks e históricos”. Certo é que tal abordagem é capaz de promover maior segurança operacional uma vez que permite que o operador acompanhe o status do carregamento, identifique falhas e tome decisões rápidas, tudo isso sem precisar acessar partes vivas do painel.

Ainda, a programação da IHM envolve a criação de telas intuitivas e personalizadas, que apresentam informações como corrente, tensão, alarmes e gráficos de desempenho, segundo Inoue (2018, p. 12), “a interface deve ser projetada para fornecer feedback visual e textual ao operador, facilitando a tomada de decisões e a identificação de condições anormais”. A título de exemplo, destaca-se a tela de alarmes, responsável por fornecer alertas visuais que sinalizam falhas ou situações de risco iminente.

Além do monitoramento em tempo real, a IHM permite a visualização de históricos e gráficos de tendência, auxiliando na análise do desempenho do sistema e na identificação de padrões. Como ressalta Gruhn (2011, p. 78), “visualizar históricos de dados, gerando gráficos de feedback do processo em intervalos de tempo determinados, é uma das funções essenciais da interface”.

Os recursos oferecidos pela IHM são fundamentais para a manutenção preventiva e a otimização dos processos industriais, pois permitem ao operador antecipar falhas e tomar medidas corretivas evitando a ocorrência de problemas mais graves.

A integração entre a IHM e o CLP é realizada por meio de protocolos industriais padronizados, como Modbus ou Ethernet/IP, garantindo a troca confiável de dados e a atualização instantânea das informações na tela.

O gerenciamento de alarmes e eventos também é parte integrante do desenvolvimento da interface, sendo fundamental priorizar alertas críticos e apresentá-los de forma clara e objetiva. De acordo com Estevão (2010, p. 23), “um sistema de alarme eficiente deve priorizar os eventos críticos e apresentar alertas visuais e sonoros que auxiliem o operador a agir rapidamente”.

3.7. Comissionamento do painel

O comissionamento do painel elétrico automatizado é uma etapa indispensável para garantir a segurança, a eficiência e a conformidade do sistema com as normas técnicas e regulatórias.

O comissionamento é um conjunto de procedimentos e testes realizados de forma integrada, antes da entrada em operação do painel, com o objetivo de certificar que todos os componentes e circuitos funcionam em conformidade ao que foi projetado e cumprem os requisitos estabelecidos nas normas de segurança.

Os testes funcionais consistem na verificação prática de todas as operações previstas no sistema automatizado, simulando as condições reais de uso do painel. Essa etapa inclui a checagem do acionamento dos carregadores de empilhadeiras, a resposta de sensores e atuadores, o funcionamento dos dispositivos de proteção e a comunicação entre CLP, IHM e demais equipamentos.

Segundo Nascimento (2022), “a atividade de comissionamento é o conjunto de técnicas e procedimentos de engenharia, aplicado de forma integrada em componentes, equipamentos e instalações, garantindo que todas as especificações requisitadas em projeto e normas sejam cumpridas”. Esses testes são fundamentais para identificar possíveis falhas de montagem, conexões inadequadas ou componentes defeituosos, permitindo a correção antes da operação definitiva do sistema.

A verificação de segurança durante o comissionamento do painel é regulada por normas como a NR-10 e a NBR IEC 61439, que exigem a inspeção detalhada dos componentes, a checagem da isolação, a integridade dos circuitos de proteção e a correta identificação dos dispositivos.

É imprescindível garantir que o painel esteja protegido contra choques elétricos, sobrecargas, curtos-circuitos e outros riscos, além de confirmar a existência de dispositivos de proteção adequadamente dimensionados e sinalização adequada.

Como destaca Rodrigues e Araújo (2021), “os testes de ensaio são realizados na conclusão da montagem do painel e são divididos em resistência dos materiais, nível de proteção dos invólucros, alcance de isolamento, proteção contra choque elétrico e integridade dos circuitos de proteção”. A conformidade com as normas citadas é primordial para estabelecer a segurança dos operadores e para promover a confiabilidade do sistema.

Após a realização dos testes iniciais e a verificação de segurança, inicia-se o monitoramento do sistema em operação real. Nessa fase, são acompanhados o desempenho do painel durante o carregamento das empilhadeiras, o registro de dados de funcionamento e a resposta a eventuais alarmes ou falhas.

Os parâmetros do sistema, como limites de corrente, tensão e temporização, devem ser ajustados conforme for necessário para otimizar a operação e garantir a segurança contínua do processo. O monitoramento contínuo também permite identificar oportunidades de melhoria e antecipar possíveis falhas do sistema, o tornando mais robusto e confiável.

Importante destacar que a inspeção termográfica pode ser incorporada ao comissionamento do painel elétrico automatizado como uma etapa complementar de análise técnica, permitindo a detecção precoce de anomalias térmicas em componentes como conexões, disjuntores e barramentos por meio de imagens infravermelhas.

Tal abordagem, reconhecida como não invasiva e eficiente, contribui significativamente para a segurança, a confiabilidade e a conformidade do sistema, uma vez que identifica pontos críticos de aquecimento antes que evoluam para falhas graves, além de facilitar a documentação das condições do painel e a priorização de manutenções preventivas.

O comissionamento do painel elétrico automatizado é um processo estruturado que envolve testes práticos, verificação rigorosa de segurança e ajustes finos do sistema, sempre em conformidade com as normas técnicas e de segurança vigentes.

Quando realizado de forma criteriosa, esse processo assegura que o carregamento das empilhadeiras ocorra sem falhas, com máxima eficiência e proteção para operadores e equipamentos, além de contribuir para a longevidade e a confiabilidade do sistema automatizado.

3.8. Manutenção preventiva e atualização do sistema

A manutenção preventiva em painéis automatizados desempenha um papel fundamental na gestão de sistemas industriais modernos. Ela é essencial para garantir que as operações continuem sem interrupções e para evitar falhas inesperadas.

Com a presença da automação cada vez maior na integração de novas tecnologias, adotar práticas sistemáticas de manutenção se torna indispensável. Isso não só ajuda a preservar a integridade dos componentes elétricos, mas também

melhora a eficiência, aumenta a segurança e assegura que tudo esteja em conformidade com as normas vigentes.

No desenvolvimento desta seção será abordado a importância da manutenção preventiva em painéis automatizados, explicando seus procedimentos, benefícios e a necessidade de manter softwares e firmwares sempre atualizados como parte de uma estratégia proativa de cuidado e gestão dos ativos industriais.

A manutenção preventiva em painéis automatizados, quando realizada de forma sistemática, é reconhecida como fundamental para garantir a confiabilidade e a segurança dos sistemas industriais. Segundo Allison Alves et. al. (2024, p. 3), “a manutenção preventiva consiste em inspeções, testes e ajustes realizados periodicamente, com o objetivo de evitar falhas e prolongar a vida útil dos equipamentos”.

No contexto de painéis elétricos, a manutenção preventiva envolve a verificação regular dos componentes, o reaperto de conexões, a limpeza e a substituição de peças sujeitas ao desgaste, além da documentação detalhada de todas as intervenções realizadas.

Além disso, a atualização dos softwares e firmwares dos dispositivos de automação também é apontada como essencial para a eficiência e a segurança do sistema ao longo do tempo. Como destaca Silva (2023, p. 12), “a atualização periódica do programa do CLP e da IHM é necessária para corrigir vulnerabilidades, incorporar melhorias e garantir a compatibilidade com novas demandas operacionais”.

Tais práticas, alinhadas às recomendações das normas técnicas e à capacitação contínua das equipes, promovem a redução de falhas não programadas e contribuem para a sustentabilidade dos processos industriais.

4. ESTUDO DE CASO

No quarto capítulo deste trabalho será abordada a implementação de um painel automatizado para carregamento de empilhadeiras elétricas. O estudo de caso contemplará todas as fases iniciando-se pela elaboração detalhada do projeto, considerando as necessidades operacionais, o dimensionamento dos dispositivos de proteção, controle e automação, e a definição do layout físico, visando otimizar o uso do espaço e facilitar futuras manutenções.

O projeto contempla a implementação de um painel automatizado no galpão logístico de uma empresa multinacional, que atua no ramo do comércio eletrônico oferecendo uma plataforma e serviços necessários para que pessoas e empresas possam comprar, pagar, vender, enviar, anunciar e gerir seus negócios na Internet.

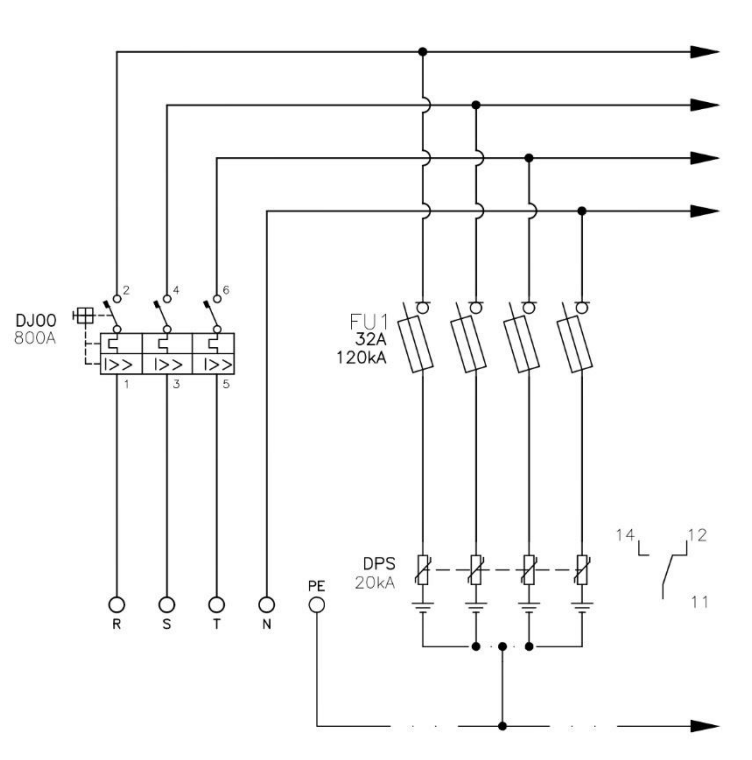
4.1. Implementação do painel automatizado

Para o projeto que fundamenta este trabalho, foram consideradas 36 tomadas, cada uma com corrente nominal de 20 A, totalizando uma carga instalada de 720 A. O cálculo foi realizado adotando fator de demanda igual a 1, em razão de a quantidade de empilhadeiras superior ao número de pontos de carregamento, bem como do regime de operação em turnos do centro logístico. A proteção geral do painel foi projetada com um disjuntor de caixa moldada de 800 A, dimensionado para suportar a corrente total prevista com margem de segurança.

Segundo o protocolo proposto por Souza et al. (2024), “a elaboração de projetos de painéis de comandos elétricos deve considerar dados técnicos da instalação, especificação dos componentes, ações esperadas do comando e sinalização, além de seguir rigorosamente as normas técnicas aplicáveis”.

A proteção da linha de entrada conta com fusíveis, os quais têm a função de proteger o Dispositivo de Proteção contra Surtos (DPS), minimizando danos em casos de surtos de tensão, ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Diagrama de ligação da entrada geral do painel e proteção contra surtos (DPS).



Fonte: Autor (2025).

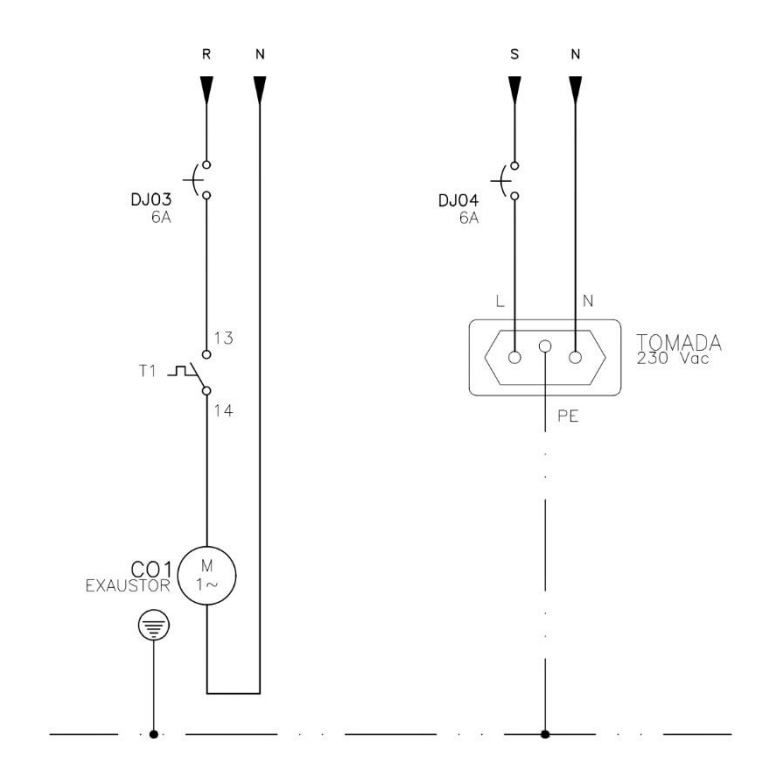
Na parte de medição e monitoramento, o painel possui um multimedidor, que é conectado a um Transformador de Potencial (TP), com relação de transformação de 690/110V, responsável por converter a tensão da rede para um nível seguro e adequado à leitura pelo instrumento. O TP fornece a referência de tensão para o multimedidor.

Além disso, foram instalados três Transformadores de Corrente (TCs), um para cada fase, com relação de transformação de 800/5, o que significa que a corrente de linha é reduzida proporcionalmente para permitir a medição segura pelo multimedidor. Tanto o TP quanto os TCs são essenciais para fornecer leituras precisas de grandezas elétricas.

Paralelamente ao TP, foi instalado um relé de monitoramento de tensão, responsável por detectar anomalias como subtensão, sobretensão ou inversão de fases, garantindo segurança e estabilidade ao sistema. (APÊNDICE A - Diagrama de medição e monitoramento de grandezas elétricas)

No sistema de climatização do painel, foi incorporado um cooler controlado por um termostato. O termostato, instalado em série com o ventilador, monitora a temperatura interna do painel, acionando automaticamente o cooler quando a temperatura excede o limite predefinido, garantindo a troca térmica adequada.

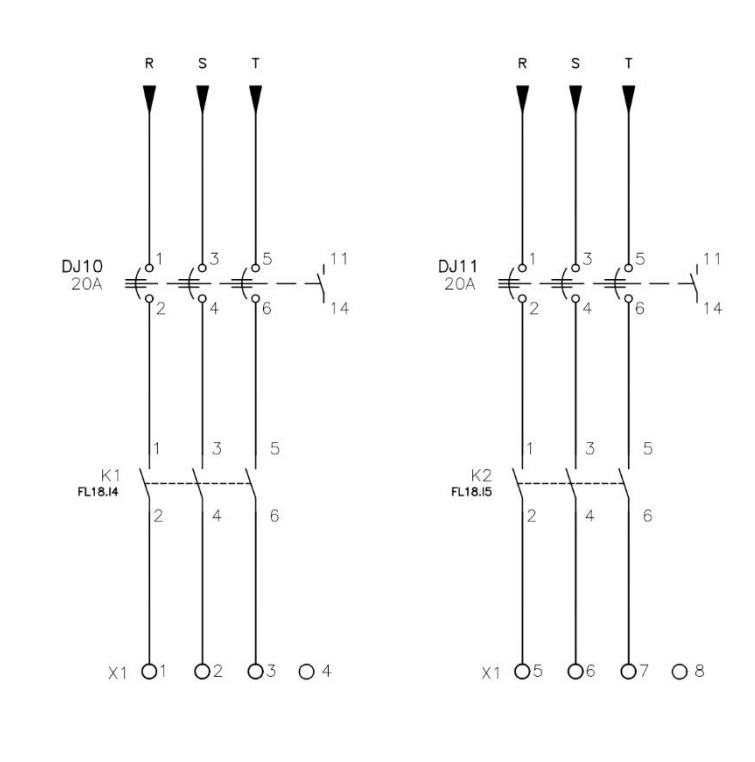
Figura 7: Circuito do sistema de ventilação e tomada reserva.



Fonte: Autor (2025).

A alimentação dos carregadores é realizada por meio de disjuntores individuais, cada um em série com um contator. Cada disjuntor possui um contato auxiliar, utilizado para sinalização e controle lógico junto ao CLP.

Figura 8: Diagrama de proteção e comando dos carregadores.



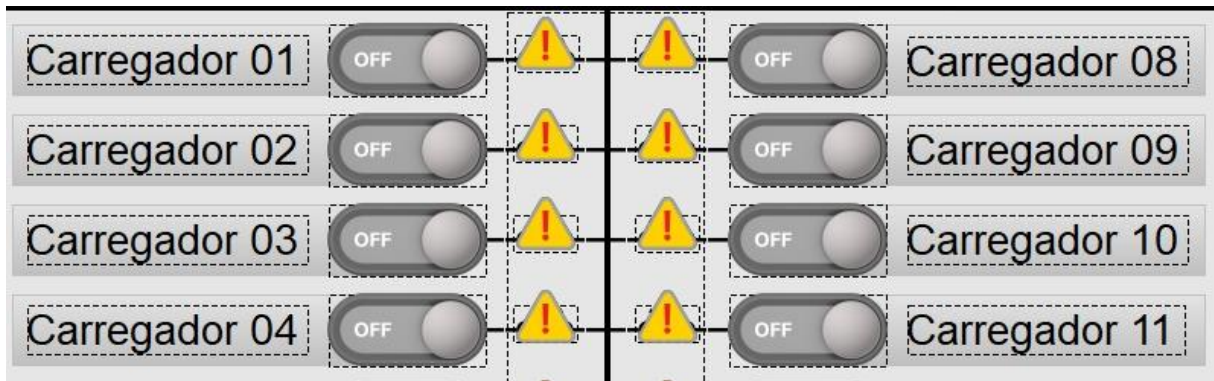
Fonte: Autor (2025).

Na parte de automação, todos os dispositivos estão integrados ao CLP, que é o responsável pelo processamento das informações e execução dos comandos. O multimedidor envia os dados de tensão e corrente ao CLP, que opera com alimentação de 220 V, porém a parte lógica do sistema é alimentada por uma fonte de 220 V para 24 Vcc, a qual também supre a Interface Homem-Máquina (IHM) e o switch de comunicação. (APÊNDICE B - Diagrama de automação do painel)

Neste projeto, foi utilizado o protocolo Modbus TCP/IP, com a comunicação física estabelecida via cabo RJ45 conectado ao switch Ethernet. O switch tem a função de expandir as portas de comunicação da rede, permitindo que o CLP se comunique simultaneamente com múltiplos dispositivos, como a IHM modelo DOP-107WV e outros equipamentos de automação.

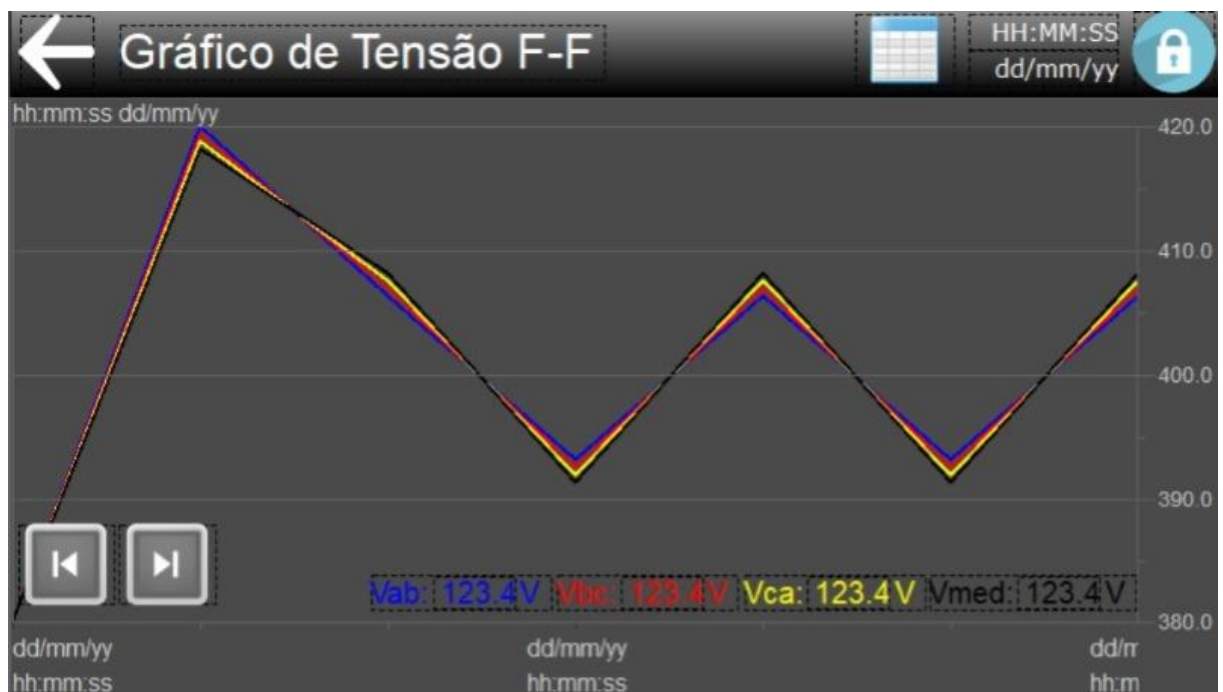
A programação da IHM foi realizada por meio do software disponibilizado pelo próprio fabricante. A interface apresenta telas interativas para diagnóstico de falhas, gráficos do comportamento das tensões e a tela de acionamento dos carregadores, conforme exemplificado na Figura 9 e na Figura 10.

Figura 9: Tela de acionamento dos carregadores.



Fonte: Autor (2025).

Figura 10: Gráfico de tensão apresentado pela IHM.



Fonte: Autor (2025).

O CLP, modelo TM200CE40R, possui 24 entradas digitais acoplado com um módulo de expansão de 16 canais, somando 40 entradas digitais no total. O modelo utilizado possui 16 saídas digitais somados com dois módulos de expansão de 16 saídas digitais. Conforme orientações do fabricante, a proteção dessas entradas deve ser feita com fusíveis ou disjuntores. No projeto, foram utilizados fusíveis de 2 A.

Nas entradas digitais do CLP foram conectados os seguintes dispositivos:

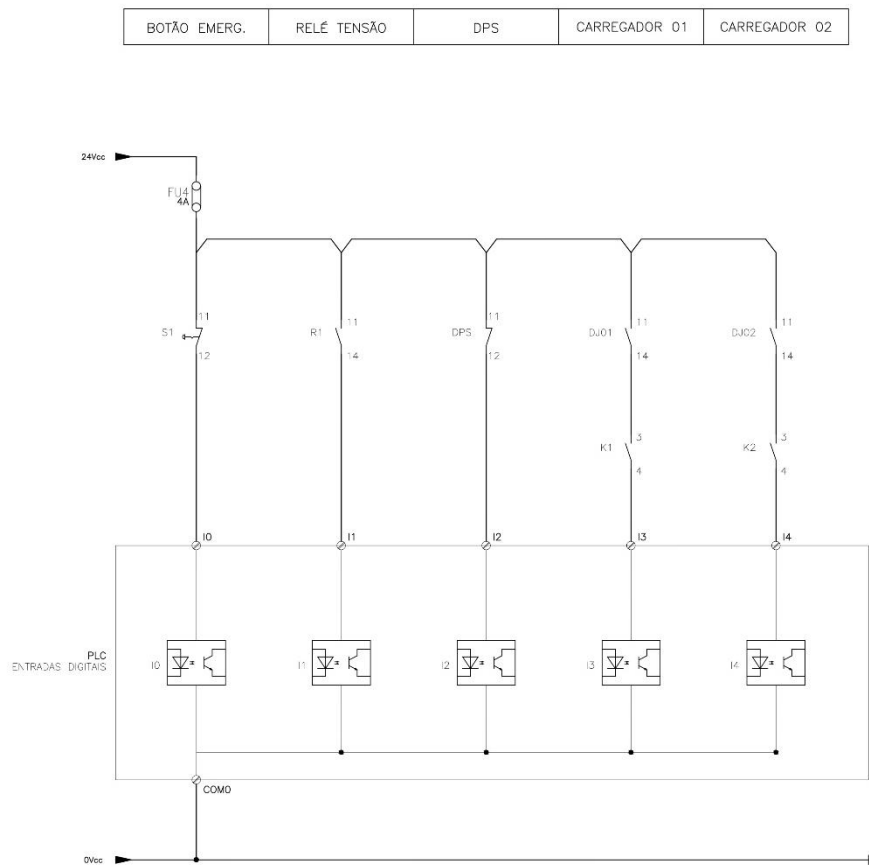
- Entrada I0: Botão de emergência
- Entrada I1: Relé de monitoramento de tensão
- Entrada I2: DPS

Esses dispositivos, ao interagirem com o sistema, enviam sinais ao CLP, que por sua vez comunica a IHM, permitindo ao operador monitorar e interagir com o sistema em tempo real.

Para controle dos carregadores, o contato auxiliar do disjuntor foi conectado em série com o contato auxiliar do contator (ambos contatos normalmente abertos). Esse arranjo foi repetido para cada uma das 36 posições de carregamento.

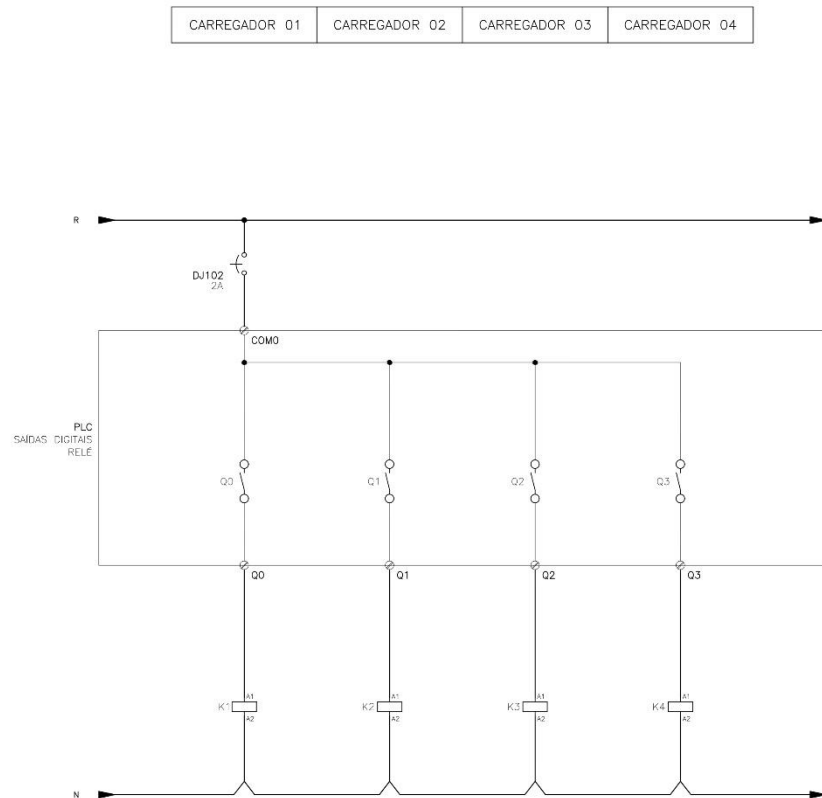
As entradas digitais são responsáveis por receber os comandos, enquanto as saídas digitais acionam os dispositivos de potência. Cada saída digital do CLP comanda diretamente a bobina (A1 e A2) de um contator. Por exemplo, ao acionar a entrada digital I4, o CLP ativa a saída Q0, que energiza a bobina do primeiro contator, ligando o carregador correspondente. O APÊNDICE D – PROGRAMAÇÃO *LADDER*, traz uma referência da programação utilizada no projeto.

Figura 11: Ligações das entradas digitais para acionamento dos carregadores.



Fonte: Autor (2025).

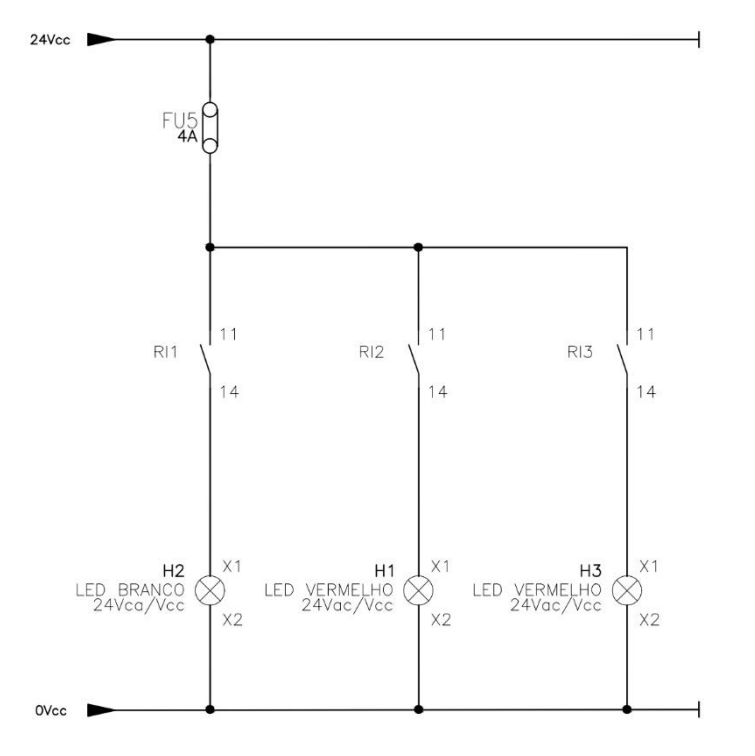
Figura 12: Ligações das saídas digitais para acionamento dos carregadores.



Fonte: Autor (2025).

Para a sinalização de falhas, foram utilizados relés de interface, que possuem bobinas alimentadas em 220V e contatos com saídas a 24V adequada aos sinaleiros, garantindo que os componentes que serão instalados na porta operem em baixas tensões. Cada relé, ilustrado na Figura 13 está em série com um sinaleiro, e o contato auxiliar de cada relé está conectado ao CLP para registrar quando uma falha ocorre.

Figura 13: Circuito dos sinaleiros de indicação de status e falhas.



Fonte: Autor (2025).

Visualmente, o layout do painel, conforme mostra a Figura 14, contempla:

36 posições de carregadores (disjuntores e contatores);

Bloco de automação (CLP, módulos de expansão, switch, fonte chaveada e termostato);

Três fileiras de bornes no canto superior direito, onde estão conectadas as saídas dos disjuntores que alimentam os carregadores em campo.

A etapa de planejamento envolveu a escolha criteriosa dos componentes essenciais, como disjuntores, contatores, relés, CLP, fontes de alimentação e a Interface Homem-Máquina (IHM), garantindo que cada elemento cumprisse sua função específica no controle e na proteção do sistema.

Figura 14: Layout físico do painel



Fonte: O Autor (2025).

O layout do painel, foi projetado em conformidade com as normas técnicas, priorizando a acessibilidade dos dispositivos, a organização dos cabos e a ventilação adequada, fatores fundamentais para a durabilidade e a segurança operacional do conjunto. (APÊNDICE C – Layout de painel)

4.2. Comunicação entre CLP e IHM

A comunicação entre o controlador e a interface nesta aplicação é realizada por meio do protocolo Modbus TCP. Esse protocolo foi desenvolvido especialmente para possibilitar a integração eficiente de dispositivos industriais em redes Ethernet, trazendo facilidade de implementação, padronização e elevada interoperabilidade. No

contexto da automação, o Modbus TCP segue a arquitetura cliente-servidor, em que o controlador geralmente opera como servidor e a interface, como cliente, sendo responsável por enviar solicitações de leitura ou escrita de dados ao controlador.

A adoção do Modbus TCP oferece diversas vantagens para a comunicação entre controlador e interface. Entre elas, destaca-se a capacidade de integração de equipamentos de diferentes fabricantes, o que simplifica expansões e adaptações no sistema. Além disso, o protocolo permite rápidas trocas de dados, fundamentais para o monitoramento em tempo real dos processos industriais.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Neste tópico, vamos apresentar e analisar os resultados obtidos com a implementação do painel automatizado. A avaliação levou em conta o desempenho operacional do sistema, a integração entre o Controlador Lógico Programável (CLP) e a Interface Homem-Máquina (IHM), além de como o conjunto respondeu às condições reais de operação.

5.1. Benefícios da automação para empresa e operadores

A automação industrial proporciona um conjunto significativo de benefícios tanto para as empresas quanto para os trabalhadores. Após a implementação do novo painel, é oferecido treinamento aos operadores, no qual é apresentada a sequência adequada de acionamento do sistema. Essa sequência consiste em: (i) estacionar a empilhadeira próxima ao ponto de carregamento; (ii) conectar o cabo do carregador; e (iii) habilitar o carregador por meio da tela da IHM.

Para a retirada da empilhadeira do carregamento, devem ser seguidos os seguintes procedimentos: (i) desabilitar o carregador pela IHM; (ii) desconectar o cabo do carregador da empilhadeira; e (iii) iniciar a operação normal do equipamento.

Destaca-se ainda a eficiência e produtividade uma vez que os processos autônomos garantem maior agilidade, precisão e padronização. Por esses sistemas assumirem a parte mais complexa das operações, há uma menor exigência de conhecimento técnico especializado para operação, diminuindo os riscos e acidentes por evitar contato direto com equipamentos energizados ou em movimento.

Além disso, a automação ajuda a promover a sustentabilidade e a inovação, incentivando o uso mais consciente dos recursos e a atualização contínua dos processos industriais. Em situações críticas, os sistemas inteligentes conseguem identificar falhas, enviar alertas com a localização exata do problema e até fazer um monitoramento preditivo, antecipando a necessidade de manutenção e evitando paradas inesperadas na produção. O modo de operação desse protocolo é chamado cliente-servidor, ou seja, a IHM envia uma solicitação ao CLP através do protocolo Modbus TCP/IP funcionando como cliente (mestre), já o CLP atua como servidor (escravo), recebendo e processando o comando.

Tais vantagens se tornam mais perceptíveis quando é analisado a atuação dos sistemas automatizados em cenários críticos. Em caso de falhas no funcionamento

do sistema, como disjuntor atuado e botão de emergência atuado, ele é capaz de identificar o problema e emitir alertas com a localização precisa da ocorrência, reduzindo o tempo de resposta da manutenção. Além disso, sistemas inteligentes realizam monitoramento preditivo, informando com antecedência quando algum componente está próximo da saturação ou prestes a apresentar falhas, o que viabiliza ações preventivas antes da paralisação do processo.

No caso dos trabalhadores, os benefícios são igualmente notáveis. A principal vantagem está na redução da exposição a riscos, já que a interação com equipamentos potencialmente perigosos é limitada. Por exemplo, no carregamento de empilhadeiras elétricas, a atuação manual no painel elétrico, como abrir o painel e acionar fisicamente uma tomada, deixa de ser necessária. Essa tarefa passa a ser executada por meio da Interface Homem-Máquina (IHM), com comandos simples e seguros.

O resumo apresentado pela Figura 15 realiza a análise de alguns critérios e a comparação entre o método de carregamento não automatizado e o método automatizado.

Figura 15: Comparação entre os métodos de carregamento.

Critério	Painel Não Automatizado	Painel Automatizado
Tipo de operação	Manual	Automatizada via CLP e IHM
Necessidade de intervenção humana	Alta	Mínima
Controle do ciclo de carregamento	Empírico	Programado e padronizado
Monitoramento em tempo real	Inexistente	Disponível via IHM
Registro de eventos	Não possui	Armazena falhas e históricos
Risco de falha humana	Elevado	Reduzido
Exposição a partes energizadas	Frequente	Eliminada (operação remota)
Diagnóstico de falhas	Reativo	Preventivo
Tempo de manutenção	Maior	Menor
Conformidade normativa	Parcial	Atende requisitos previstos

Fonte: Autor (2025).

Além disso, com a automação e a devida adequação do projeto aos requisitos da NR-10, é possível garantir que a operação do painel automatizado seja feita por pessoas não advertidas, desde que se trate de manobras elementares em baixa tensão. Isso elimina a necessidade de que o operador tenha conhecimento técnico avançado em eletricidade, sem comprometer a segurança da operação.

5.2. Desafios na implementação de sistemas automatizados

A implementação de painéis elétricos automatizados, como o desenvolvido neste projeto para o controle do carregamento de empilhadeiras, enfrenta diversas barreiras técnicas, econômicas e humanas que precisam ser consideradas desde as fases iniciais do projeto. Entre os principais desafios tecnológicos, destaca-se o alto custo de aquisição dos equipamentos de automação, como controladores lógicos programáveis (CLPs) e interfaces homem-máquina (IHMs). Além disso, em muitas indústrias, há limitações na infraestrutura elétrica e na rede de comunicação, o que exige adequações no espaço físico, cabeamentos e compatibilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, elevando os custos e a complexidade da implementação.

Outro ponto de dificuldade está relacionado à resistência à mudança por parte dos operadores e gestores. A introdução de novas tecnologias muitas vezes gera insegurança, principalmente quando não há um processo participativo ou capacitação adequada.

Segundo Hernandez e Caldas (2001, p. 31-45), a resistência à mudança ainda é um dos maiores obstáculos ao implementar inovações em organizações, exigindo envolvimento e compreensão do processo por parte dos colaboradores.

Nesse cenário, a realização de treinamentos técnicos, o esclarecimento das melhorias que o sistema proporciona — como a redução de riscos elétricos e operacionais — e a inclusão dos usuários no processo de tomada de decisão ajudam a superar essa resistência, promovendo uma cultura voltada à inovação e à segurança.

Além dos desafios tecnológicos e humanos, outro fator decisivo para o sucesso de sistemas automatizados é a garantia de sua confiabilidade a longo prazo. Isso exige a implementação de rotinas de manutenção preventiva e atualização periódica dos equipamentos e softwares. Segundo Alves (2024, p. 3), “a manutenção preventiva consiste em inspeções, testes e ajustes realizados periodicamente, com o objetivo de evitar falhas e prolongar a vida útil dos equipamentos”.

Entre as práticas recomendadas, destacam-se o uso de termografia como ferramenta para detectar aquecimentos anormais, reaperto de conexões, limpeza periódica, atualização de firmwares e a verificação das condições do CLP e IHM.

Diante disso, superar os desafios da automação industrial requer mais do que conhecimento técnico: exige planejamento, capacitação humana e o compromisso contínuo com a segurança e a melhoria dos processos produtivos.

6. CONCLUSÃO

A implementação do painel elétrico para carregamento de empilhadeiras elétricas demonstrou a engenharia aplicada no dia a dia das indústrias, sendo capaz de maximizar ganhos levando em conta segurança operacional, eficiência e padronização. Ao desenvolver ativos que possuem integração entre o controlador lógico programável e interface homem máquina, é possível mitigar riscos de choque elétrico, sobrecargas e falhas humanas.

O estudo de caso mostra que a adoção de tecnologias de monitoramento e proteção, aliadas com as normas regulamentadoras, não apenas evolui na confiabilidade do processo de carregamento, como garante respaldo técnico a empresa. Um painel com aplicação de medidores, controladores de temperatura interna, possibilidade de supervisão remota, reforça práticas da indústria 4.0, trazendo um sistema mais seguro.

Apesar de um investimento inicial elevado, a automação contribui para que o retorno possa ser justificado, diminuindo riscos e evitando paradas não programadas.

Este trabalho contribui não apenas para uma solução técnica de última geração, mas como exemplo prático de como a automação industrial pode ser aplicada para proteger vidas, reduzir custos.

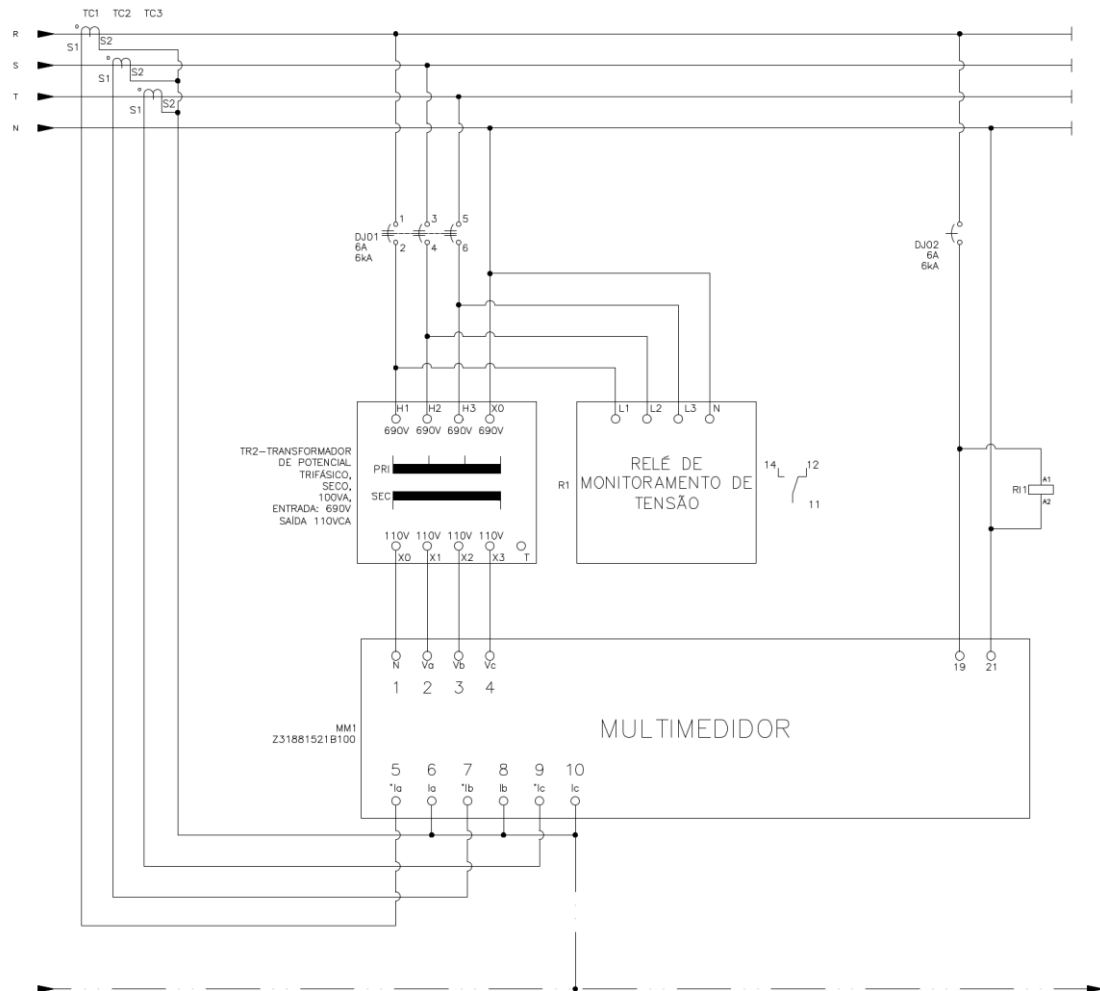
Com base no estudo apresentado, a Tabela 1 sugere-se temas para a realização de trabalhos futuros. Ademais, estudos onde seria capaz de quantificar os números de ganho com a implementação de sistemas automatizados nas indústrias.

Tabela 1: Sugestão de trabalhos futuros.

Implementar telemetria para monitoramento remoto do painel.
Integrar o sistema a plataformas de gestão energética.
Desenvolver dashboards web para visualização de indicadores operacionais.
Registrar e analisar históricos de demanda para quantificar ganhos da automação.
Expandir a automação para toda a área de carregamento e processos correlatos.
Aplicar técnicas de IA para prever falhas e otimizar o ciclo de carregamento.

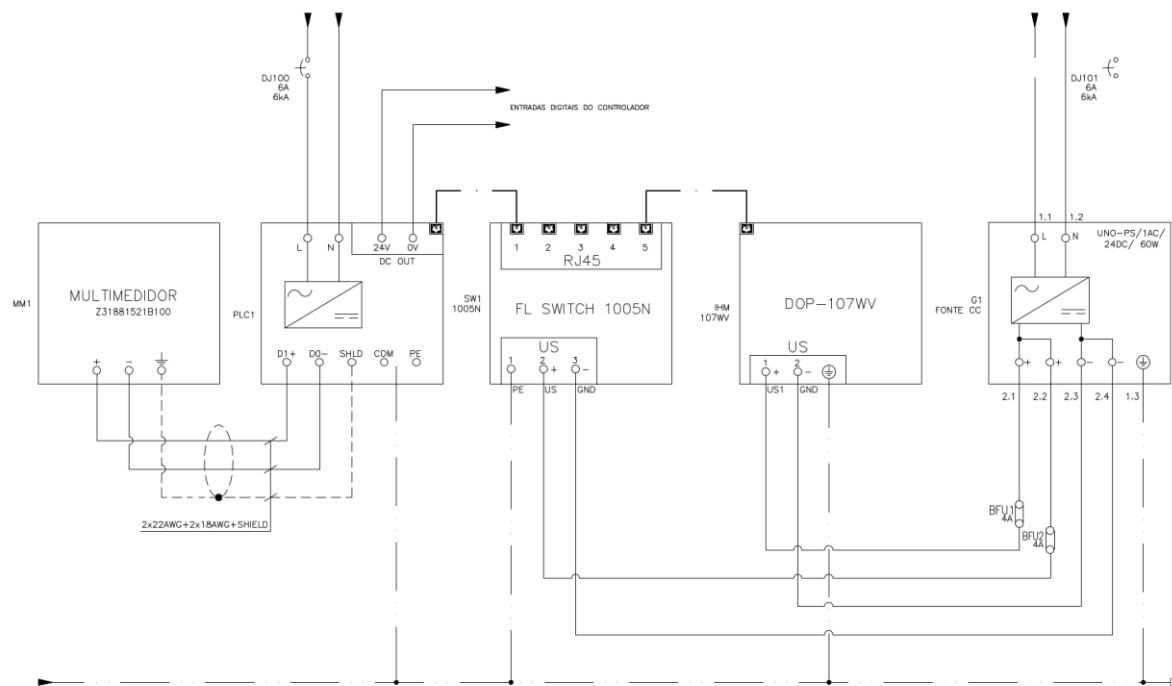
Fonte: Autor (2025).

APÊNDICE A - DIAGRAMA DE MEDIÇÃO E MONITORAMENTO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS



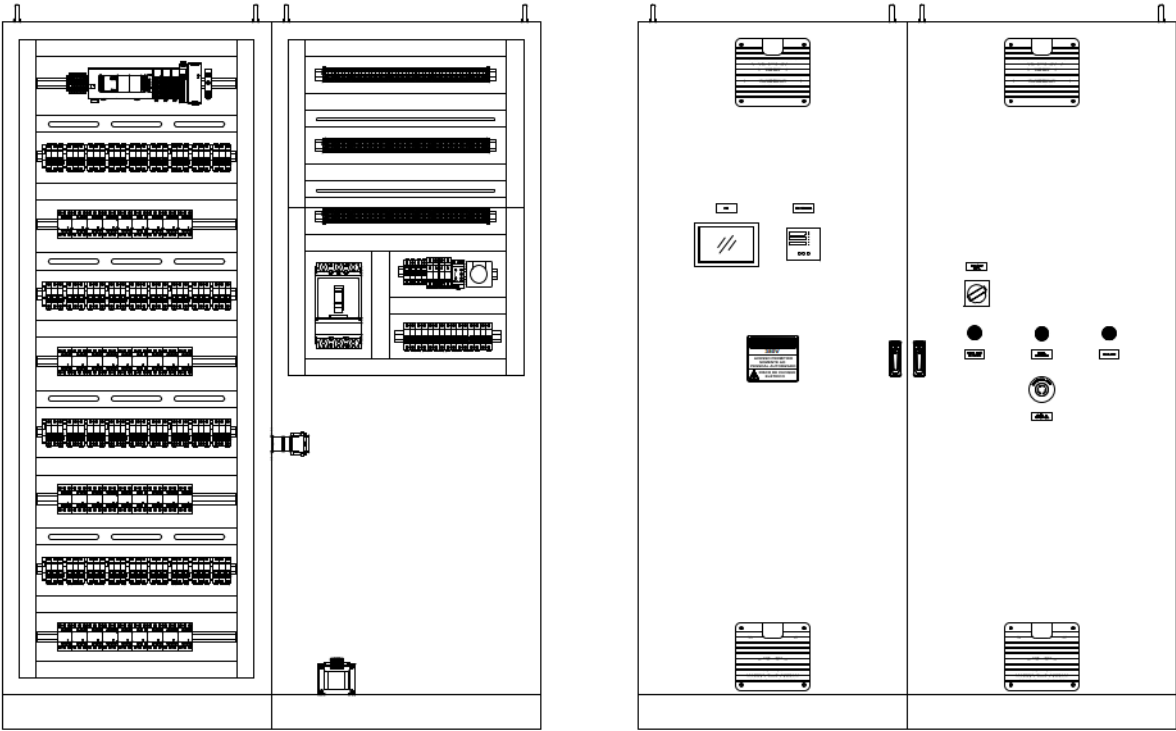
Fonte: Autor (2025).

APÊNDICE B - DIAGRAMA DE AUTOMAÇÃO DO PAINEL



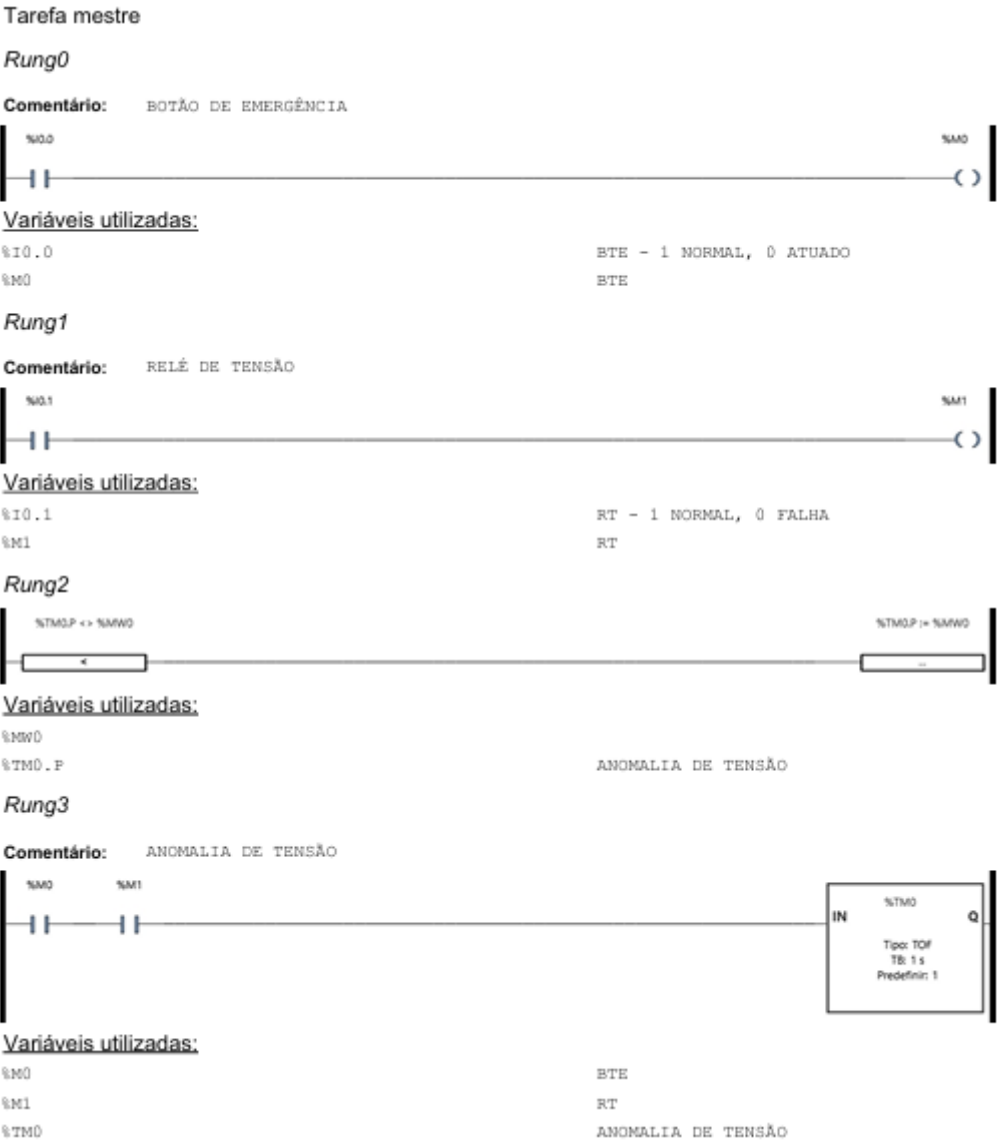
Fonte: Autor (2025).

APÊNDICE C – LAYOUT DE PAINEL



Fonte: Autor (2025).

APÊNDICE D – PROGRAMAÇÃO LADDER



Fonte: Autor (2025).

Rung4

Comentário: ESTABILIDADE DA TENSÃO



Variáveis utilizadas:

%M0	BTE
%M1	RT
%TM0.Q	ANOMALIA DE TENSÃO
%TM1	ESTABILIZAÇÃO DE TENSÃO

Rung5

Comentário: ACIONAMENTO CARREGADOR



Variáveis utilizadas:

%M50	CARREGADOR
%M0	BTE
%M101	HABILITA CARREGADOR
%MW1	
%TM1.V	ESTABILIZAÇÃO DE TENSÃO

Fonte: Autor (2025).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACOPEL. Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica 2025 – Ano Base 2024. Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade, 2025. Disponível em: https://abracopel.org/wp-content/uploads/2025/01/Anuario-2025-EBOOK_compressed.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025.

ADEQUADA ENGENHARIA. Montagem de painel elétrico: qual a função e como montar. Disponível em: <https://adequada.eng.br/montagem-painel-eletrico/>. Acesso em: 19 dez. 2025.

ALVES, Allison Felipe Ferreira et al. Manutenção preditiva por meio de termografia para redução de falhas em painéis elétricos. *Revista de Engenharia, TI e Inovação*, v. 8, n. 2, p. 1–14, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR IEC 61131-2: Requisitos para CLPs. Rio de Janeiro, 2019.

BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT. Adequação de painel elétrico segundo normas de segurança. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora n.º 10 (NR-10): Segurança em instalações e serviços em eletricidade. Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/assuntos/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/nr-10>. Acesso em: 12 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR-10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília: MTE, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/assuntos/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-10>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR-12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BRASIL. Norma Regulamentadora ABNT NBR 5410 – Instalações elétricas em baixa tensão. 2. ed. 2004.

CAETANO DE SANTANA, João Pedro; CUNHA FARIA, Victor Henrique da. Elaboração de um projeto e montagem de um painel elétrico industrial baseando-se nas normas técnicas vigentes. *Anais do CENAR*, v. 4 (2022), 33-35, 2023. Disponível em: <https://anais.unipam.edu.br/index.php/cenar/article/view/2710>. Acesso em: 19 dez. 2025.

CHAGAS, A. M. R.; SALIM, C. A.; SERVO, L. M. S. Saúde e Segurança no Trabalho no Brasil: aspectos institucionais, sistemas de informação e indicadores. 2. ed. São Paulo: Fundacentro, 2012. 398 p. Apud RIBEIRO e LACAZ. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/imagens/stories/PDFs/livros/livros/livro_saudenotrabalho.pdf. Acesso em: 12 abr. 2025.

ESTEVIÃO, A. Aplicação de técnicas de gerenciamento de alarmes em uma planta industrial. UFMG, 2010.

FILHO, João M. Instalações Elétricas Industriais. 7. ed., 2007.

FRANCHI, C. M. Acionamentos elétricos. 4. ed. São Paulo: Érica, 2013.

FRANCHI, C. M. Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos. 1. ed. São Paulo: Érica, 2008.

GRUHN, P. Control systems safety evaluation and reliability. 3. ed. Research Triangle Park: ISA, 2011.

GROOVER, M. P. Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing. 5th ed. New York: Pearson Education, 2019.

HERNANDEZ, José Mário C.; CALDAS, Miguel P. Resistência à mudança: uma revisão crítica. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 31–45, abr./jun. 2001. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rae/article/view/37709>. Acesso em: 21 jul. 2025.

IEC – INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. [s.d.]. Disponível em: <https://iec.ch/homepage>. Acesso em: 8 abr. 2025.

IGLÉSIAS, Francisco. A revolução industrial. 10. ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 1990.

INOUE, L. Y. Interface IHM para controle e supervisão de entradas e saídas de um CLP via Profibus. UTFPR, 2018.

KRAEMER, J. D. Segurança em painéis elétricos industriais: análise de riscos e adequação à NR-10. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MARTINS, Geomar Machado. Princípios de automação industrial. 2012. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/disciplina/automacao-industrial>. Acesso em: 25 abr. 2025.

MILAN, G. S.; PRETTO, M. R.; BASSO, L. C. Um estudo de caso sobre o funcionamento de um armazém automatizado. Revista REAd, v. 13, n. 1, jan./abr. 2007.

MORAES, C. N. Automação industrial: fundamentos e aplicações. São Paulo: Érica, 2007.

NAVARRO, D. A. Estudo dos fatores para avaliação de projetos na gestão de portfólio em uma empresa de bens de consumo. Revista de Gestão e Projetos, v. 3, n. 3, p. 291–307, set./dez. 2012.

OLIVEIRA, P. V. S.; SANTOS, L. de F.; FERREIRA, M. P. Inteligência artificial na automação de processos industriais e seus impactos. Revista de Economia

Mackenzie, v. 21, n. 1, p. 162–182, 2024. doi: 10.5935/1808-2785/rem.v21n1p.162-182.

PAZOS, F. Automação de sistemas e robótica. São Paulo: Axcel Books, 2002.

PORT SIDE. História da Empilhadeira. Disponível em: <https://empilhare.com.br/site/conteudo/85-conheca-a-historia-da-empilhadeira> Acesso em: 19dez. 2025.

RIBEIRO, Marco Antônio. Automação industrial. 4. ed. Salvador: Editora Outono, 2001.

ROSÁRIO, João Maurício. Automação industrial. São Paulo: Editora Baraúna, 2009.

SE.COM. Common Electrical and Asset Management Risks. 2023. Disponível em: <https://blog.se.com/infrastructure-and-grid/power-management-metering-monitoring-power-quality/2023/09/27/most-common-challenges-in-electrical-and-automation-asset-management-that-could-put-your-business-at-risk/>. Acesso em: 26 fev. 2025.

SILVA, E. Como funciona a automação no Brasil – Parte I. 2020. Disponível em: <https://clubedotrade.com.br/blog/automacao-no-brasil/>. Acesso em: 9 abr. 2025.

SILVA, J. P. Atualização de sistemas de automação industrial: desafios e melhores práticas. Revista Científica de Engenharia Elétrica, v. 5, n. 1, p. 10–18, 2023.

SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. Automação e Controle Discreto. São Paulo: Érica, 2008.