



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE CABO DE SANTO AGOSTINHO
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Edlane Cavalcante Oliveira

Elevador de carga comercial: automatização e estudo de casos

Cabo de Santo Agostinho - PE

2025

Edlane Cavalcante Oliveira

Elevador de carga comercial: automatização e estudo de casos

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Reinel Beltrán Aguedo

Cabo de Santo Agostinho – PE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

O48e Oliveira, Edlane cavalcante.

Elevador de carga comercial: automatização e estudo de casos / Edlane cavalcante Oliveira. – Cabo de Santo Agostinho, 2025.

73 f.; il.

Orientador(a): Reinel Beltrán Aguedo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Cabo de Santo Agostinho - UACSA, Bacharelado em Engenharia Elétrica, Cabo de Santo Agostinho, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Automação industrial. 2. Elevadores. 3. Sistemas de energia elétrica. 4. Normas técnicas 5. Projeto apoiado por computador. I. Aguedo, Reinel Beltrán, orient. II. Título

CDD 621.3

EDLANE CAVALCANTE OLIVEIRA

Elevador de carga comercial: automatização e estudo de casos

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em engenharia elétrica.

Aprovada em: 28/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Reinel Beltrán Aguedo

Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostino (UACSA) - Universidade Federal
Rural de Pernambuco (UFRPE)

Profa. Dra. Élide Fernanda Xavier Júlio

Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostino (UACSA) - Universidade Federal
Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. João Marcus Pereira Lima e Silva

Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostino (UACSA) - Universidade Federal
Rural de Pernambuco (UFRPE)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, fonte inesgotável de força, luz e sabedoria.

A toda minha família por todo apoio e incentivo, em especial a minha mãe por sempre acreditar em mim.

AGRADECIMENTOS

Antes de qualquer reconhecimento terreno, rendo graças a Deus, alicerce da minha fé, força que me ergueu nos momentos de fraqueza e luz que iluminou cada passo desta longa jornada. Foi em Sua presença silenciosa que encontrei refúgio nos dias de incerteza e direção quando o caminho parecia obscuro. Nenhuma conquista teria sentido sem a certeza de que Ele esteve comigo em cada desafio superado, em cada renúncia, em cada pequena vitória.

À minha família, meu porto seguro e fonte inesgotável de amor, expresso minha eterna gratidão, em especial aos meus pais, Edileuza e Eliton. Agradeço ao meu esposo, Sérgio Luiz, por toda ajuda e compreensão.

Aos meus amigos, que compartilharam risos, desafios e momentos de aprendizado, deixo meu reconhecimento pela parceria e incentivo constantes. Cada palavra de encorajamento e cada gesto de solidariedade foram essenciais para atravessar esta jornada.

Agradeço ao Professor Dr. Reinel Beltrán, meu orientador, pelo apoio e compreensão ao longo deste trabalho. Estendo meus agradecimentos aos amigos de jornada acadêmica, especialmente Fernanda Vanderlei e Helton Bernardo, pelos momentos de companhia e estudo.

Por fim, expresso minha sincera gratidão a todos os membros da universidade que, de maneira direta ou indireta, colaboraram e enriqueceram minha trajetória acadêmica, tornando possível a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta a implementação de um sistema automatizado para um elevador de carga comercial em dois galpões de armazenamento. A pesquisa incluiu revisão bibliográfica sobre sistemas similares, análise de componentes elétricos e dimensionamento do sistema de controle e potência, considerando tecnologias modernas elementares de automação. A metodologia adotada priorizou simplicidade e eficiência, utilizando comandos elétricos convencionais em vez de controladores lógicos programáveis ou inversores de frequência. O sistema foi projetado com componentes básicos, como motor monofásico, disjuntores, contadores e sensores de fim de curso, garantindo segurança e conformidade com normas técnicas brasileiras e internacionais. O projeto foi desenvolvido e validado por meio de simulações no *software* CADe_SIMU, seguidas de ajustes iterativos, desde a versão piloto até a final, com otimização de temporização e inclusão de componentes adicionais. O dimensionamento dos eletrodutos e cabos considerou a corrente nominal máxima, incluindo a corrente de partida do motor monofásico, bem como a especificação do disjuntor motor. Testes práticos confirmaram a eficácia do sistema, demonstrando adequação às condições reais de operação e atendimento às exigências do cliente. Conclui-se que o projeto alcançou seus objetivos, oferecendo uma solução automatizada, segura e economicamente viável para elevadores de carga comerciais, dentro das especificações técnicas e restrições estabelecidas.

Palavras-chave: automação industrial; comandos elétricos; elevador de carga comercial; CADe_SIMU; normas técnicas (NBR).

ABSTRACT

This work aims to implement an automated system for a commercial freight elevator system in two warehouse buildings (analyzed case studies). The research included a literature review of previous studies and an analysis of the electrical components necessary for the implementation of the control and power system. Case studies of automated elevators with more sophisticated technologies were described, which contributed to the project's development. The methodology used was simple and effective, easy, and fast when compared to the use of programmable logic controllers (PLCs) and power inverters, etc. The methodology is based on electrical commands, ensuring the safety and efficiency of commercial elevators using basic electrical components such as a single-phase motor, circuit breaker, limit switches, and contactors, etc. Computational analyses were performed with the CADe_SIMU software to verify the behavior of the automated freight elevator system. The electrical components were selected and sized according to standards such as NBR 5410, NBR NM 207, NBR 6355, NBR 14712, and NBR 16042, in addition to relevant international standards. The projects were adjusted in different versions, from the prototype to the final one, meeting the client's demands and needs, with corrections in timing and the addition of components such as contactors and limit switches. The sizing of conduits and cables was done in compliance with technical standards, ensuring safety and adequacy to the nominal maximum current of the single-phase motor of 10.56 A for a 1.65 kW load, as well as the correct specification of the motor circuit breaker for a nominal load of 3.7 kW with a permissible current variation of 10 to 16 A. The proposed system was validated through practical tests, proving to be adequate for real operating conditions and meeting the client's needs. It is concluded that the project achieved its objectives, offering an automated, safe, and efficient solution for commercial freight elevators, in accordance with the established specifications and constraints.

Keywords: industrial automation; commercial freight elevator; CADe_SIMU; electrical controls; technical standards (NBR).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	RELEVÂNCIA DO TEMA	14
1.2	MOTIVAÇÃO	20
1.3	OBJETIVO GERAL	21
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	ELEVADORES INTELIGENTES AUTÔNOMOS MODERNOS	22
2.1.1	Revisão bibliográfica	22
2.1.2	Futuro do desenvolvimento de sistemas elevadores.....	24
2.2	PARTES DE UM ELEVADOR DE CARGA COMERCIAL	26
2.3	PRINCIPAIS COMPONENTES ELÉTRICOS	28
2.5	BASE DE PARTIDA DO TRABALHO	32
3	METODOLOGIA	34
3.1	ANÁLISE DA CAPACIDADE MÁXIMA DE CARGA DE TRANSPORTE SUPORTADA	35
3.1.1	Dimensionamento elétrico da operação do motor monofásico.....	37
3.1.2	Dimensionamento elétrico do disjuntor-motor	40
3.1.3	Dimensionamento elétrico dos condutores e eletrodutos	42
3.2	ESTUDO VIA SIMULAÇÃO DOS PROJETOS ELÉTRICOS	49
3.2.1	Caso 1 - Projeto elétrico 1 “piloto” do elevador	49
3.2.2	Dificuldades identificadas que levaram à necessidade de modificações no diagrama elétrico....	53
3.2.3	Caso 2 - Projeto elétrico 2 intermediário do elevador	53
3.2.4	Obstáculos encontrados que resultaram em ajustes no diagrama elétrico.....	57
3.2.5	Caso 3 - Projeto elétrico 3 Projeto final do elevador	58
3.3	SELEÇÃO DOS MATERIAIS ELÉTRICOS UTILIZADOS NA IMPLEMENTAÇÃO.....	62
4	RESULTADOS DAS IMPLEMENTAÇÕES DO ELEVADOR	69
4.1	TESTES A NÍVEL DE CAMPO NO GALPÃO 2	69
	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA

Nos últimos anos, a automação de sistemas industriais tem avançado de forma significativa, impulsionada pela crescente demanda do mercado e pela adoção de soluções integradas em setores como o automotivo, alimentício, farmacêutico, petroquímico e de manufatura. Esse avanço tem se manifestado na crescente adoção de tecnologias voltadas à modernização dos processos produtivos. Destacam-se, entre essas inovações os braços robóticos utilizados na automação de tarefas repetitivas, os sistemas de comunicação móvel que otimizam a logística e o transporte de cargas, as esteiras elétricas que integram linhas de produção em larga escala, e os elevadores industriais empregados na movimentação vertical de grandes volumes. Esses recursos otimizam processos, reduzem custos e aumentam a eficiência industrial (Välikylä, 2023).

Além disso, os sistemas automatizados desempenham um papel fundamental na integração da Internet das Coisas (IoT) ao ambiente industrial, viabilizando a conexão entre instrumentos de medição, sensores inteligentes, atuadores e estruturas robóticas complexas. Essa integração é possível graças ao uso de interfaces homem-máquina (IHM) intuitivas e dinâmicas, que facilitam o controle, a supervisão e a tomada de decisões em tempo real. Como resultado, amplia-se a rede de dispositivos interconectados, promovendo não apenas a modernização das operações industriais, mas também a coleta e análise de dados em larga escala, essenciais para a manutenção preditiva, o aumento da produtividade e a implementação de fábricas inteligentes no contexto da Indústria 4.0 (Välikylä, 2023).

Nesse contexto de modernização, os elevadores de carga assumem um papel estratégico na logística interna das plantas industriais automatizadas. Projetados para movimentar cargas pesadas e volumosas, esses equipamentos garantem um transporte vertical seguro, ágil e contínuo entre diferentes níveis do ambiente produtivo. Sua presença é essencial para manter a fluidez operacional em linhas de produção verticalizadas, centros de distribuição e áreas de armazenamento, onde a eficiência na movimentação de materiais influencia diretamente o desempenho de toda a cadeia produtiva (Välikylä, 2023).

Com a crescente demanda por produtividade, confiabilidade e redução de tempo nos processos industriais, os elevadores de carga passaram a incorporar sistemas de controle automatizado que permitem maior precisão nas operações, sincronização com outras etapas

do processo e melhor aproveitamento do espaço físico. A estrutura robusta, aliada à capacidade de operar de forma contínua sob condições exigentes, faz desses equipamentos uma solução indispensável para otimizar o fluxo logístico interno, reduzir gargalos e aumentar a segurança no transporte de mercadorias em ambientes industriais complexos (Välikylä, 2023).

A sustentabilidade tornou-se um aspecto central no desenvolvimento de elevadores industriais. Tecnologias como motores regenerativos, que reaproveitam a energia durante a descida das cargas, e sistemas de otimização de trajetos contribuem para a redução do consumo energético em até 5%. Essas soluções aumentam a eficiência operacional e reduzem o impacto ambiental. Com a automação e a integração de sistemas inteligentes, os elevadores industriais evoluem continuamente, atendendo às exigências da indústria moderna e se consolidando como componentes estratégicos para a produtividade, a segurança e a competitividade do setor. (Daniela *et al.*, 2019).

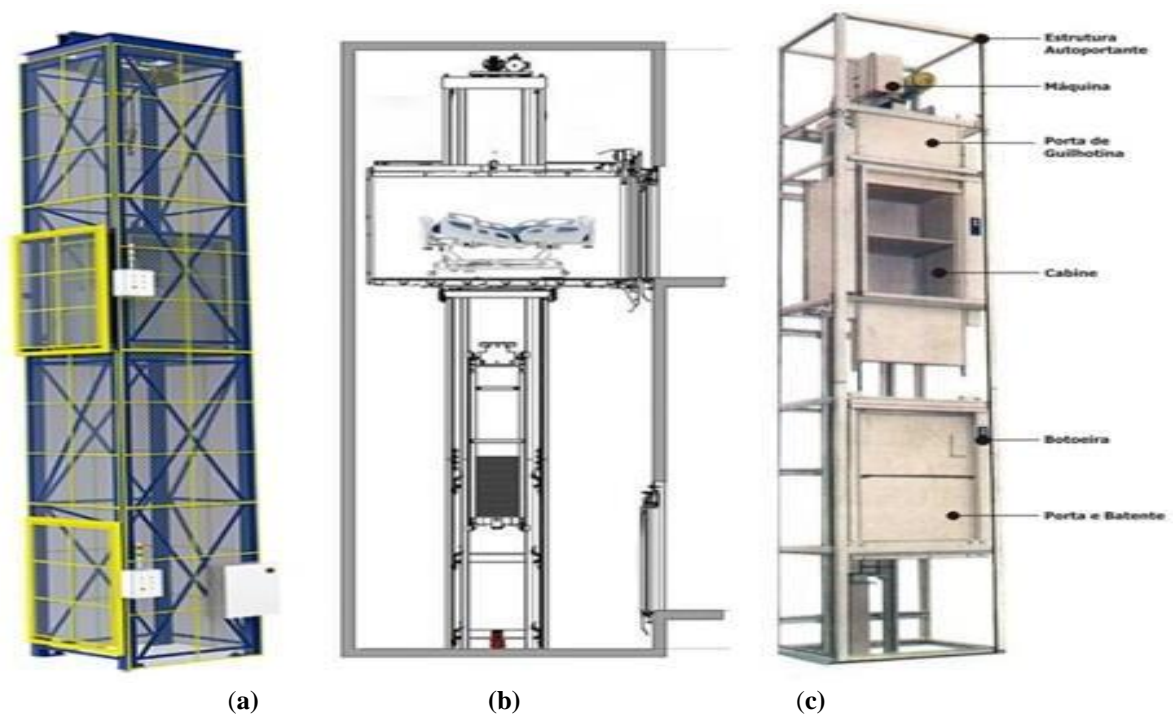
Nos ambientes industrial, hospitalar e comercial, diversos modelos de elevadores são empregados para atender às demandas específicas de transporte vertical. Cada tipo é projetado levando em consideração a natureza da carga a ser movimentada, os requisitos de segurança aplicáveis e as particularidades operacionais do local de instalação. Na Figura 1, são apresentados os diferentes modelos de elevadores destinados ao transporte de carga.

A Figura 1 apresenta três modelos distintos de elevadores utilizados para o transporte de cargas em diferentes contextos. O elevador monta-carga é utilizado para transporte de materiais pesados e volumosos é voltado ao, típico de ambientes industriais. O elevador de maca, comum em hospitais, é dimensionado para o transporte de pacientes em macas com segurança e acessibilidade. Já o elevador de carga é indicado para pequenas cargas, sem transporte de pessoas, sendo ideal para restaurantes, farmácias e outros estabelecimentos comerciais (Silva; Silva, 2025).

Embora os elevadores modernos ainda não existissem na antiguidade, a necessidade de transporte vertical de cargas já se fazia presente em diversas civilizações, especialmente quando começavam a erguer estruturas arquitetônicas complexas e monumentais. Um exemplo emblemático é o Antigo Egito, durante a construção das pirâmides, por volta de 2600 a.C. a 2500 a.C., quando se tornou indispensável desenvolver métodos eficientes para elevar blocos de pedra maciços. Embora não dispusessem dos elevadores como os conhecemos hoje, os egípcios utilizavam rampas, roldanas e alavancas para realizar o transporte vertical desses materiais pesados (Teixeira, 2024).

Invenções que surgiram como soluções para a necessidade de sistemas rudimentares de guindastes e polias foram cruciais na construção das enormes pirâmides, já que o levantamento de pesados blocos de pedra representava um grande desafio. Outro exemplo na Roma Antiga (27 a.C. - 476 d.C.), onde também houve a necessidade de transportar cargas verticalmente, especialmente na construção de anfiteatros, aquedutos, templos e outros edifícios públicos. Os romanos desenvolveram técnicas de elevação com roldanas, guindastes manuais e sistemas de contrapeso para levantar materiais de construção e até mesmo para operações teatrais, como elevar cenários e animais durante as performances nos coliseus.

Figura 1 – Modelos de elevadores para transportes de cargas.
(a) elevador de cargas, (b) elevador de maca, (c) elevador monta-carga.



Fonte: Silva; Silva, 2023.

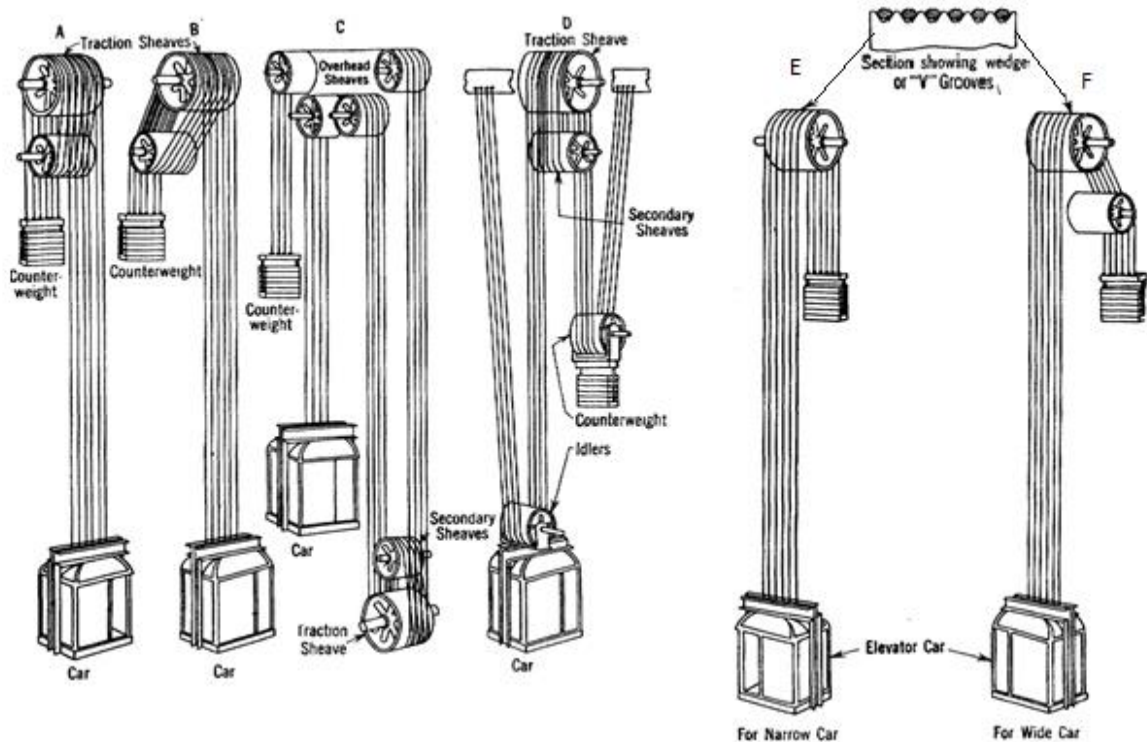
No entanto, a ideia de elevador como se conhece, atualmente, data por volta de 236 d.C. com Vitruvius descrevendo invenções de Arquimedes (Reed, 1922). Sua aplicação com motores elétricos de potência data por volta de 1890 (Bouton, 1924). Desta forma, as primeiras ideias de automação envolvendo elevadores de cargas envolvem motores antigos e painéis elétricos primitivos, visto que os primeiros elevadores necessitavam de trações mecânicas e sistemas complexos de polias e amarração com envoltórias de cabos de aço como destaca-se na Figura 2(A), 2(B), 2(C), 2(D), na qual esses modelos de “máquinas elevadoras” consistiam em quase

noventa e oito por cento das instalações dos prédios comerciais nos Estados Unidos e eram denominadas de “*pent-house*” (Reed, 1922).

Nos sistemas elevadores, eram utilizadas máquinas com tambores de enrolamento, como a *Winding-Drum Machine* (WDM) e a *Full-Wrap Traction Machine* (FWTM). Nesses sistemas, três ou mais cabos eram fixados ao suporte da cabine, a qual se movimentava verticalmente por meio de feixes de tração acionados por um sistema de roldanas variáveis. Esse sistema permitia a adaptação do comprimento dos cabos conforme as exigências estruturais do local de instalação. O contrapeso, acionado pela força gravitacional, era controlado pelo usuário, permitindo que a cabine, carregando objetos ou pessoas, subisse ao nível desejado como ilustrado na Figura 2B (Reed, 1922). Sistemas mais simples, como a *Half-Wrap Traction Machine* (HWTM), utilizavam seções com cunhas ou sulcos em "V". Em muitos casos, esses sistemas requeriam apenas uma roldana para cabines mais estreitas, como mostrado na Figura 2(E), 2(F). Enquanto em cabines maiores necessitavam de duas ou mais roldanas.

Estes elevadores começaram a ser construídos sem engrenagem e requeriam muitas vezes velocidades baixas e motores de corrente contínua (CC) pois o diâmetro da polia motriz era geralmente selecionada com base no diâmetros de cabo para durabilidade da vida útil razoavelmente associada ao cabo, alcançando desta forma a velocidade desejada do elevador. (Reed, 1922).

Figura 2 – Elevadores de tração com multi-envoltórias. 2 (A), 2(B), 2(C), 2(D) roping for full-wrap traction ele e 2(E), 2(F). *Half-Wrap Traction Machine*

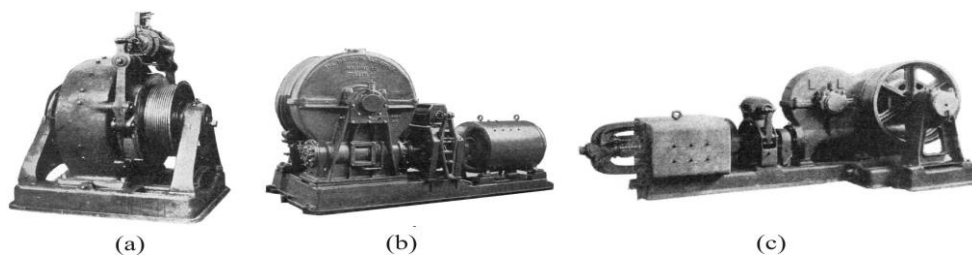


Fonte: Reed, 1922.

Um motor com uma velocidade de 65 rotações por minuto ou menos como pode-se verificar na Figura 3(a), para modelos do tipo *Gearless Elevators* (REED, 1922). Além disso, as máquinas elevadoras mais robustas como *Single Worm and Gear Machine*, ver Figura 3(b), apresentavam sistemas de roldanas como FWTM e HWTM com um ou dois cabamentos podendo operar entre velocidades próximas a 16 a 160 rotações por minuto (REED, 1922). Estes modelos eram mais simples com relação ao elevador com engrenagem e sem-fim *Tandem* ou *Tandam Worm and Gear Elevator*, ver Figura 3(c), o que era mais agressivo para os cabamentos visto que a operação do movimento direcional danificava os cabos e sua duração era comprometida.

Figura 3 – Elevadores sem engrenagens. elevador de cargas.

(a) tipo *Gearless Elevators*, (b) sistemas de roldanas como FWTM e HWTM, (c) elevador sem-fim tandem ou *Tandam Worm and Gear Elevator*

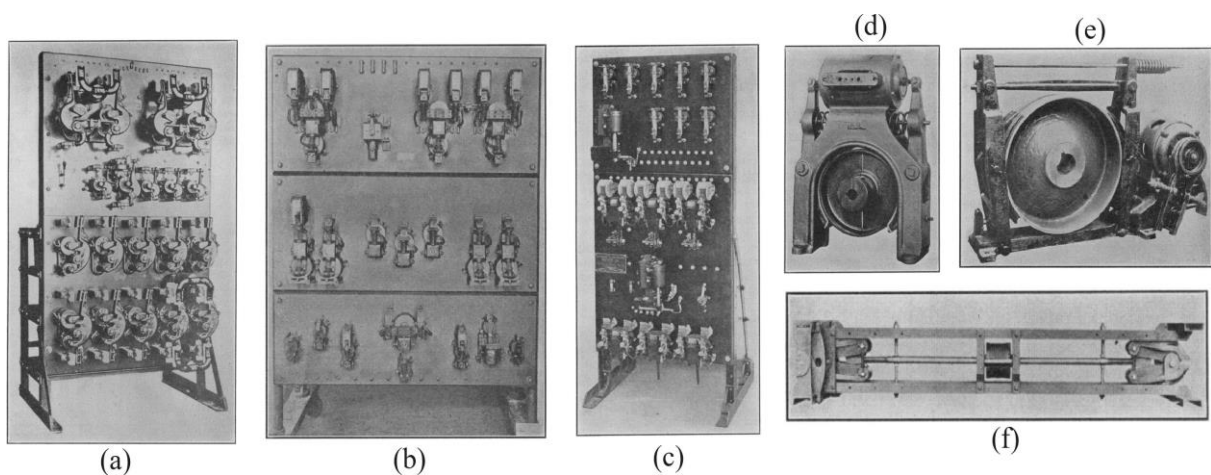


Fonte: Reed, 1922.

Os métodos de operação eram baseados em controladores associados: *Hand Rope and Level Control*, isto é, no controle por corda manual e alavanca a qual consiste em uma corda que *percorre* todo o comprimento do poço do elevador em forma de laço, com metade passando pela cabine; *Car Switch Control*, neste método o controle por uma chave de cabine posicionava uma chave mestre dentro da cabine.

Assim, movendo a alavanca da chave mestre para um dos lados, a cabine se desloca na direção escolhida pelo painel de comando pré-instalado no ambiente como destaca-se na Figura 3(a). *Push Button Control* consistia no controle por botão de pressão que permitia que o carro pare automaticamente no andar selecionado. Esse sistema era especialmente útil em edifícios residenciais, pequenos hotéis, lojas, clubes e outros locais e envolvia controladores típicos ilustrado na Figura 3(b). *Dual Control* já utilizava um painel controlador mostrado na Figura 3(c), e fornecia dois tipos de controles da cabine do elevador tanto através do método de pressionamento do botão quanto pela chave controladora (Reed, 1922).

Figura 4 – Componentes controladores primitivos por automação de usuários. **(a)** *Push Button Control*, **(b)** *Dual Control*, **(c)** *Mechanical Brakes*, **(d)** *Magnet-Operated Elevator Brake*, **(e)** *AC Elevator Brake with Constant Air-Gap Magnet*, **(f)** fusíveis e chaves *switch*



Fonte: Reed, 1922.

Os mecanismos de proteção e freio destes elevadores eram bem rudimentares e apresentavam diferentes características tanto associadas à questão mecânica quanto à questão elétrica. Dentre eles, os principais tipos que figuravam a *demand*a recorrente na época eram: *Mechanical Brakes* (freios mecânicos), os quais eram poucos seguros e havia limitação de capacidade para o número de usuários; *Dynamic Brakes* (freios dinâmicos), que apresentavam

vantagens pois eram acionados e interrompiam a operação do motor DC. Nestes sistemas, os campos derivados, que poderiam estar parcialmente ou totalmente energizado conectado à linha de cabeamento, executavam o acionamento através da armadura rotativa que estava equipada com um resistor em derivação; *Magnet Brakes* (freios magnéticos), similares aos freios mecânicos com um eletro-ímã, possuíam aplicações variáveis, exceto para velocidades muito baixas e com corrente alternada. Na Figura 4(d) e Figura 4(e), são apresentados os freios magnéticos *DC Magnet-Operated Elevator Brake* e *AC Elevator Brake with Constant Air-Gap Magnet*, respectivamente, bastante utilizados nas instalações dos elevadores de edifícios comerciais (Reed, 1922).

Outros dispositivos de segurança e proteção, como o chaveamento seguro de cabine, foram empregados no projeto elétrico da instalação. Esses sistemas podiam incluir desde fusíveis e chaves *switch* até alças de guias de segurança, ver a Figura 4(f).

1.2 MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos, o avanço tecnológico voltado à automação de processos tem se intensificado de forma significativa, especialmente em ambientes industriais. Esse movimento busca não apenas aumentar a produtividade, mas também otimizar recursos e garantir maior segurança operacional. Dentro desse contexto, os elevadores de carga surgem como uma solução funcional e de fácil automatização, desempenhando um papel fundamental na movimentação vertical de materiais pesados e contribuindo para a fluidez dos processos internos. A acessibilidade tecnológica e a aplicabilidade prática desses sistemas os tornam um objeto relevante de estudo, sobretudo quando associados à integração com dispositivos automatizados, sensores e sistemas de controle. Assim, investigar e desenvolver soluções voltadas à automação de elevadores de carga representa uma contribuição pertinente para a modernização de processos e a eficiência operacional em diversos setores.

A motivação deste Trabalho de Conclusão de Curso surgiu a partir da necessidade prática de automatizar um galpão logístico, onde foi solicitado o desenvolvimento de um sistema eficiente e de baixo custo para o transporte vertical de cargas. A demanda do cliente proporcionou uma oportunidade real de aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso, especialmente nas áreas de acionamentos elétricos, máquinas elétricas e automação e controle. Com base em um estudo de caso, foi possível integrar teoria e prática, desenvolvendo uma solução funcional e contribuindo para a formação profissional por meio da aplicação de conceitos técnicos e habilidades em planejamento, execução e otimização de processos industriais.

1.3 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um estudo de caso sobre a implementação de um elevador de carga comercial, automatizado por comandos elétricos.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever os casos de estudo.
- Propor um sistema automatizado, baseado em comandos elétricos, de um elevador comercial para cada um dos casos de estudo.
- Selecionar os componentes elétricos de acordo à proposta dada.
- Dimensionar, de acordo com às normas, os eletrodutos e cabos utilizados no sistema de comando elétrico e do sistema de potência.
- Realizar análises computacionais, usando, por exemplo, no software CADe_SIMU, para verificar o comportamento do sistema automatizado.
- Validar o sistema proposto mediante testes a nível de campo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ELEVADORES INTELIGENTES AUTÔNOMOS MODERNOS

Este tópico tem como objetivo apresentar estudos relacionados à implementação de sistemas de controle aplicados à automação de circuitos elétricos, com ênfase em uma revisão bibliográfica sobre elevadores inteligentes e modernos. Ao final desta seção, busca-se discutir as perspectivas de evolução desses sistemas, analisando como as tecnologias de automação vêm sendo integradas e aprimoradas no contexto dos elevadores de carga comerciais.

2.1.1 Revisão bibliográfica

Os avanços tecnológicos nas últimas décadas têm impulsionado melhorias expressivas nos sistemas de transporte vertical, especialmente nos elevadores, que desempenham um papel fundamental na mobilidade e acessibilidade em edifícios residenciais, comerciais e industriais. A busca por maior eficiência, segurança e integração com sistemas inteligentes tem motivado o desenvolvimento de soluções inovadoras, capazes de otimizar o desempenho desses equipamentos. Nesse contexto, os sistemas de controle surgem como elementos centrais para garantir respostas rápidas, operação segura e interação eficiente com os usuários.

Dentre essas inovações, destaca-se a proposta apresentada por Santos, Palma E Brito (2022), que consiste no desenvolvimento e implementação de um sistema ciber-físico voltado ao controle de um protótipo de levantamento de carga. O projeto integra componentes físicos, como motores, sensores de posição e atuadores, a um ambiente virtual de controle e supervisão. A proposta tem como base a comunicação entre o sistema físico e uma Interface Homem-Máquina (IHM), projetada para possibilitar o monitoramento em tempo real e o acionamento remoto do protótipo. Através da IHM, o usuário pode acompanhar parâmetros operacionais, como a posição da carga, velocidade de deslocamento e status dos comandos, além de interagir com o sistema por meio de uma interface gráfica intuitiva.

A solução foi validada por meio de simulações computacionais e testes em bancada, que evidenciaram a eficiência do sistema em representar com precisão o comportamento físico do protótipo no ambiente virtual. O trabalho também demonstrou a viabilidade da integração de tecnologias de automação, como controladores programáveis e sensores digitais, com ambientes computacionais gráficos, favorecendo a criação de sistemas inteligentes e interativos. Essa abordagem representa um exemplo prático da aplicação dos conceitos da Indústria 4.0, ao promover a fusão entre o mundo físico e o digital, permitindo maior autonomia, segurança e controle dos processos. Além disso, a proposta abre caminhos

para futuras implementações em larga escala, com aplicações em sistemas reais de transporte vertical que demandem confiabilidade e monitoramento contínuo (Santos; Palma; Brito, 2022).

Em outra pesquisa de destaque Santos (2022), apresentou o desenvolvimento de um sistema ciber-físico voltado para um protótipo de elevador monta-cargas, denominado MC3b, concebido no âmbito do Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Universidade Nova de Lisboa. A proposta teve como principal finalidade aprimorar a integração entre os componentes físicos do sistema e seu correspondente ambiente virtual, por meio de uma arquitetura híbrida capaz de operar tanto com o protótipo real quanto com um simulador digital interativo. Esse enfoque possibilitou a criação de uma plataforma experimental que alia controle automatizado e monitoramento remoto, em consonância com os preceitos da Indústria 4.0. O protótipo MC3b foi desenvolvido com sensores de posição, motores acionados por inversores de frequência e uma IHM, permitindo que o usuário acompanhasse e interagisse com o sistema em tempo real. Um dos aspectos mais relevantes da proposta foi o desenvolvimento de um simulador virtual que emula com alta fidelidade o comportamento do sistema físico, permitindo a realização de testes, detecção de falhas e ajustes no controle sem a necessidade de acionar diretamente o equipamento real. Essa abordagem ampliou a confiabilidade e a segurança operacional do sistema, além de facilitar seu desenvolvimento e validação.

Um estudo de caso conduzido em um elevador instalado em uma instituição de ensino superior na Croácia analisou o potencial de regeneração de energia e o consumo anual de energia de um sistema de tração por cabo. A pesquisa foi realizada em condições reais de operação, ao longo de uma semana, utilizando um motor síncrono com ímãs permanentes, um conversor de potência convencional (não regenerativo) e uma unidade regenerativa. O principal objetivo foi avaliar a eficiência energética do sistema operando nas modalidades regenerativa e não regenerativa, com base nos critérios estabelecidos pelas normas VDI 4707 e ISO 25745 (Kutija *et al.*, 2021).

As medições demonstraram que o elevador operava com um perfil de velocidade controlada, em ciclos de aproximadamente 70 segundos por viagem. A análise detalhada da potência indicou que, dependendo da frequência de uso (número de viagens), o consumo total de energia poderia ser reduzido em até 20% quando o sistema regenerativo estava ativo. Isso se deve à capacidade do sistema de recuperar parte da energia gerada durante a frenagem ou descidas, que seria desperdiçada em sistemas convencionais. Como resultado, o uso da tecnologia regenerativa contribuiu significativamente para a redução do consumo energético

anual, evidenciando seu potencial de aplicação em edificações com tráfego vertical intenso (Kutija *et al.*, 2021).

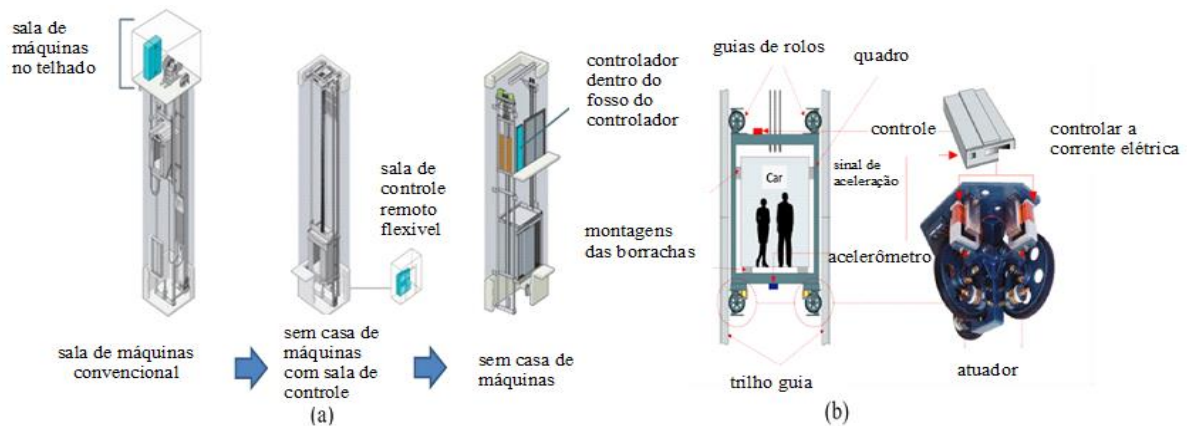
Com base nos estudos analisados, verifica-se uma tendência consolidada na adoção de sistemas ciber-físicos e soluções de controle avançado aplicadas a elevadores, tanto de carga quanto de passageiros. Esses avanços estão fortemente associados à busca por maior eficiência energética, automação inteligente e conectividade em tempo real. De forma complementar, os trabalhos indicam que a combinação entre controle inteligente, ambientes de simulação virtual e práticas sustentáveis constitui um pilar estratégico para a modernização dos sistemas de transporte vertical. Essa integração tecnológica, alinhada aos princípios da Indústria 4.0, impulsiona o desenvolvimento de soluções mais seguras, eficientes e adaptáveis, capazes de atender às crescentes exigências de desempenho e sustentabilidade em edificações contemporâneas (Kutija *et al.*, 2021).

2.1.2 Futuro do desenvolvimento de sistemas elevadores

A modernização tem impulsionado avanços expressivos nos sistemas de automação, e, nesse cenário, os elevadores têm passado por uma notável evolução tecnológica, especialmente no que se refere aos seus componentes eletromecânicos e de controle. Um exemplo disso é na Figura 5(a), esta evolução mostra sistemas de elevadores desde os modelos tradicionais com casa de máquinas até os mais avançados sem casa de máquinas. Na primeira etapa, o elevador possui uma sala de máquinas no topo para controlar o funcionamento como modelo bem convencional, na parte superior há um “*Rooftop machine room*”. Na segunda, a sala de máquinas é removida e substituída por uma sala de controle flexível derivado do processo de automatização deste sistema. Na última etapa, o controlador é integrado ao próprio poço do elevador (*hoistway*), eliminando completamente a necessidade de uma sala de máquinas externa (Al-Kodmany, 2023).

A Figura 5(b), detalha os componentes-chave do sistema automatizado sem casa de máquinas, como o carro do elevador, trilhos-guia, montagens de borracha para reduzir vibrações, guias de rolos para movimento suave, o controlador, um acelerômetro para detectar movimento, e o atuador que converte sinais elétricos em movimento, tudo isso operado por correntes elétricas controladas (Al-Kodmany, 2023). Outros sistemas mais dinâmicos surgem com esta modernização, na Figura 6(a) e Figura 6(b), é possível comparar dois tipos de sistemas de elevadores e seus métodos de despacho. Nelas vemos a diferença entre elevadores convencionais e circulares.

Figura 5 – Esquemático da (a) revolução da máquina elevadora sem engrenagens *machine-roomless* e (b) sistemas de guias de rolos computadorizados.

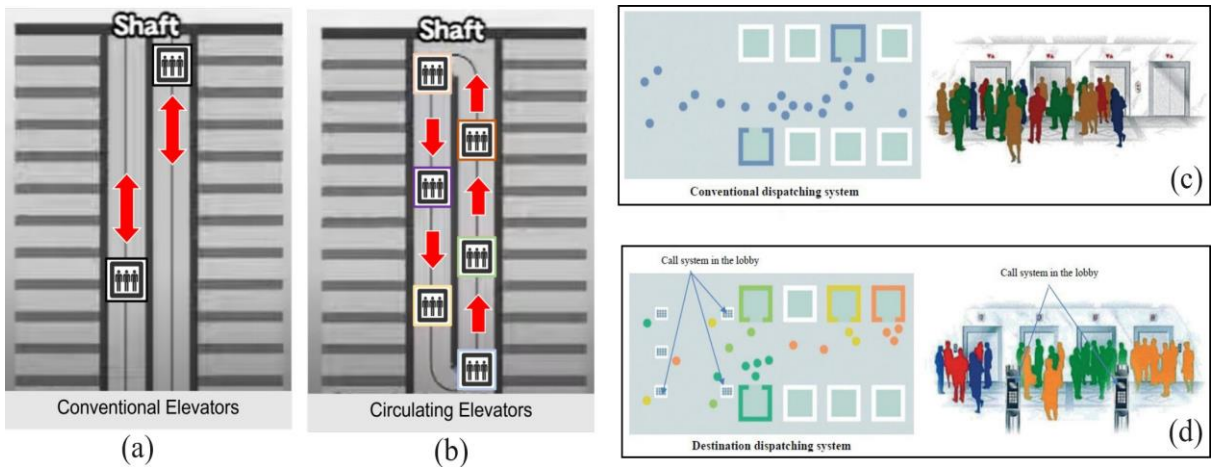


Fonte: Adaptado de Al-Kodmany, 2023.

No sistema de elevadores convencionais da Figura 6(a), os elevadores operam em um eixo vertical único, subindo e descendo de forma independente, o que pode causar tempos de espera maiores, especialmente em edifícios altos e muito movimentados. Já no sistema de elevadores circulares da Figura 6(b), múltiplos elevadores circulam em um eixo contínuo, permitindo que alguns elevadores subam enquanto outros descem simultaneamente. Essa configuração otimiza o fluxo de passageiros e melhora a eficiência do trânsito de usuários e reduz tempo de espera, diminuindo o número de filas, especialmente em edifícios onde o transporte vertical é um desafio devido à alta demanda (Al-Kodmany, 2023).

Nas Figura 6(c) e Figura 6(d), é comparado o sistema de despacho convencional com o sistema de despacho por destino. No sistema convencional da Figura 6(c), os passageiros se distribuem aleatoriamente entre os elevadores, o que leva a um agrupamento desordenado e possíveis sobrecargas, aumentando o tempo de espera. Por outro lado, o sistema de despacho por destino na Figura 6(d), organiza os passageiros antes de entrarem no elevador, agrupando-os de acordo com seus destinos finais. Isso resulta em um fluxo mais ordenado e eficiente, reduzindo os tempos de espera e maximizando a capacidade dos elevadores ao evitar paradas desnecessárias em andares intermediários. Esses avanços refletem uma abordagem mais sofisticada na gestão de tráfego dentro de edifícios, melhorando tanto a experiência dos usuários quanto a eficiência operacional. A solução apresentada em Figura 6(b), pode ser integrada junto na Figura 6(d), pelo processo combinado dos sistemas de automação (Al-Kodmany, 2023).

Figura 6 – Sistema de elevadores modernos (a) visão convencional e (b) visão de multi-cabines circulatórias; (c) fluxos de pessoas em sistema convencional e (d) fluxo de pessoas com sistema chamada-preditivo de elevadores.



Fonte: Al-Kodmany, 2023.

Um elevador de carga comercial é um sistema projetado para transportar mercadorias e materiais pesados entre diferentes andares em edifícios comerciais, industriais ou armazéns. Esse tipo de elevador é essencial para facilitar o transporte seguro e eficiente de itens que não podem ser carregados manualmente ou por outros meios. Ele é projetado para suportar cargas maiores do que um elevador de passageiros e possui componentes especializados que garantem a durabilidade, segurança e eficiência no processo de movimentação de carga (Kutija *et al.*, 2021).

2.2 PARTES DE UM ELEVADOR DE CARGA COMERCIAL

A seguir, apresenta-se as principais partes de um elevador de carga comercial, de acordo com a Figura 7.

Cabine de Carga: A cabine é o compartimento destinado ao armazenamento das mercadorias durante o transporte. Projetada para suportar cargas elevadas, ela pode contar com piso reforçado, conforme as exigências do sistema de carga. Em determinados modelos, é possível personalizá-la para acomodar tipos específicos de mercadorias, garantindo maior segurança e eficiência no transporte (ILIFT, [2025?]).

Estrutura de Suporte: A estrutura de suporte é formada por um conjunto robusto de vigas, guias e componentes metálicos que sustentam e orientam verticalmente todo o sistema do elevador. Essencial para garantir a estabilidade e segurança durante o transporte das cargas, essa estrutura é fabricada com materiais de alta resistência, capazes de suportar tanto o

peso das mercadorias quanto o desgaste do funcionamento contínuo, assegurando durabilidade e desempenho conforme a norma ABNT NBR 14712:2021.

Figura 7 - Principais partes de um elevador de carga comercial



Fonte: Adaptado de ILIFT, [2025?].

Sistema de Elevador (Motor e Cabos): O motor elétrico e os cabos de aço constituem o núcleo do sistema de movimentação da cabine de carga. O motor gera a força essencial para o levantamento e descida da cabine, enquanto os cabos de aço transmitem essa força ao sistema de tração com alta precisão e segurança. O contrapeso desempenha um papel fundamental ao equilibrar o conjunto, reduzindo o esforço mecânico necessário e otimizando a eficiência energética do sistema (OTIS, 2024).

Portas: As portas do elevador de carga são projetadas para garantir acesso eficiente e seguro às mercadorias, podendo ser manuais ou automáticas. São frequentemente reforçadas para suportar impactos e estão equipadas com sistemas de intertravamento que impedem a operação do elevador com as portas abertas ou em caso de obstruções, garantindo proteção à carga e aos operadores, além de prevenir acidentes e falhas operacionais (NBR NM 267, 2013).

Sistema de Controle: O sistema de controle é composto por painéis de comando, sistemas eletrônicos que regulam o funcionamento do elevador e botoeiras, proporcionando uma gestão precisa e segura do funcionamento do equipamento. Esse sistema permite ao operador selecionar o andar desejado, além de monitorar continuamente a velocidade e a carga da cabine, garantindo operação eficiente, segura e confiável em todas as condições (OTIS, 2024).

Sistemas de Segurança: Os elevadores de carga comercial são equipados com diversos sistemas de segurança projetados para assegurar uma operação livre de riscos. Entre esses recursos estão sensores de peso que evitam sobrecarga, sistemas de travamento automático que garantem o fechamento seguro das portas, alarmes de emergência para alertar em situações críticas e dispositivos de parada que atuam imediatamente em caso de falhas no sistema, promovendo proteção tanto para a carga quanto para os operadores (OTIS, 2024).

Acabamentos e Revestimentos: De acordo com a aplicação, a cabine e a estrutura do elevador podem ser revestidas com materiais específicos, como pintura epóxi ou aço inoxidável, que conferem elevada resistência à corrosão, aumentam a durabilidade e facilitam a higienização. Esses revestimentos são essenciais para garantir a integridade estrutural do equipamento, simplificar a manutenção e prolongar a vida útil do sistema (ILIFT, [2025?]).

2.3 PRINCIPAIS COMPONENTES ELÉTRICOS

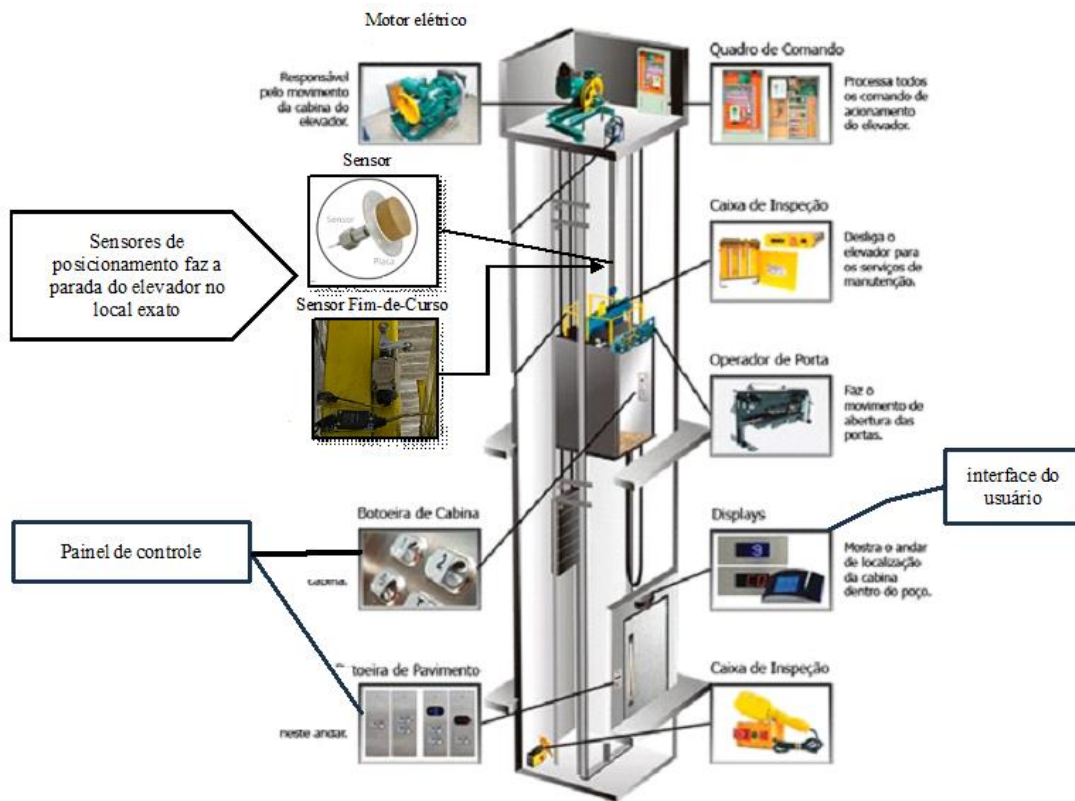
A seleção de componentes elétricos é crucial para a automação de elevadores de carga comerciais, garantindo eficiência, segurança e conformidade com normas técnicas, como a NBR 5410 e e NBR NM 207. Dispositivos como sensores, controladores e sistemas de proteção devem ser escolhidos com base em critérios como corrente nominal, tensão de operação e resposta a falhas, assegurando integração adequada entre comando, controle e potência.

Entre os componentes essenciais destacam-se contadores, relés de tempo, disjuntores-motor e sensores de fim de curso, que compõem a arquitetura do sistema automatizado. Sua correta especificação é fundamental para o desempenho operacional, confiabilidade e

atendimento às exigências normativas, conforme ilustrado na Figura 8. A integração desses elementos assegura o funcionamento lógico e seguro do elevador.

Motores elétricos: Os motores elétricos são responsáveis pela movimentação do elevador, e sua escolha é vital para o desempenho e a eficiência do sistema. Motores de corrente alternada (AC) são preferidos devido à sua robustez e capacidade de operar em uma ampla faixa de velocidades. Em sistemas elevadores mais robustos, o emprego de inversores de frequência para controlar a velocidade do motor e ajustar a aceleração e desaceleração do elevador de forma suave e eficiente, que garante uma operação estável e reduz o consumo de energia, contribuindo para a eficiência energética do sistema (Ângelo, 2017).

Figura 8 – Componentes elétrico de um elevador convencional.



Fonte: Adaptado de Santos; Silva, 2020.

Sensores de posicionamento: Os sensores são cruciais para garantir a precisão e segurança do elevador. Ele fica posicionado na parte superior ou inferior da estrutura tem a função de sinalizar que a cabine atingiu o limite inferior do seu trajeto vertical. Os sensores operam como dispositivos mecânicos normalmente fechados, que são ativados quando o contrapeso aciona suas alavancas. Esse acionamento rompe o circuito elétrico e envia um

sinal imediato, que então bloqueia qualquer tentativa de deslocamento além dos limites operacionais estabelecidos (Santos, 2022).

Atuadores elétricos ou operadores de porta: Os atuadores elétricos são essenciais tanto para o funcionamento das portas do elevador quanto para os mecanismos de tração. Na escolha dos atuadores responsáveis pela abertura e fechamento das portas, a prioridade é a confiabilidade e a precisão, garantindo um movimento suave que reduz o desgaste e minimiza a necessidade de manutenção. Da mesma forma, os atuadores de tração serão selecionados para assegurar uma movimentação eficaz da cabine e da carga, sendo capazes de suportar diferentes tipos e tamanhos de carga com segurança e eficiência (Ângelo, 2017).

Painel de controle e interface do usuário: O painel de controle e a interface do usuário são projetados para garantir uma operação intuitiva e eficiente do elevador. O painel contém botões de chamada, controles de direção e indicadores de status, oferecendo aos operadores um meio claro e acessível de interagir com o sistema. A interface é desenvolvida com foco na ergonomia e na facilidade de uso, facilitando a visualização da localização e simplificando a operação (Ângelo, 2017).

Painel de comando: O painel de comando é responsável por abrigar os dispositivos elétricos que controlam o funcionamento do elevador, como relés, disjuntores, contatores e demais elementos necessários para a realização das manobras operacionais de forma segura e eficiente.

2.4 NORMAS TÉCNICAS PARA A INSTALAÇÃO DE ELEVADORES AUTOMATIZADOS

A NBR 5410, que trata das instalações elétricas de baixa tensão, estabelece os requisitos mínimos para o projeto, instalação e manutenção de sistemas elétricos, abrangendo tanto aspectos de segurança quanto de desempenho. No contexto dos elevadores comerciais, essa norma assume um papel crucial, pois assegura que os componentes elétricos sejam corretamente dimensionados e instalados, minimizando riscos de acidentes e falhas operacionais.

Conforme a NBR 5410:2004, o termo "componente" é utilizado para referir-se a itens da instalação que, dependendo do contexto, podem incluir materiais, acessórios, dispositivos, instrumentos, equipamentos (destinados à geração, conversão, transformação, transmissão, armazenamento, distribuição ou uso da eletricidade), máquinas, conjuntos ou até mesmo segmentos ou partes da instalação como, por exemplo, as linhas elétricas.

Para a instalação desses componentes, a NBR 5410:2004 estabelece que toda instalação elétrica deve ser executada com precisão por profissionais qualificados, garantindo, entre outros aspectos, que:

- As características dos componentes da instalação não sejam prejudicadas durante a montagem;
- Os componentes da instalação, especialmente os condutores, estejam devidamente identificados;
- Nas conexões, o contato seja seguro e confiável;
- Os componentes sejam instalados de maneira a preservar as condições de resfriamento previstas;
- Os componentes que possam gerar altas temperaturas ou arcos elétricos sejam posicionados ou protegidos de modo a eliminar o risco de ignição de materiais inflamáveis;
- As partes externas dos componentes, suscetíveis de atingir temperaturas que possam causar lesões, sejam posicionadas ou protegidas de forma a garantir a segurança das pessoas contra contatos acidentais.

A escolha e instalação de sistemas elétricos em elevadores comerciais exigem uma atenção especial, visto que esses equipamentos estão em constante uso e são fundamentais para o funcionamento de edifícios comerciais. A NBR 5410 aborda a necessidade de garantir a continuidade da operação elétrica, principalmente em situações de emergência. Por exemplo, a norma estipula critérios para a instalação de sistemas de emergência, como fontes de energia secundárias, que devem ser capazes de alimentar o elevador em caso de falha na rede elétrica principal. Esse aspecto é vital para evitar situações de pânico e para assegurar o funcionamento contínuo do elevador, especialmente em edifícios de grande circulação.

Além disso, a NBR 5410 detalha os requisitos de proteção contra choques elétricos, incêndios e outros perigos associados ao uso de energia elétrica. No caso dos elevadores comerciais, isso inclui a correta escolha de disjuntores, fusíveis e outros dispositivos de proteção, que devem ser capazes de interromper a corrente elétrica em caso de curto-circuitos ou sobrecargas. A norma também estabelece as distâncias mínimas de segurança para a instalação de cabos e componentes elétricos, evitando que qualquer falha na instalação possa comprometer a segurança dos usuários e do próprio edifício.

Outro aspecto abordado na NBR 5410 é a importância do aterramento e da equipotencialização no sistema elétrico dos elevadores comerciais. O aterramento adequado é essencial para a proteção contra descargas elétricas, que podem ser causadas por falhas no sistema ou

por fatores externos, como raios. A norma especifica os métodos corretos de aterramento e a necessidade de manter todos os componentes metálicos do elevador conectados ao sistema de aterramento, garantindo que, em caso de falha, a corrente elétrica seja desviada para a terra, protegendo os usuários.

Por fim, a manutenção preventiva e corretiva dos sistemas elétricos dos elevadores comerciais, conforme estabelecido pela NBR 5410, é crucial para garantir a longevidade e a segurança do equipamento. A norma recomenda inspeções regulares e testes de todos os componentes elétricos, garantindo que estejam funcionando corretamente e que qualquer desgaste ou falha seja detectado e corrigido antes que possa causar um problema maior. A aplicação rigorosa da NBR 5410 nas instalações elétricas dos elevadores comerciais é, portanto, um fator decisivo para a segurança, eficiência e conformidade desses sistemas, refletindo diretamente na segurança dos usuários e na operação contínua e segura dos edifícios onde esses elevadores estão instalados.

A NBR 14712:2013, intitulada "Elevadores elétricos e hidráulicos Elevadores de carga, monta-cargas e elevadores de maca Requisitos de segurança para construção e instalação", é a principal norma técnica abordada neste contexto. Ela define os critérios de segurança essenciais para a construção e instalação de diferentes tipos de elevadores, como elevadores de carga, elevadores de macas e monta-cargas. A norma subdivide a categoria de elevadores de carga em três classes, baseando-se na natureza da distribuição de massa das cargas transportadas e na forma de inserção e retirada dessas cargas. Além disso, a NBR 14712 estabelece limites para tensões admissíveis e deformações máximas, reforçando a importância de seguir os requisitos de segurança mencionados, incluindo a aplicação de normas relativas a elevadores de passageiros quando aplicáveis.

A ABNT NBR ISO 60504-1:2021 estabelece requisitos para o projeto, instalação e avaliação dos sistemas de iluminação em elevadores, visando assegurar segurança, conforto visual e eficiência energética. A norma especifica os níveis mínimos de iluminância, uniformidade da luz e os controles necessários para garantir visibilidade adequada em diferentes condições operacionais. Também aborda critérios de durabilidade e manutenção dos sistemas, promovendo conformidade com padrões internacionais e contribuindo para uma experiência segura e confortável dos usuários.

2.5 BASE DE PARTIDA DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho tem como ponto de partida uma solicitação específica do cliente, que demandou a criação de um sistema de transporte vertical de cargas

entre dois pavimentos, visando atender a necessidades operacionais distintas em dois setores industriais. O objetivo principal do projeto é oferecer uma solução eficiente e segura, com um bom equilíbrio entre desempenho técnico e viabilidade econômica, ou seja, prezando por um alto custo-benefício.

A primeira aplicação será destinada a um galpão utilizado para o armazenamento de peças eletrônicas, onde o transporte das cargas ocorrerá entre o piso térreo e o primeiro andar. A segunda aplicação será implementada em um galpão voltado às atividades de marcenaria, com características operacionais similares. Ambas as instalações exigem um sistema robusto, de fácil operação e manutenção, capaz de suportar cargas variadas com confiabilidade e segurança.

Para o desenvolvimento da solução proposta, o cliente forneceu um conjunto de requisitos técnicos que serviram como base para o dimensionamento e as especificações do projeto. Essas informações incluem, entre outros aspectos, a carga mínima e máxima suportada, a altura útil de elevação, as condições estruturais dos galpões e tensão disponível para alimentação. Tais dados estão consolidados na tabela 1, apresentado a seguir, e nortearam todas as etapas do projeto, desde a concepção inicial até a definição dos componentes e da metodologia de automação.

Tabela 1 – Dados fornecidos pelo cliente.

Necessidade do cliente	
Peso mínimo transportado (Kg)	500
Peso máximo transportado (Kg)	1000
Altura entre andares (m)	5
Tensão disponível (V)	380/220

Fonte: Elaborado pela própria autora.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi estruturada com base em etapas práticas e analíticas, com o objetivo de desenvolver e validar um sistema de controle para um elevador de carga. Inicialmente, foi realizado o levantamento dos requisitos técnicos fornecidos pelo cliente, como a capacidade de carga, o percurso vertical e as necessidades específicas de operação, conforme descrito no Tópico 2.5. A partir dessas informações, iniciou-se a elaboração do projeto elétrico e da arquitetura de controle, considerando critérios de desempenho, segurança e viabilidade de implementação, foi elaborado o diagrama elétrico inicial do sistema, utilizando software de simulação CADe_SIMU, para prever o comportamento do circuito em condições reais de operação. A implementação dos projetos foi realizada em dois cenários distintos, cada um com características e demandas específicas que influenciaram diretamente o desenvolvimento das soluções propostas.

O Caso 1 refere-se a um galpão utilizado para o armazenamento de peças eletrônicas, estando diretamente vinculado ao Projeto 1 destacado na Seção 3.2.1 esse ambiente é voltado à estocagem e movimentação de itens sensíveis e de médio valor agregado, como baterias, placas de circuito, dispositivos eletrônicos diversos e aparelhos celulares. A estrutura do galpão é composta por dois pavimentos, sendo o térreo destinado ao recebimento e triagem de mercadorias, enquanto o primeiro andar abriga a área de armazenamento definitivo. A necessidade central neste caso consiste em garantir um transporte vertical seguro e eficiente, capaz de preservar a integridade dos produtos durante o deslocamento entre os andares.

Já o Caso 2, correspondente ao Projeto 2 destacado na Seção 3.2.5 na qual está inserido em um galpão dedicado às atividades de marcenaria. Esse ambiente também é dividido em dois pavimentos: no andar inferior, ocorrem as atividades de produção e acabamento; enquanto o pavimento superior é destinado ao armazenamento e montagem de peças prontas. A demanda operacional envolve o transporte de itens de pequeno porte em madeira, como gavetas, nichos, criados-mudos e demais componentes mobiliários. Neste contexto, o sistema de transporte vertical precisa ser robusto o suficiente para suportar cargas variadas, mas também adequado ao manuseio frequente e à dinâmica de uma linha de produção artesanal.

Ambos os casos compartilham a mesma estrutura básica – galpões industriais divididos em dois pavimentos, com finalidades semelhantes que é o armazenamento de peças definitivas. A partir dessas necessidades, foram desenvolvidas soluções técnicas

personalizadas, levando em consideração fatores como capacidade de carga, frequência de uso, segurança operacional e custo-benefício.

3.1 ANÁLISE DA CAPACIDADE MÁXIMA DE CARGA DE TRANSPORTE SUPORTADA

O desenvolvimento de um projeto de elevador deve começar pela definição precisa da categoria do equipamento, de acordo com as exigências do cliente e as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 14712:2013. Esta norma classifica os elevadores de carga em três principais categorias: elevadores de carga, monta-cargas e elevadores para maca. Um ponto crucial a ser observado é a definição de monta-cargas, que se aplica exclusivamente a elevadores destinados ao transporte de cargas com capacidade máxima de 5000 kg.

Os elevadores de carga com capacidade dentro desse limite como monta-cargas, a norma NBR 14712:2013 faz uma distinção clara, reservando essa terminologia para elevadores que ultrapassam os 1000 kg (categoria selecionada para o escopo deste trabalho) como está estabelecido na legislação para elevadores monta-carga disposto na Tabela 1. Dentro da categoria de elevadores de carga, a norma subdivide esses equipamentos em três classes distintas: A, B e C.

Os elevadores de classe A são projetados para cargas distribuídas uniformemente, onde nenhuma peça individual excede 25% da carga nominal, tanto para o carregamento, quanto o descarregamento que são realizados manualmente. Elevadores de classe B, por outro lado, são específicos para o transporte de veículos automotivos. Já os elevadores de classe C são destinados ao transporte de cargas concentradas, especialmente quando a soma do peso da carga e da empilhadeira (se utilizada) supera 25% da carga nominal do elevador, a Tabela 2 permite visualizar estas características.

Tabela 2 – Monta-cargas

Tipo de veículo	Nº de pessoas (máx)	Carga (kg)	BK Largura cabine (mm)	TK Profundidade cabine (mm)
Paleta ou trans-paleta	8	630	1100	1400
Paleta, trans-paleta ou carretilha manual	13	1000	1300	1750
Paleta ou carretilha manual	16	1250	1500	2150
Paleta ou carretilha manual	21	1600	1600	2150
Paleta ou carretilha manual	26	2000	1600	2550
Paleta, carretilha manual ou carretilha elétrica	33	2500	1800	2800
Paleta, carretilha manual ou carretilha elétrica	42	3200	2000	2700
Paleta, carretilha manual, carretilha elétrica ou carretilha elétrica com condutor	53	4000	2200	3200
Paleta, carretilha manual, carretilha elétrica ou carretilha elétrica com condutor	66	5000	2400	3600

Fonte: Miravete; Emilio, 2007.

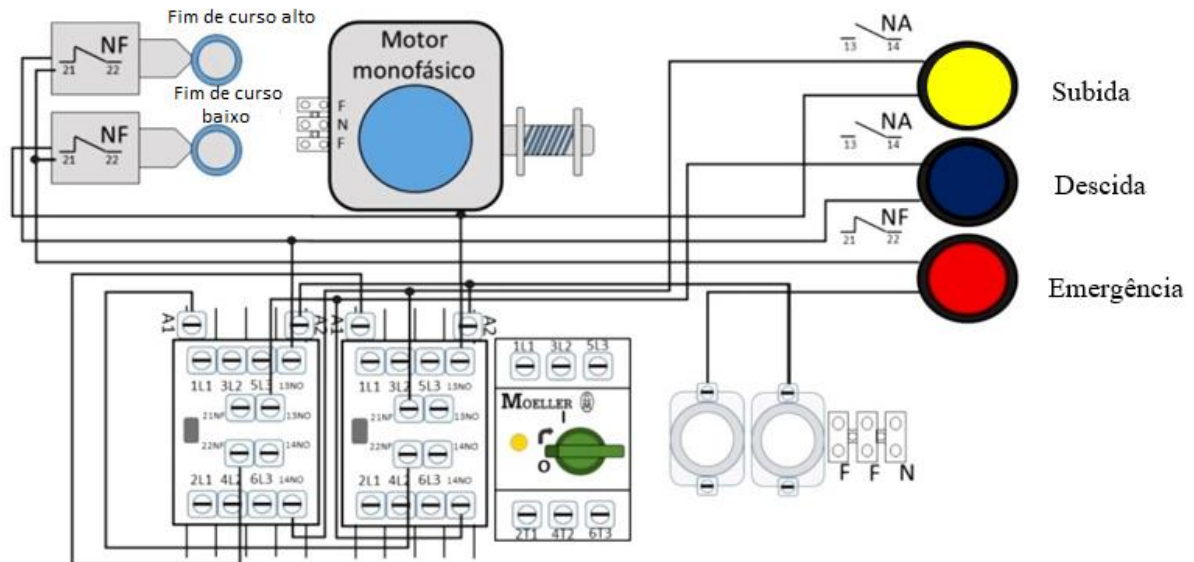
A classe C é ainda subdividida em C1, C2 e C3, de acordo com o método de carregamento e descarregamento, e se a empilhadeira acompanha a carga durante a viagem ou não. Na categoria C1, a empilhadeira viaja com a carga; na C2, a empilhadeira não viaja junto. A C3 é designada para situações em que há uma grande concentração de carga, mas sem o uso de empilhadeiras motorizadas.

Para atender ao requisito específico do cliente de transportar um *pallet* de 1000 mm × 1200 mm, carregado e descarregado por uma transpaleteira manual com peso total de até 1000 kg, e permitindo que a transpaleteira viaje com a carga, o elevador deve ser classificado como categoria C3. Isso se deve à concentração de carga nas rodas da transpaleteira durante as operações de carregamento e descarregamento (Miravete; Emilio, 2007).

Na Figura 9, é destacado o *layout* da caixa de comando a ser dimensionada, nela, é possível visualizar a conexão do motor-monofásico, com as contadoras bem como o disjuntor-motor. Os dois botões representados por verdes normalmente aberto (NA) são os comandos de "subida" e "descida", já o botão vermelho normalmente fechado (NF) é a botoeira de emergência na falha ou interrupção de algum evento imprevisto. Estes botões estão interconectados com a caixa de comando fazendo o acionamento das contadoras. Os componentes do fim de curso alto e baixo representam o nível de cada pavimento são então representados por contato normalmente fechado (NF). Há dois contadores trifásicos conectados às botoeiras juntamente com o disjuntor-motor. Na Figura 9, o

sistema de segurança não é apresentado na abordagem, sendo necessário incluir modificações e ajuste.

Figura 9 – Layout da caixa de comando.



Fonte: Adaptado de Mundo da Elétrica, 2015.

3.1.1 Dimensionamento elétrico da operação do motor monofásico

O processo de dimensionamento do motor foi orientado pelas especificações fornecidas pelo cliente, conforme detalhado na Tabela 2, que indicavam uma faixa de carga média entre 500 kg e 1000 kg, além de uma altura de elevação de aproximadamente 5 metros. A partir desses parâmetros, buscou-se uma solução que não apenas atendesse à capacidade de carga exigida, mas que também proporcionasse uma boa relação entre desempenho, custo e viabilidade de instalação, considerando as características físicas do ambiente onde o sistema seria implementado. Outros critérios relevantes considerados incluíram a durabilidade do equipamento, sua facilidade de integração ao conjunto do sistema de transporte vertical e a simplicidade na execução de manutenções preventivas e corretivas.

Para fundamentar a decisão, foram realizadas análises técnicas com foco em aspectos como capacidade de tração, consumo energético, dimensões físicas, robustez mecânica e custo total de aquisição e operação. Entre as alternativas analisadas, destacou-se a aplicação de um motor elétrico monofásico acoplado a um sistema de talha com guincho elétrico, que se mostrou compatível com os requisitos operacionais do projeto. Essa configuração apresenta vantagens como eficiência na operação, facilidade de instalação, manutenção simplificada e

excelente custo-benefício, tornando-se a escolha mais adequada para atender à demanda do cliente destacado na Figura 10.

Figura 10 – Motor talha monofásico dimensionado.



Fonte: CSM, 2024.

A Tabela 3, mostra as informações relativas às especificações técnicas do motor talha utilizado foram obtidas diretamente junto ao fornecedor, garantindo assim a confiabilidade dos dados. A análise dessas especificações demonstrou que o equipamento atende plenamente aos requisitos do projeto, especialmente no que diz respeito à capacidade de carga estabelecida inicialmente pelo cliente. A seleção do motor visou assegurar não apenas a eficiência operacional, mas também a segurança no transporte vertical das cargas, conforme os parâmetros definidos, oferecendo robustez e desempenho compatíveis com as exigências da aplicação. Ainda, na Tabela 3, é possível avaliar características elétricas importantes como tensão nominal V_{nominal} e potência de trabalho P_t , tendo em consideração a potência mecânica de trabalho em cavalos.

Com base nos dados apresentados na Tabela 3, é possível dimensionar a corrente elétrica de operação do motor em condições nominais. Para isso, é necessário consultar as especificações elétricas do motor monofásico, conforme estabelecido no ato normativo da concessionária de energia elétrica (Neoenergia, 2022) a fim de determinar o fator de potência, de acordo com as informações representadas na Figura 11.

Tabela 3 – Especificações técnicas do motor monofásico utilizado.

Especificação	Valor
Capacidade de carga	500 kgf / 1000 kgf
Altura de elevação	12 m / 6 m
Velocidade de elevação	10 m/s / 5 m/s
Comprimento do cabo	12 m
Diâmetro do cabo	5,6 mm
Regime de trabalho	S3 20% - 10 min.
Potência de trabalho	2,2 cv 1650 W
Tensão nominal	220V
Peso	34 kg
Dimensões da embalagem (C × L × A)	580 × 280 × 350 mm ³
Dimensões máx. da viga de fixação	A: 60 / B: 78 / C: 86 mm

Fonte: CSM, 2024.

Figura 11 – Características elétricas dos motores monofásicos.

Potência nominal (cv ou HP)	Potência absorvida da rede		Corrente nominal (A)		Corrente de partida (A)		cos Ø médio
	W	VA	110 V	220 V	110 V	220 V	
¼	420	660	5,9	3,0	27	14	0,63
⅓	510	770	7,1	3,5	31	16	0,66
½	790	1 180	11,6	5,4	47	24	0,67
¾	900	1 340	12,2	6,1	63	33	0,67
1	1 140	1 560	14,2	7,1	68	35	0,73
1 ½	1 670	2 350	21,4	10,7	96	48	0,71
2	2 170	2 970	27,0	13,5	132	68	0,73
3	3 220	4 070	37,0	18,5	220	110	0,79
5	5 110	6 160	-	28,0		145	0,83
7 ½	7 070	8 840	-	40,2		210	0,80
10	9 310	11 640	-	52,9		260	0,80
12 ½	11 580	14 940	-	67,9		330	0,78
15	13 720	16 940	-	77,0		408	0,81

Fonte: Neoenergia, 2022.

Ressalta-se que a potência nominal do motor selecionado, de 2,2 cv, é enquadrada pela norma da concessionária como equivalente a 1,5 cv (1½ cv). Diante disso, torna-se imprescindível utilizar os valores reais de potência absorvida da rede para a correta seleção do fator de potência médio, que neste caso é de 0,71, com esses parâmetros, torna-se viável calcular a corrente nominal de funcionamento do motor, conforme expressa a Equação 1 a seguir:

$$I = \frac{P_t}{V_{nominal} * \cos \theta} = \frac{1650}{220 * 0,71} = 10,56 \text{ A} \quad (1)$$

no qual I é a corrente, P_t é potência total do motor, $V_{nominal}$ é a tensão nominal de alimentação do motor e $\cos \theta$ o fator de potência.

A figura 11 também traz informações referentes a corrente de partida para tensão de 220V, a corrente máxima suportada pelo sistema é de até 48 A. No entanto, é importante ressaltar que o motor elétrico utilizado está abaixo da potência especificadas pela norma, NBR 5410, sendo possível fazer o acionamento de partida direta sem ocasionar perturbação na rede de distribuição. O motor deve obedecer as limitações das perturbações devidas à partida de motores, estabelecida por norma.

Para evitar perturbações inaceitáveis na rede de distribuição, na própria instalação e nas demais cargas ligadas, a instalação de motores deve-se:

3.1.1.1 observar as limitações impostas pela concessionária local referentes à partida de motores;

** NOTA – Para partida direta de motores com potência acima de 3,7 kW (5 CV), em instalações alimentadas por rede de distribuição pública em baixa tensão, deve ser consultada a concessionária local.*

3.1.1.2 limitar a queda de tensão nos demais pontos de utilização, durante a partida do motor, aos valores estipulados em 6.2.7.1.

3.1.2 Dimensionamento elétrico do disjuntor-motor

Com informações à respeito da corrente elétrica dimensionada na Seção 3.1.1 é possível realizar a seleção adequada do disjuntor-motor. Optou-se pelo modelo MPW18, que possui faixa de ajuste da corrente nominal entre 10 e 16 A, compatível com a corrente nominal máxima do motor da talha monofásica, de 10,56 A. Além disso, o disjuntor é dimensionado para motores com potência de até 5 CV (equivalente a 3,7 kW), operando em uma tensão de 220–240 V, o que reforça a adequação do modelo escolhido. Dessa forma, o MPW18 atende plenamente aos critérios de dimensionamento estabelecidos, garantindo uma proteção eficaz e segura para o motor.


O dispositivo requerido é termomagnético e é dimensionado para operar com correntes de até 18 A. Ele oferece proteção contra sobrecarga e curto-circuito em motores elétricos, como destacado na Figura 12.

O disjuntor-motor possui um disparador magnético fixo, configurado para atuar quando a corrente atinge aproximadamente 13 vezes a corrente nominal máxima do dispositivo, proporcionando proteção eficaz contra curto-circuitos. Além disso, é sensível à falta de fase, conforme os requisitos estabelecidos na norma IEC 60947-4-1, o que garante maior segurança na proteção de motores trifásicos.

O dispositivo também realiza compensação térmica em função da temperatura ambiente, assegurando a precisão da proteção térmica independentemente das variações externas. De acordo com a norma IEC 60947-2, o disjuntor pode ainda ser utilizado como chave seccionadora, cumprindo a função de desligamento geral do circuito de forma segura e confiável. Adicionalmente, o disjuntor apresenta características construtivas robustas, sendo adequado para aplicações industriais que demandam elevada confiabilidade na proteção e comando de motores elétricos.

Figura 12 – Informações técnicas do disjuntor-motor termomagnético selecionado.

Disjuntor-motor termomagnético MPW18 - proteção contra sobrecarga e curto-circuito

Tabela orientativa para seleção da proteção de motores trifásicos 60 Hz - 4 polos ¹⁾			Corrente nominal	Faixa de ajuste da corrente nominal	Disparo magnético instantâneo 13x In	Terminal parafuso		Peso
220-240 V	380-415 V	440-480 V	In (A)	In (A)	Im (A)	Referência	Código	kg
cv / kW	cv / kW	cv / kW						
-	-	-	0,16	0,1...0,16	2,08	MPW18-3-C016	12429311	0,28
-	-	-	0,25	0,16...0,25	3,25	MPW18-3-C025	12429312	
-	-	0,16 / 0,12	0,4	0,25...0,4	5,2	MPW18-3-D004	12429313	
-	0,16 / 0,12	0,25 / 0,18	0,63	0,4...0,63	8,2	MPW18-3-C063	12429315	
0,16 / 0,12	0,33 / 0,25	0,33 / 0,25	1	0,63...1	13	MPW18-3-U001	12429317	
0,33 / 0,25	0,5 / 0,37	1 / 0,75	1,6	1...1,6	20,8	MPW18-3-D016	12429368	
0,5 / 0,37	1 / 0,75	1,5 / 1,1	2,5	1,6...2,5	32,5	MPW18-3-D025	12429369	
1 / 0,75	2 / 1,5	2 / 1,5	4	2,5...4	52	MPW18-3-U004	12429370	
1,5 / 1,1	3 / 2,2	4 / 3	6,3	4...6,3	82	MPW18-3-D063	12429371	
3 / 2,2	6 / 4,5	7,5 / 5,5	10	6,3...10	130	MPW18-3-U010	12429372	
5 / 3,7	10 / 7,5	12,5 / 9,2	16	10...16	208	MPW18-3-U016	12429373	
6 / 4,5	10 / 7,5	12,5 / 9,2	18	12...18	234	MPW18-3-U018	12429374	

Fonte: Weg, 2025.

O disjuntor é autoprotegido contra curto-circuitos de até 6,3 A em 500 VCA. Além disso, o modelo termomagnético incorpora proteção contra sobrecarga e é classificado como Classe 10. Essa classificação refere-se à sua curva de disparo térmico, a qual define o tempo de atuação do disjuntor em casos de sobrecarga significativa, geralmente quando a corrente atinge cerca de 7,2 vezes a corrente nominal ($7,2 \times I_n$). Para a Classe 10, o tempo máximo de desligamento é de 10 segundos, o que assegura a proteção eficaz do motor sem comprometer seu funcionamento durante partidas normais. A Figura 13, é ilustrado o dispositivo de proteção.

Figura 13 – Disjuntor-motor selecionado.



Fonte: Weg, 2025.

3.1.3 Dimensionamento elétrico dos condutores e eletrodutos

Com o dimensionamento elétrico do disjuntor-motor na Seção 3.1.2, precisa-se analisar e avaliar os parâmetros físicos referente ao cabeamento da rede para a corrente elétrica suportável pelo circuito de potência juntamente com a demanda de partida do motor elétrico do elevador. Assim, a norma NBR 5410 prever alguns dos métodos de referência para instalação.

Nos indicados na IEC 364-5-523, para os quais a capacidade de condução de corrente foi determinada por ensaio ou por cálculo. São eles:

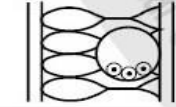
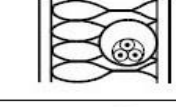
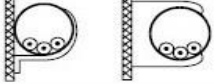
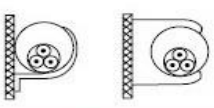
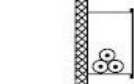
- 3.1.3.1 *A1 - condutores isolados em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;*
- 3.1.3.2 *A2 - cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante;*
- 3.1.3.3 *B1 - condutores isolados em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;*
- 3.1.3.4 *B2 - cabo multipolar em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira;*

A seleção dos cabos para instalação dos eletrodutos seguiram os métodos B1 e B2. O eletroduto, independentemente de ser metálico ou de plástico, é fixado sobre uma parede de madeira, garantindo que a distância entre o eletroduto e a superfície da parede não exceda 30% do seu diâmetro externo. O esquemático para o método de instalação é descrito pela Figura 14 como destacado em vermelho.

O perfil dos cabos controle utilizado é descrito para: tensões de até 0,5/1 kV e é formado por fios de cobre (Cu) nu, eletrolítico, têmpera mole, com encordoamento nas Classes 4 e 5

flexível. Ele é isolado com policloreto de vinila (PVC) tipo PVC/A, projetado para suportar até 70 °C, e também possui uma cobertura de PVC tipo ST1, ambos sendo antichama (classificação BWF-B).

Figura 14 – Metodos de instalações elétricas.

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ¹⁾
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado da mesma ³⁾	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado da mesma ³⁾	B2
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não circular sobre parede	B1

Fonte: ABNT NBR 5410, 1997.

As normas básicas aplicáveis incluem a NBR 7289 da ABNT, que estabelece os requisitos para cabos de controle com isolamento extrudado de PE ou PVC para tensões de até 1 kV, além de requisitos de desempenho, formação do condutor e resistência elétrica, conforme a NBR NM-280 da ABNT/Mercosul, como indicado na Figura 15. É relevante destacar que a escolha do cabo multipolar foi motivada por sua excelente relação custo-benefício e pela facilidade de instalação, já que ele reúne múltiplas vias em um único condutor. Além disso, esse tipo de cabo apresenta capacidade de suportar correntes elétricas elevadas, o que reforça sua adequação à aplicação proposta. Com base nas exigências do sistema, conforme identificado no desenho esquemático, optou-se por um cabo com 10 vias. Essa escolha atende à necessidade de múltiplas entradas e saídas nos dispositivos de comando, que requerem ligações independentes para garantir precisão e confiabilidade na operação do sistema.

Figura 15 – Seleção do cabeamento utilizado para os eletrodutos.



Fonte: COBRECOM, 2024.

Além da seleção dos cabeamentos, é necessário calcular a área da seção transversal dos cabos para levar em consideração a capacidade de condução de corrente máxima suportada com os métodos de referência. No entanto, ao calcular a área da seção de todos cabos, precisa-se levar em consideração ambiente de local com relação à temperatura média. No estado de Pernambuco, no Cabo de Santo Agostinho, a variação de temperatura média para a Zona da Mata é 28°C podendo atingir a 35°C (APAC, 2024), sendo considerado a temperatura de 35°C para dimensionamento dos condutores e definição da faixa do fator de correção de 0,94 para isolamento PVC temperatura como destacado na Figura 16.

Figura 16 – Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não subterrâneas e de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas.

Temperatura (°C)	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Fonte: ABNT NBR 5410, 1997.

As seções mínimas dos condutores selecionadas, de acordo com o normativo da NBR 5410, são descritas para os circuitos de força de 2,5 mm² (material de cobre) de área transversal circular e para os circuitos de sinalização e circuitos de controle de 0,5 mm² (material cobre)

para os tipos de instalação fixa em geral com cabeamento isolado, como indicados na Figura 17.

Figura 17 – Seções mínimas dos condutores.

Tipo de instalação		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor (mm ²) - material
Instalações fixas em geral	Cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuito de força	2,5 Cu
			16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu
	Condutores nus	Circuitos de força	10 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Ligações flexíveis feitas com cabos isolados		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu
		Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu

Fonte: ABNT NBR 5410, 1997.

A norma técnica da NBR 5410 estabelece para 2 e/ou 3 unidades de condutores carregadas máximo permitido pela capacidade de condução de corrente elétrica para 24 Ampere no método de instalação B1 e 23 Amperes máximos para B2 com seção nominal de área transversal de 2,5 mm² para o circuito de potência. Já para capacidade de condução de corrente elétrica de 9 Amperes para ambos os métodos de instalação B1 e B2 com área seção transversal de 0,5 mm² para o circuito de controle como descrito para Figura 18. Além disso, um condutor com seção nominal dos cabos de 6 mm² com 6 condutores com isolação e capa de diâmetros 0,6 e 1,1 em milímetros, respectivamente foi selecionado para interconexão do sistema de controle.

Figura 18 – Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D.

Seções nominais mm ²	Métodos de instalação definidos na tabela 28											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52

Fonte: ABNT NBR 5410,1997.

As Tabelas 4 e 5 apresentam descrições técnicas gerais com base em cálculo já dimensionado e calculado previamente e em descrições técnicas baseadas na seleção, escolha e análise dos parâmetros físicos dos condutores elétricos pelas decisões normativa da NBR 5410.

Tabela 4 – Informações descritivas nominais do dimensionamento elétrico geral elevador.

Descrição do Circuito	Fator de Potência	Carga Total [W]	Carga Total [VA]	Tensão [V]	Corrente nominal [A]
Comado	0,71	1650	2324	220	10,56
Força	0,71	1650	2324	220	10,56

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Na Tabela 5, a corrente de projeto (IP) máxima pode alcançar 23A (com segurança do projeto do circuito de potência) e uma corrente de curto-circuito (CC) de 21,62 A. As seções dos condutores de fase e neutro para 2,5 mm² e aterramento para 2,5 mm² com fator de agrupamento de 1,0 e fator de correção de temperatura para 0,94.

Tabela 5 – Informações descritivas das características elétricas dos eletrodutos.

Fator de agrupamento	Fator de correção de temperatura para 35°C	Corrente IP [A]	Corrente CC [A]	Condutor [mm ²] Fase e Neutro	Condutor [mm ²] Aterramento
1	0,94	13	12,22	1	-
1	0,94	23	21,62	2,5	2,5

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Já no circuito de comando a corrente elétrica de projeto (IP) máxima permitida é 13 A (para funcionamento com segurança do projeto) e corrente de curto-circuito de 12,22A, utilizando a seção transversal dos condutores de 1 mm² para fase e neutro. Por fim, a escolha dos eletrodutos dimensionados levou-se em consideração a seção transversal circular em polegadas com diâmetros milímetros e a área total em milímetros quadrados na Tabela 6.

Tabela 5 – Parâmetros físicos dos eletrodutos dimensionados.

Eletroduto Diâmetro [pol]	Eletroduto Diâmetro [mm ²]	Área total [mm ²]	Área de ocupável 40% [mm ²]
3/4"	19,05	285,02	114,01
1"	25,4	506,71	202,68
1.1/4"	31,75	791,73	316,69
1.1/2"	38,1	1140,09	456,04
2"	50,8	2026,83	810,73
3"	76,2	4560,37	1824,15
4"	101,6	8107,32	3242,93

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Foram selecionados os tamanhos dos diâmetros dos eletrodutos dispostos na Tabela 6 obedecendo a normativa do NBR 5410 para 40% da área reservada à ocupação dos condutores (calculadas em mm²). Com base nessas informações e nos diâmetros dos cabos elétricos para o sistema de comando e força selecionados, conforme apresentado na Figura 19 e na Figura 20, foi possível realizar a escolha do eletroduto, conforme apresentado no Quadro 1, considerando a quantidade de cabos selecionados e a taxa de ocupação do eletroduto conforme estabelecido pela norma, foi realizado o cálculo da área ocupada pelos condutores, dimensionando-se o eletroduto com base na ocupação máxima permitida.

Figura 19 – Diâmetro do cabo de controle multipolar de 10 vias

SEÇÃO NOMINAL (mm²)	CÓDIGO DO PRODUTO	N.º DE COND.	DIÂMETRO DO CONDUTOR (mm)	ESPESSURA		DIÂMETRO EXTERNO (mm)	PESO LÍQUIDO (kg/100 m)	LANÇE MÍNIMO FABRICAÇÃO (m)	ACOND.
				ISOLAÇÃO (mm)	COBERTURA (mm)				
0,5	302.01	2	0,90	0,6	1,0	6,3	5,2	3.000	
	303.01	3			1,0	6,6	6,0	3.000	
	304.01	4			1,0	7,2	7,1	3.000	
	305.01	5			1,0	7,8	8,3	3.000	
	306.01	6			1,0	8,5	9,6	3.000	
	307.01	7			1,0	9,3	10,4	3.000	
	308.01	8			1,1	9,4	12,2	2.500	
	310.01	10			1,1	10,6	14,6	2.500	
	312.01	12			1,1	10,9	16,6	2.000	
	316.01	16			1,2	12,5	21,3	2.000	
	320.01	20			1,2	13,9	25,8	1.500	
	325.01	25			1,3	15,5	33,3	1.500	
	330.01	30			1,3	16,4	39,3	1.500	
1,0	302.03	2	1,3	0,6	1,0	7,0	7,0	3.000	
	303.03	3			1,0	7,4	8,4	3.000	
	304.03	4			1,0	8,0	10,1	3.000	
	305.03	5			1,0	8,8	12,0	3.000	
	306.03	6			1,1	9,7	14,2	3.000	
	307.03	7			1,1	10,7	15,7	3.000	
	308.03	8			1,1	10,8	17,9	2.500	
	310.03	10			1,2	12,8	22,0	2.000	
	312.03	12			1,2	12,8	25,3	2.000	
	316.03	16			1,2	14,2	32,0	1.500	
	320.03	20			1,3	16,0	40,0	1.500	
	325.03	25			1,3	18,6	48,1	1.000	
	330.03	30			1,3	19,5	57,8	1.500	

Fonte: COBRECOM, 2024.

Figura 20 – Diâmetro do cabo do sistema de força

SEÇÃO NOMINAL (mm²)	CÓDIGO DO PRODUTO	CLASSE ENCOR.	DIÂMETRO DO CONDUTOR (mm)	ESPESSURA DA ISOLAÇÃO (mm)	DIÂMETRO EXTERNO (mm)	PESO LÍQUIDO (kg/100 m)	RESISTÊNCIA ELÉTRICA MÁX. Ω/km a 20 °C	ACOND.
1,5	119.04	C4 / C5	1,5	0,7	2,9	2,0	13,30	
2,5	119.05	C4 / C5	1,9	0,8	3,5	3,0	7,98	
4,0	119.06	C4 / C5	2,5	0,8	4,1	4,5	4,95	
6,0	119.07	C4 / C5	3,0	0,8	4,6	6,2	3,30	

Fonte: COBRECOM, 2024.

Quadro 1 - Dimensionamento do eletroduto

CONDITORES ANTICHAMA PVC 70°C CLASSE 5					DIÂMETRO DO ELETRODUTO RECOMENDADO POR NORMA Eletroduto de 3/4"
Cabo mm²	Quantidade de Cabos	Diâmetro Externo (mm)	Área do condutor mm²	Área ocupável do condutor mm²	
1*10	1	12,8	128,68	128,68	
2,5	3	3,5	9,62	28,86	
4,0		4,0	12,57	0,00	
Área TOTAL ----->				28,86	

Fonte: Elaborado pela própria autora.

3.2 ESTUDO VIA SIMULAÇÃO DOS PROJETOS ELÉTRICOS

Após o dimensionamento dos principais componentes elétricos, foi realizada, no *software* CADe_SIMU, a esquematização do funcionamento e a simulação do projeto elétrico. Nessa etapa, elabora-se a montagem do esquema de controle que será utilizado na caixa de comando, bem como o sistema de força correspondente.

O CADe_SIMU é um *software* educacional gratuito, desenvolvido para a criação, simulação e análise de diagramas de comandos elétricos, sendo amplamente utilizado em cursos técnicos e de engenharia. Sua principal função é possibilitar o desenvolvimento de circuitos elétricos em um ambiente virtual, por meio de uma interface gráfica acessível e intuitiva, sem a necessidade de montagem física ou uso de equipamentos reais. O programa utiliza simbologia técnica padronizada, proporcionando uma experiência próxima da prática profissional, pois a simulação pode ser acompanhada em tempo real, permitindo a visualização gráfica detalhada do comportamento do projeto em operação antes de sua implementação física (Guimarães, 2018).

3.2.1 Caso 1 - Projeto elétrico 1 “piloto” do elevador

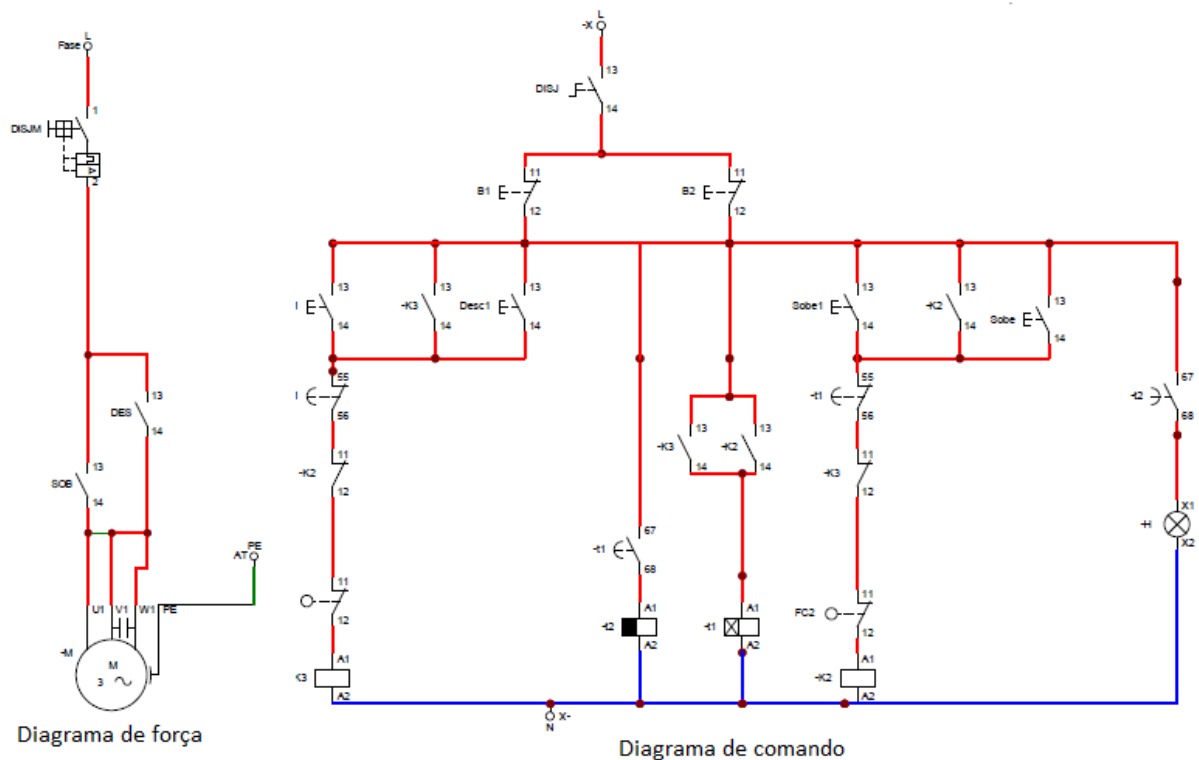
A primeira versão do circuito de controle foi desenvolvida com o objetivo de automatizar o sistema de acionamento do elevador de carga no galpão de peças eletrônicas. Utilizando o simulador CADe_SIMU, elaborou-se a esquematização elétrica do projeto, permitindo o acompanhamento do funcionamento em tempo real. Essa simulação possibilitou a análise do desempenho do sistema, verificando se sua operação estaria de acordo com os requisitos e necessidades do cliente.

A esquematização do circuito, desenvolvida na plataforma do *software* CADe_SIMU, foi orientada pelos conhecimentos adquiridos ao longo das disciplinas do curso. Essa base teórica permitiu identificar e dimensionar corretamente os dispositivos essenciais para a automação do sistema, especificamente no controle de subida e descida do elevador de carga. O projeto foi concebido para assegurar que o equipamento realizasse o transporte de mercadorias realizando paradas precisas nos níveis determinados, prevenindo falhas de operação que pudessem comprometer a integridade física do elevador e garantir a segurança do processo.

No circuito esquemático, foram integrados diversos componentes elétricos, criteriosamente selecionados para garantir o funcionamento seguro e eficiente do sistema. Entre os principais dispositivos utilizados, destacam-se: um disjuntor monofásico (DISJ) para proteção geral do circuito, um disjuntor motor monofásico para proteção específica do

motor, duas botoeiras de retenção para controle de parada de emergência, quatro botoeiras de impulso para comandos momentâneos de descida e subida do elevador, e dois contatores identificadas como DESCE e SOBE, responsáveis pelo acionamento do motor. Também foram empregados dois sensores de fim de curso com haste e retorno por mola (FC1 e FC2), para a limitação de deslocamento vertical do elevador. O controle temporal do sistema foi realizado com o uso de dois temporizadores T1 (modo *on-delay*) e T2 (modo *off-delay*) que coordenam os intervalos de operação com precisão. Para sinalização visual, utilizou-se uma sinaleira por LED (H), além de contatos auxiliares para intertravamentos e lógicas de segurança no circuito de controle como mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Esquemático “piloto” do projeto 1.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Na Figura 21, o dispositivo elétrico identificado como DISJ corresponde ao disjuntor monofásico, responsável por realizar a energização e a proteção do circuito de comando. Em seguida, observam-se duas botoeiras de retenção ligadas em série, que funcionam como botões de emergência. Em caso de falha no sistema, basta que o operador pressione uma delas para que o desligamento imediato do circuito seja realizado. Foram utilizadas duas botoeiras representadas por B1 e B2 com essa finalidade: uma instalada no painel de acionamento no térreo e outra no pavimento superior, garantindo que a parada de emergência pudesse ser

acionada de qualquer um dos níveis. Além disso, enquanto qualquer uma das botoeiras estiver pressionada, o sistema permanecerá inoperante, assegurando a integridade do processo e a segurança dos operadores.

Após a saída do contato da botoeira B2, encontram-se duas botoeiras de impulso, representadas por DES1 e Desc1, conectadas em paralelo com o contato auxiliar do contator K3, o qual atua como contato de selo. Como as botoeiras de impulso não mantêm o contato fechado após serem pressionadas, torna-se necessária a utilização desse contato de auxiliar selo, que assegura a continuidade da alimentação do circuito mesmo após o acionamento momentâneo da botoeira. Dessa forma, o contato auxiliar de K3 mantém o circuito energizado até que ocorra sua desativação.

Em série com as botoeiras de impulso, há um contato normalmente fechado do relé temporizado no modo *off-delay*, representado por t1, o qual somente altera o estado de seus contatos após o desligamento do relé. A utilização desse contato auxiliar t1 tem como finalidade garantir o desligamento do motor responsável pelo movimento do elevador, caso ocorra falha em algum dos fins de curso, após o tempo estabelecido como necessário para realiza o transporte entre os andares e para que o contato auxiliar normalmente aberto de t1 permita a energização da bobina do relé temporizado no modo *on-delay*, representado por t2. Uma vez energizada, a bobina de t2 inicia a contagem de um intervalo de 30 segundos e, simultaneamente, realiza o fechamento de seu contato auxiliar normalmente aberto t2, esse contato energiza um led vermelho que fica piscando, indicando a presença de falha no sistema que está sendo representado por H no diagrama elétrico. Assim, apenas o sistema de alarme permanece operando, o que contribui significativamente para a segurança operacional do elevador.

Em sequência do circuito, em série com o contato auxiliar de t1, encontra-se um contato normalmente fechado do contator K2, que atua como intertravamento do sistema. Isso significa que, caso o elevador esteja em operação realizando o movimento de descida entre os níveis e ocorra o acionamento da botoeira de subida, o motor não será ativado para este novo comando. O mesmo se aplica ao sentido inverso: no circuito de subida, existe um contato normalmente fechado do contator K3, que impede o acionamento do motor no sentido de descida, caso o comando de subida esteja ativo. Esse mecanismo é possível porque, enquanto as bobinas dos contadores K2 ou K3 estiverem desenergizadas, seus respectivos contatos de intertravamento permanecem fechados. Contudo, ao serem energizadas, esses contatos normalmente fechados se abrem, impedindo a ativação simultânea dos dois comandos. Por

esse motivo, tais dispositivos são denominados contatos de intertravamento, sendo fundamentais para garantir a segurança e o funcionamento adequado do sistema.

Em sequência ao contato normalmente fechado de K2, encontra-se o FC1, um fim de curso responsável por interromper o funcionamento do elevador ao atingir o nível programado. Após o acionamento do comando de descida, enquanto o contato de FC1 permanecer fechado, o elevador continuará em operação. No entanto, ao atingir o nível mínimo desejado, o contato será aberto, interrompendo o circuito que alimenta a bobina do contator K3, responsável pelo acionamento do motor no sentido de descida, o que resultará na parada automática do elevador no ponto previamente estabelecido.

O funcionamento do comando de subida é semelhante ao do comando de descida, uma vez que utilizam-se dispositivos idênticos. Há duas botoeiras responsáveis pelo acionamento da subida do elevador, representadas por Sobe1 e Sobe. Também há um contato auxiliar normalmente aberto, representado por K2, que atua como contato de selo para a alimentação do circuito. Além disso, existe um contato auxiliar normalmente aberto do temporizador t1, cuja função é equivalente àquele presente no circuito de descida: realizar o desligamento do motor após o tempo previamente determinado e acionar o sistema de alarme. Esse acionamento é realizado por meio do contato auxiliar de t1, o qual energiza a bobina do temporizador t2 e conseqüentemente alimenta o circuito de alarme.

Há ainda um contato auxiliar normalmente fechado de K3, que atua como intertravamento, de forma semelhante ao contato auxiliar normalmente fechado de K2. Na sequência, encontra-se o fim de curso de nível alto, representado por FC2, cuja função é interromper o deslocamento do elevador ao atingir o pavimento superior no nível pré-estabelecido. Por fim, após o acionamento do fim de curso, ocorre a energização da bobina do contator K2, a qual realiza o acionamento do motor, possibilitando o movimento de subida.

Para garantir o funcionamento integral do elevador, foi elaborada e implementada a lógica do diagrama de força, estruturada com base em uma alimentação monofásica de 220 V. Essa tensão é responsável por energizar o disjuntor motor identificado no circuito de força como DISJM cuja função principal é proporcionar proteção ao motor. Após o ponto de saída do disjuntor, inserem-se dois contatos auxiliares normalmente abertos, projetados para operar conforme a direção de deslocamento desejada subida ou descida. Cada um desses contatos está diretamente vinculado ao acionamento de um contator específico, os quais comandam o funcionamento do motor elétrico.

Uma vez acionado o contator correspondente, inicia-se o processo de locomoção vertical do elevador, que se movimenta de forma automática e precisa até alcançar o ponto de

parada previamente determinado no sistema. Nos casos subsequentes especificamente os Casos 2 e 3 o diagrama de força manteve-se inalterado, evidenciando que o sistema de acionamento já estava plenamente adequado à exigência funcional de partida do motor, não sendo necessárias alterações em seu circuito elétrico.

3.2.2 Dificuldades identificadas que levaram à necessidade de modificações no diagrama elétrico

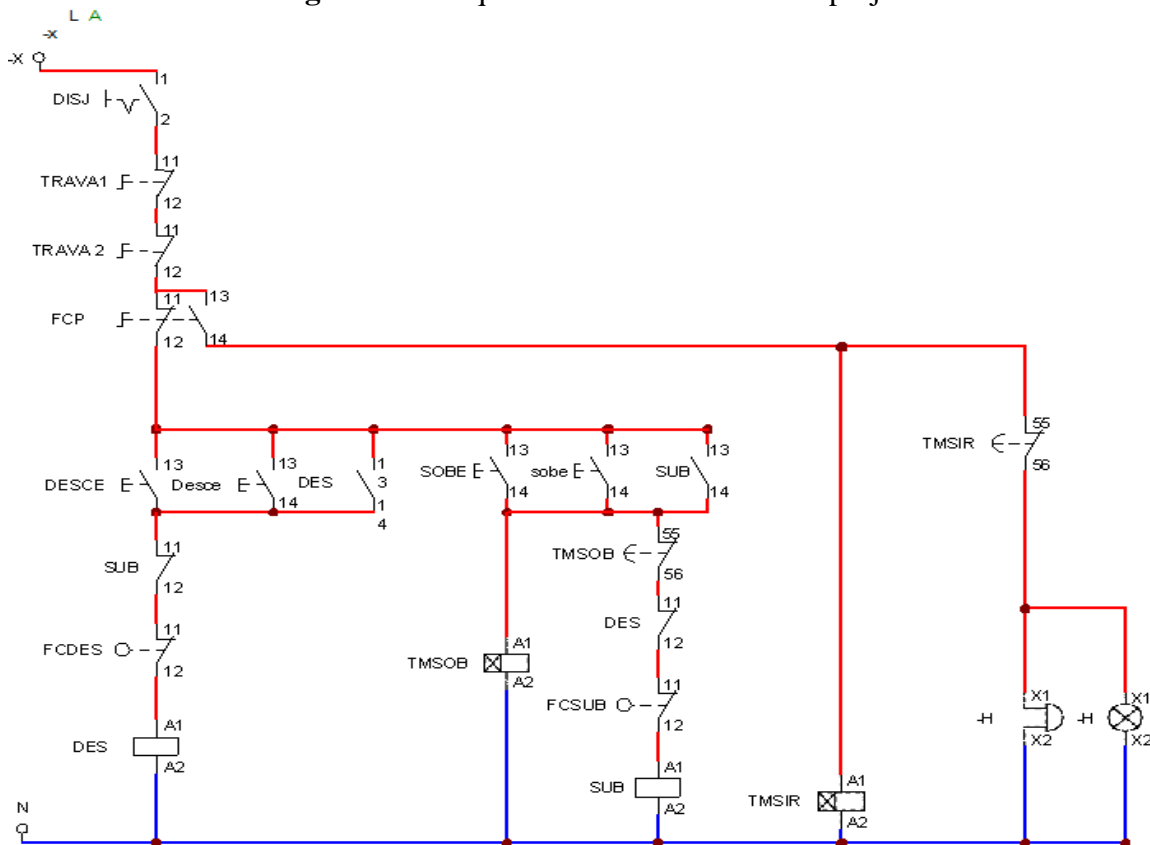
Após realizar testes de acionamento manual no local, ou seja, apenas partida direta, e cronometrar o tempo de operação de descida e subida, constatou-se que o elevador levava mais tempo na subida do que na descida. Dessa forma, não seria possível utilizar o mesmo temporizador t1 para realizar a contagem do tempo tanto na subida quanto na descida e, após atingir esse tempo determinado, desligar o motor. Isso ocorre porque os tempos são divergentes, ou seja, é necessário determinar um tempo de contagem específico para a descida e outro, maior, para a subida.

Outra dificuldade observada foi que, após o acionamento e posterior desligamento do sistema de alarme, o mesmo operador ou até mesmo outro que não tivesse conhecimento da falha no sistema do elevador poderia realizar um novo acionamento, sem que houvesse qualquer intervenção técnica para identificar a causa da falha ou realizar a devida manutenção. Essa situação compromete a integridade do funcionamento do equipamento e representa um potencial risco à segurança dos operadores responsáveis pelo manuseio do sistema.

3.2.3 Caso 2 - Projeto elétrico 2 intermediário do elevador

A partir do Projeto 1, que representou a proposta inicial, algumas modificações foram necessárias para adequação às condições reais de funcionamento. Durante a execução, identificaram-se variáveis que não estavam previstas, conforme descrito na Seção 3.2.2. Diante disso, foram realizadas alterações no diagrama de comando, com o objetivo de solucionar as dificuldades encontradas e atender de forma mais eficaz às necessidades do cliente como mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Esquemático intermediário do projeto 2.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Nessa segunda versão, tem-se o disjuntor monofásico responsável por realizar a energização e a proteção do circuito de comando, representado por DISJ. Posterior a ele, está o sistema de parada de emergência, composto por duas botoeiras de retenção conectadas em série, as quais funcionam como dispositivos de segurança. Em situações de falhas ou necessidade de interrupção imediata, o acionamento de qualquer uma dessas botoeiras promove o desligamento completo do circuito de comando, as botoeiras, estão identificadas como TRAVA 1 e TRAVA 2, instaladas no painel de controle localizado no pavimento térreo e no pavimento superior, respetivamente. Essa disposição garante que a parada de emergência possa ser acionada de qualquer ponto de operação do sistema, atendendo aos requisitos do cliente. Uma observação importante em relação ao sistema de acionamento de emergência é que, enquanto uma das botoeiras permanecer pressionada, o sistema continuará inoperante, impedindo o acionamento do motor ou de qualquer outro componente do circuito. Essa funcionalidade garante a integridade do processo, prevenindo acidentes e contribuindo para a segurança dos operadores durante o manuseio e a manutenção do equipamento.

Na sequência do circuito, a partir da saída da botoeira TRAVA 2, foi adicionado um fim de curso sem retorno por mola (FCP), instalado como limite superior de segurança. Esse

dispositivo foi posicionado no ponto mais alto que o elevador pode atingir, a fim de evitar colisões com a estrutura de sustentação. O FCP possui dois contatos: um normalmente aberto (NA) e outro normalmente fechado (NF). Sua função principal é atuar como um sistema de segurança de retaguarda, caso ocorra falha simultânea nos dispositivos de parada principais o fim de curso de subida (FCSUB) e o temporizador de subida TMSOB.

Se tanto o fim de curso de subida (FCSUB) quanto o temporizador TMSOB falharem, o contato NF do FCP será acionado quando o elevador atingir o seu rolete de acionamento. Nesse momento, o contato NF mudará de estado para aberto, interrompendo a alimentação do motor e desenergizando o restante do circuito, realizando o desligamento geral do sistema de comando. Simultaneamente, o contato NA do FCP se fechará, promovendo o acionamento do sistema de alarme.

Esse sistema de alarme é composto por um relé temporizado no modo *on-delay*, representado por TMSIR, cuja bobina é energizada pelo fechamento do contato NA do FCP. Uma vez energizada, a bobina do relé inicia a contagem de um intervalo de 30 segundos, durante o qual, o contato auxiliar NF de TMSIR permanece fechado. Nesse intervalo, um LED vermelho intermitente é acionado juntamente com um sinalizador sonoro, indicando falha crítica no sistema.

Após a ocorrência dessa condição de falha, o sistema permanecerá inoperante até que o FCP retorne à sua posição inicial, o que só deve ser realizado após inspeção técnica apropriada. Para que a operação do elevador seja restabelecida, é indispensável a intervenção da equipe de manutenção, visto que se trata de uma falha crítica. A inoperância sequencial de dois dispositivos de parada compromete diretamente a segurança dos operadores e a integridade do equipamento, sendo, portanto, inaceitável qualquer tentativa de reinício do sistema sem a devida verificação e liberação por pessoal qualificado.

Na sequência do circuito, partindo da saída do contato normalmente fechado do FCP, desenvolve-se a lógica de comando para os movimentos de subida e descida do elevador. Essa lógica é composta por botoeiras de impulso identificadas como “Desce e DESCE” e “Sobe e SOBE”. Ao acionar a botoeira correspondente, inicia-se o comando que faz o elevador subir ou descer. Contudo, por se tratarem de botoeiras de impulso que mantêm o circuito energizado apenas enquanto estão pressionadas é necessário inserir um contato auxiliar normalmente aberto, que normalmente é chamado de contato selo. Esse contato pertence aos contatores responsáveis pelo acionamento do motor, representados por DES (para descida) e SUB (para subida) no diagrama elétrico. Ele garante a manutenção da energização do circuito mesmo após a liberação da botoeira.

Adicionalmente, na saída da botoeira “Desce”, encontra-se um contato auxiliar normalmente fechado, representado por SOB. Esse contato desempenha a função de intertravamento, uma vez que pertence ao contator que comanda a subida do elevador. Dessa forma, enquanto o motor estiver executando a descida, o circuito impedirá a ativação simultânea da subida, evitando conflitos operacionais. O mesmo princípio se aplica ao sentido oposto: caso o elevador esteja subindo e ocorra uma solicitação de descida, o sistema também impedirá esse comando, pois o contato de intertravamento permanecerá aberto enquanto o contator estiver energizado. Essa lógica assegura que os comandos de subida e descida não possam ser acionados simultaneamente, proporcionando maior segurança e eficiência ao sistema.

Após a saída do contato de intertravamento da descida, representado por SUB, encontra-se o contato normalmente fechado do fim de curso com retorno por mola, identificado como FCDES, conforme mostrado no diagrama elétrico. Esse contato é posicionado no nível mínimo em que o elevador deve parar. Quando o elevador atinge esse ponto, o contato FCDES é acionado, promovendo sua abertura e, conseqüentemente, interrompendo a energização da bobina do contator responsável pelo comando de descida (DES). Isso ocorre porque a bobina do contator está conectada em série com o contato de fim de curso FCDES. Assim, ao ser aberto, o contato impede a continuidade da corrente elétrica, provocando o desligamento do motor e, portanto, a parada do elevador no ponto determinado.

Em paralelo ao sistema de descida, tem-se o circuito de subida, cuja parte inicial onde estão localizadas as botoeiras de impulso e o contato auxiliar de selo segue o mesmo princípio de funcionamento do comando de descida, conforme explicado anteriormente. Nessa etapa, o acionamento ocorre da mesma forma, e a utilização do contato de selo justifica-se pela necessidade de manter o circuito energizado mesmo após a liberação da botoeira de impulso.

Na etapa seguinte do circuito de subida, na saída das botoeiras de impulso, há duas linhas de circuito em paralelo. Uma delas alimenta o contato auxiliar normalmente fechado do temporizador TMSOB, o qual permanecerá fechado até o término do tempo configurado na bobina do temporizador, que opera no modo on-delay, representado por TMSOB.

Na saída do contato auxiliar do temporizador, encontra-se o contato de intertravamento representado por DES, que possui a mesma funcionalidade do intertravamento descrito anteriormente no caso do comando de descida. Esse contato impede o acionamento simultâneo dos dois sentidos de movimento, garantindo a segurança e o funcionamento adequado do sistema. Na etapa seguinte do circuito de subida, na saída das botoeiras de impulso, há duas linhas de circuito em paralelo. Uma delas alimenta o contato

auxiliar normalmente fechado do temporizador TMSOB, o qual permanecerá fechado até o término do tempo configurado na bobina do temporizador, que opera no modo *on-delay*, representado por TMSOB. Na saída do contato auxiliar do temporizador, encontra-se o contato de intertravamento representado por DES, que possui a mesma funcionalidade do intertravamento descrito anteriormente no caso do comando de descida. Esse contato impede o acionamento simultâneo dos dois sentidos de movimento.

Posteriormente ao contato de intertravamento, encontra-se o contato normalmente fechado do fim de curso com retorno por mola, representado por FCSUB. Esse fim de curso é posicionado no ponto superior em que se deseja que o elevador pare. Ao atingir esse fim de curso, seu contato é aberto, interrompendo a continuidade de alimentação do circuito. Na etapa seguinte, está localizada a bobina do contator representada por SUB que é responsável pelo acionamento do motor que executa o movimento de subida. Dessa forma, ao ocorrer a abertura do contato do fim de curso, a bobina deixa de ser energizada, promovendo o desligamento do motor e, conseqüentemente, a parada do elevador no nível desejado.

Em paralelo ao sistema de comutação da bobina do contator SUB, ocorre a alimentação da bobina do temporizador TMSOB do tipo *on-delay*. Esse temporizador permanece com seu contato auxiliar normalmente aberto até que o tempo previamente ajustado seja atingido. Ao final desse intervalo de tempo, o contato auxiliar TMSOB se fecha, promovendo a interrupção da continuidade do circuito que alimenta a bobina do contator SUB. O tempo configurado no temporizador foi definido como uma medida de segurança: caso ocorra uma falha no acionamento do fim de curso FCSUB, o contato auxiliar do temporizador TMSOB) será responsável por desligar o motor, promovendo a parada do elevador e impedindo que este ultrapasse o limite superior estabelecido. Esse desligamento funciona como um sistema de segurança de retaguarda, oferecendo uma camada adicional de proteção contra falhas no controle de parada.

3.2.4 Obstáculos encontrados que resultaram em ajustes no diagrama elétrico

Com uma nova versão do projeto concluída, procedeu-se à realização de uma visita técnica ao local de instalação, com a participação do cliente, para apresentar o diagrama elaborado e discutir, presencialmente, as soluções propostas para os desafios técnicos observados no projeto 1. Durante a visita, foram coletadas novas sugestões e necessidades operacionais adicionais, o que exigiu a revisão e a modificação do projeto 2 proposto. Dentre as alterações solicitadas, destacam-se a necessidade de implementar um sistema de segurança para garantir a parada do elevador no nível térreo, em caso de falha do fim de curso inferior

(FCDES), e a inclusão de um sistema de sinalização visual que indicasse o funcionamento do elevador.

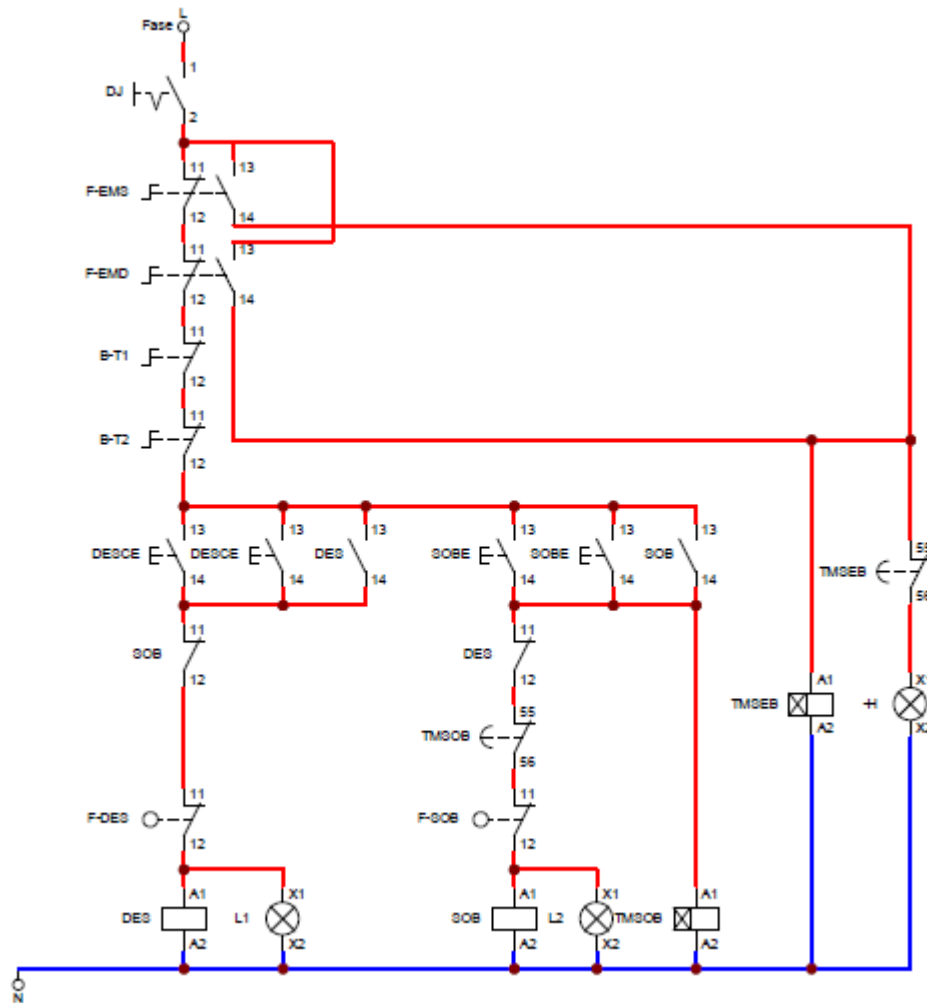
3.2.5 Caso 3 - Projeto elétrico 3 Projeto final do elevador

De acordo com as necessidades e sugestões apresentadas pelo cliente, conforme descrito no Tópico 3.2.4, as modificações propostas foram incorporadas ao circuito com o objetivo de aprimorar a confiabilidade operacional e aumentar a segurança do equipamento. Entre as principais alterações implementadas, destacam-se a inclusão de um sistema redundante de parada no nível térreo, por meio de um segundo fim de curso sem retorno por mola, e a adição de uma sinalização luminosa no painel de controle para indicar o status de funcionamento do elevador.

Essas melhorias foram fundamentais para garantir que, em caso de falha no fim de curso inferior principal, o sistema não continuasse operando de forma insegura. Além disso, a presença de uma indicação visual de operação permite aos usuários e operadores identificar, de forma clara e imediata, quando o elevador está em movimento, contribuindo para a prevenção de acidentes e falhas humanas durante o uso do equipamento.

As alterações foram previamente testadas em ambiente simulado utilizando o software CAdE_SIMU, permitindo validar a lógica de controle antes da aplicação prática, o que reduziu o risco de retrabalho e garantiu maior assertividade na instalação final. Conforme mostrado na Figura 23.

Figura 23 – Esquemático final projeto 3.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Nesta terceira versão, estão incluídos tanto o diagrama de comando quanto o diagrama de força, compondo a estrutura completa do sistema. No diagrama de comando a alimentação do circuito é sinalizada por L para Fase e N para o Neutro.

No diagrama de comando elétrico, a alimentação é estabelecida através de uma fase de 220V, a qual está conectada a um disjuntor monofásico (identificado no diagrama pela sigla DJ). Esse componente atua como o principal dispositivo de proteção e seccionamento do circuito de comando, sendo responsável por interromper a alimentação elétrica em situações de sobrecarga ou curto-circuito. Além disso, permite o acionamento controlado do sistema, garantindo maior segurança nas operações de energização e desenergização do equipamento.

Na sequência do circuito elétrico, após a saída do disjuntor de proteção, é integrado um dispositivo eletromecânico de segurança do tipo fim de curso sem retorno por mola, identificado como F-EMD. Este foi estrategicamente posicionado no ponto mais baixo

acessível pelo sistema de transporte vertical, funcionando como limite inferior de segurança. Seu objetivo é evitar colisões da estrutura móvel com a base do fosso, caso ocorra falha nos dispositivos de parada primários.

Complementarmente, implementa-se um segundo fim de curso sem retorno por mola, identificado como F-EMS, instalado no ponto mais alto do percurso vertical do elevador. Este dispositivo atua como limite superior de segurança, prevenindo impactos com a parte superior da estrutura de sustentação. O F-EMS funciona como redundância ao fim de curso de subida (F-SOB) e ao temporizador de segurança (TMSOB), sendo acionado somente em casos de falha simultânea desses dispositivos primários.

Com o intuito de ampliar ainda mais a segurança do sistema, ambos os fins de curso de segurança (F-EMS e F-EMD) estão integrados a um sistema de alarme. Esses dispositivos, de natureza eletromecânica, são equipados com dois contatos: um NF e um NA. Quando ocorre a falha dos dispositivos primários e os fins de curso de segurança são acionados, o fechamento do contato NA energiza a bobina de um relé temporizado, identificado como TMSEB, configurado no modo *on-delay* (retardo na energização).

Uma vez energizado, o relé TMSEB inicia uma contagem de tempo programada de 30 segundos, durante a qual um contato auxiliar normalmente fechado permanece em condução, possibilitando o acionamento de um módulo audiovisual de alarme. Este módulo é composto por um LED vermelho intermitente e um sinalizador sonoro de alta intensidade, ambos projetados para alertar operadores e técnicos quanto à ocorrência de uma falha crítica no sistema.

A implementação desse mecanismo visa assegurar que qualquer condição anormal seja imediatamente perceptível, prevenindo a continuidade da operação sob risco. A existência de dois níveis independentes de redundância, sensores de fim de curso e alarme temporizado confere elevada confiabilidade ao sistema, atendendo a solicitação do cliente.

O restabelecimento do funcionamento do elevador após o acionamento do sistema de alarme depende, obrigatoriamente, da intervenção de uma equipe técnica qualificada. A retomada da operação somente deve ocorrer após inspeção minuciosa, reposicionamento dos dispositivos de fim de curso e validação integral do circuito de comando. Tal protocolo tem como objetivo garantir a integridade física dos operadores e a preservação do equipamento.

A lógica de comando do sistema é iniciada a partir do contato normalmente fechado do fim de curso de acionamento emergencial, identificado como F-EMS. Este dispositivo atua como uma barreira inicial de segurança, garantindo que nenhuma movimentação vertical do elevador ocorra caso o circuito de emergência esteja acionado.

Logo após a liberação do circuito pelo F-EMS, estabelece-se a estrutura lógica de controle responsável pela movimentação do equipamento. Os comandos de subida e descida são realizados por meio de botoeiras de impulso, identificadas como SOBE e DESCE, respectivamente. Essas botoeiras, por gerarem sinais momentâneos, demandam a implementação de um circuito de automanutenção. Tal automanutenção é possibilitada pela utilização de contatos auxiliares normalmente abertos, pertencentes aos contatores principais SUB (subida) e DES (descida). Esses contatos asseguram a continuidade da energização do circuito mesmo após a liberação das botoeiras, dispensando a necessidade de pressionamento contínuo por parte do operador, o que proporciona maior conforto ergonômico e segurança operacional.

Para evitar o acionamento simultâneo dos dois sentidos de movimentação, a lógica incorpora intertravamentos elétricos cruzados. Esses intertravamentos são constituídos por contatos normalmente fechados dos contatores opostos. Dessa forma, quando o sistema estiver energizado para realizar um determinado sentido de movimento, o sentido contrário permanecerá automaticamente desabilitado, garantindo que não haja conflito entre comandos e prevenindo sobrecarga no motor. No circuito de descida, a cadeia de controle inclui a botoeira DESCE, o contato de selo e o contato de intertravamento. Em seguida, encontra-se o fim de curso inferior com retorno por mola, denominado F-DES, instalado no ponto mínimo permitido da trajetória vertical. A função desse componente é interromper o circuito ao ser acionado, desenergizando a bobina do contator DES, o que provoca a parada imediata do motor e, conseqüentemente, do elevador.

Analogamente, a lógica de subida adota a mesma estrutura. O fim de curso superior com retorno por mola, identificado como F-SUB, está posicionado no limite superior do percurso permitido. Após os elementos de comando e intertravamento, o circuito se divide em dois ramos: o primeiro alimenta diretamente a bobina do contator SUB, enquanto o segundo alimenta o temporizador TMSOB, configurado no modo on-delay. Esse temporizador possui um contato auxiliar normalmente fechado, que permanecerá conduzindo enquanto o tempo configurado não for atingido. Caso o fim de curso F-SUB não atue por falha ou mau funcionamento, o contato auxiliar do temporizador TMSOB se abrirá automaticamente após o intervalo definido, desenergizando a bobina do contator SUB. Esse desligamento temporizado age como um sistema de segurança de retaguarda, impedindo que o elevador ultrapasse o ponto máximo de sua trajetória, protegendo tanto o equipamento quanto os operadores.

A alimentação paralela do temporizador e da bobina do contator garante atuação simultânea e segura do sistema. A redundância implementada nos circuitos de subida e

descida está em conformidade com os requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR IEC 60204-1:2021, a qual trata da segurança em sistemas elétricos de máquinas, promovendo confiabilidade funcional e operacional ao equipamento.

3.3 SELEÇÃO DOS MATERIAIS ELÉTRICOS UTILIZADOS NA IMPLEMENTAÇÃO

No desenvolvimento do projeto do painel de comando, foi realizada a seleção criteriosa dos materiais e dispositivos necessários à sua montagem e funcionamento. Essa seleção contemplou elementos eletromecânicos, dispositivos de proteção, acionamento, sinalização e conectividade, fundamentais para garantir a segurança e a eficiência operacional do sistema.

A Tabela 6 apresenta a lista geral dos componentes utilizados, incluindo conectores auxiliares, relés, contadores, disjuntores, temporizadores, botoeiras e demais elementos empregados na estrutura do painel.

Tabela 7 – Lista geral de materiais e quantidades.

Material	Quantidade
Fim de curso c/ retorno por Mola	4
Fim de curso s/ retorno por Mola	2
Botão de pulso verde	4
Botão de pulso vermelho	4
Botão com trava	4
Contatora	4
Temporizador <i>on Delay</i> ($T = \text{min}$)	4
Sinalizador sonoro	2
Quadro de comando	2
Disjuntor	2
Canaleta	1
Caixa botoeira	4
LED vermelho	2
Barra de borne	5
Fita isolante	5
Emendas rápidas	10
Emendas roscas	10
Anilhas letras	1
Anilhas números	1
Termo contrátil preto	1
Terminal forquilha	10
Tomada embutir	1
Kit termo contrátil	1
Abraçadeira de nylon	10

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Na Figura 24, são detalhadas as especificações técnicas dos fins de curso mecânicos empregados na estrutura de controle do sistema. Os dispositivos selecionados apresentam configuração de contatos 1 NA e 1 NF, na qual um dos modelos selecionados possui acionamento por haste de mola flexível e base metálica. Essa configuração oferece resposta ágil e adequada a variações leves de pressão mecânica, sendo ideal para aplicações onde é exigida sensibilidade no acionamento. O segundo dispositivo corresponde a um fim de

curso do tipo sem retorno por mola, com atuação por pistão acoplado a roldana, especialmente dimensionado para operação em deslocamento vertical. Esse modelo foi empregado como mecanismo de segurança auxiliar nas extremidades do curso do elevador, a fim de detectar e interromper automaticamente o funcionamento do sistema em situações de limite de percurso.

Figura 24 – Seleção dos fins de curso para implementação do elevador.



LK-PLUS - Metálica

Código	Modelo	Tipo	Contatos	Emb.	Caixa	IPI	NCM
11032	LK-PLUS CA2-2	ALAVANCA C/ ROLDANA AÇO MOVIMENTO ANGULAR 2 SENTIDOS	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11033	LK-PLUS CA12-Q2	ALAVANCA C/ ROLDANA AÇO REGULAVEL 2 SENTIDOS	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11034	LK-PLUS CA32-41	ALAVANCA DUPLA C/ ROLDANA TERMOPLASTICA	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11035	LK-PLUS CL	HASTE RIGIDA REGULAVEL 2 SENTIDOS LATERAIS	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11036	LK-PLUS D	PISTÃO RETO EM AÇO	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11037	LK-PLUS D-1	PISTAO C/ ROLDANA AÇO MOVIMENTO HORIZONTAL	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11038	LK-PLUS D-2	PISTAO C/ ROLDANA AÇO MOVIMENTO VERTICAL	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11039	LK-PLUS D-3	PISTÃO RETO AÇO C/ CABEÇOTE	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11040	LK-PLUS NJ	HASTE MOLA ACIONAMENTO TODAS DIREÇÕES	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11041	LK-PLUS NJ-30	HASTE MOLA PINO AÇO TODAS DIREÇÕES	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11042	LK-PLUS NJ-2	HASTE MOLA PINO TERMOPLASTICA TODAS DIREÇÕES	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11043	LK-PLUS NJ-S2	HASTE FLEXÍVEL MOLA PONTA TERMOPLÁSTICA	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090



LK-PLUS - Metálica

Código	Modelo	Tipo	Contatos	Emb.	Caixa	IPI	NCM
11032	LK-PLUS CA2-2	ALAVANCA C/ ROLDANA AÇO MOVIMENTO ANGULAR 2 SENTIDOS	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11033	LK-PLUS CA12-Q2	ALAVANCA C/ ROLDANA AÇO REGULAVEL 2 SENTIDOS	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11034	LK-PLUS CA32-41	ALAVANCA DUPLA C/ ROLDANA TERMOPLASTICA	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11035	LK-PLUS CL	HASTE RIGIDA REGULAVEL 2 SENTIDOS LATERAIS	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11036	LK-PLUS D	PISTÃO RETO EM AÇO	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11037	LK-PLUS D-1	PISTAO C/ ROLDANA AÇO MOVIMENTO HORIZONTAL	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11038	LK-PLUS D-2	PISTAO C/ ROLDANA AÇO MOVIMENTO VERTICAL	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11039	LK-PLUS D-3	PISTÃO RETO AÇO C/ CABEÇOTE	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11040	LK-PLUS NJ	HASTE MOLA ACIONAMENTO TODAS DIREÇÕES	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11041	LK-PLUS NJ-30	HASTE MOLA PINO AÇO TODAS DIREÇÕES	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11042	LK-PLUS NJ-2	HASTE MOLA PINO TERMOPLASTICA TODAS DIREÇÕES	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090
11043	LK-PLUS NJ-S2	HASTE FLEXÍVEL MOLA PONTA TERMOPLÁSTICA	1NA+1NF	UNIT.	50	15%	85365090

Fonte: Grupo Lukma Electric, 2021.

Na Figura 25 são destacados os dispositivos de sinalização e comando integrados ao sistema de controle do elevador. Foi utilizado um sinalizador audiovisual em LED de cor vermelha, com tensão nominal de 220 V, destinado à indicação visual e sonora de condições inadequadas de operação, contribuindo para uma resposta rápida por parte dos operadores.

A figura também apresenta as botoeiras pulsantes nas cores amarela e azul, ambas com contatos NA. Essas botoeiras são responsáveis pelo acionamento de funções específicas e representam diferentes estados operacionais do elevador, facilitando a interface homem-máquina e proporcionando maior clareza no controle das funções.

Como elemento de segurança, foram empregadas botoeiras do tipo cogumelo metálico, com acionamento por mecanismo gira-destrava. Esses dispositivos possuem contato NF e são identificados visualmente pela cor vermelha, conforme as normas técnicas de segurança. Sua principal função é possibilitar a parada imediata do sistema em situações de emergência, assegurando a proteção dos operadores e a integridade do equipamento.

Figura 25 – Seleção de dispositivos auxiliares.



Sinais
Sonoro (Cigarra)

Código	Modelo	Cor	Tensão	Lâmpada	Emb.	Caixa	IPI	NCM
16054	LK16-22	VERMELHO	24V	LED	10	500	2%	85414029
16021	LK16-22	VERMELHO	220V	LED	10	500	2%	85414029



LK2 - Metálica Luminescente - Alimentação Direta

Código	Modelo	Cor	Função	Comando	Emb.	Caixa	IPI	NCM
13023	LK2-BW 3161	BRANCO	PULSANTE	1NA	20	150	15%	85365090
13024	LK2-BW 3361	VERDE	PULSANTE	1NA	20	200	15%	85365090
13025	LK2-BW3462	VERMELHO	PULSANTE	1NF	20	200	15%	85365090
13026	LK2-BW 3561	AMARELO	PULSANTE	1NA	20	150	15%	85365090
13027	LK2-BW 3661	AZUL	PULSANTE	1NA	20	150	15%	85365090



LK2 - Metálica - Cogumelo 40

Código	Modelo	Cor	Operação	Comando	Emb.	Caixa	IPI	NCM
13022	LK2-BT42	VERMELHO	PUXA-DESTRAVA	1NF	15	150	15%	85365090
13021	LK2-B5542	VERMELHO	GIRA-DESTRAVA	1NF	15	150	15%	85365090
13006	LK2-BC31	VERDE	SEM RETENÇÃO	1NA	15	150	15%	85365090
13007	LK2-BC42	VERMELHO	SEM RETENÇÃO	1NF	15	150	15%	85365090
13008	LK2-BC51	AMARELO	SEM RETENÇÃO	1NA	15	150	15%	85365090
13020	LK2-BS142	VERMELHO	COM CHAVE	1NF	15	150	15%	85365090

Fonte: Grupo Lukma Electric, 2021.

Na Figura 26 tem-se a caixa de comando da interface de acionamento selecionada com base na quantidade de furos necessários para a instalação dos dispositivos de controle. Os furos são utilizados para a fixação das botoeiras de pulso e do botão de emergência. A estrutura da caixa é composta por material termoplástico de alta resistência mecânica, proporcionando durabilidade, isolamento elétrico adequado e proteção contra impactos em ambientes industriais.

O quadro elétrico que abriga os dispositivos de comando possui estrutura metálica, projetada para montagem tanto em sobrepor, com o objetivo de garantir a proteção física dos componentes internos. As portas do quadro são equipadas com pontos de conexão para o sistema de aterramento, possibilitando a ligação adequada dos pinos e demais condutores do circuito de potência. Além disso, o quadro contempla características construtivas relacionadas às suas dimensões físicas, que foram definidas de acordo com a quantidade e o tipo de dispositivos instalados, assegurando acessibilidade, segurança operacional e organização interna.

Figura 26 – Seleção das caixas de comando e acionamento.



LK-B Vazias

Código	Modelo	Furação	Emb.	Caixa	IP	NCM
26009	LK-B01	1 FURO	UNT.	100	15%	85369090
26010	LK-B02	2 FUROS	UNT.	100	15%	85369090
26011	LK-B03	3 FUROS	UNT.	100	15%	85369090
26016	LK-B04	4 FUROS	UNT.	50	15%	85369090
26015	LK-B05	5 FUROS	UNT.	50	15%	85369090




- Montagem de sobrepor e embutir;
- Caixas para uso abrigado e ao tempo com grau de proteção IP54;
- Grau de resistência mecânica IK-10;
- Portas com fecho tipo fenda;
- Placa de montagem em chapa de aço 1020 de até 1,9mm (14MSG)
- Abertura da porta em 110°
- Pintura pelo processo eletrostático com tinta pó;
- Cores padrão RAL 7032; Placa de montagem Laranja Munsell 2.5YR 6/14
- Dobradiças de aço embutidas;
- Portas com pino de aterramento.

Fonte: Grupo Lukma Electric, 2021.

Na Figura 27, apresentam-se o dispositivo de acionamento de controle e potência, com destaque para a seleção do contator, escolhido conforme a tensão de operação de 220

V e a quantidade de contatos auxiliares necessários para a implementação da lógica de comando.

Figura 27 – Seleção do dispositivo de acionamento.



Contator Auxiliar JZC4

Código	Modelo	Tensão	Contatos	Emb.	Caixa	IPI	NCM
01020	JZC4-22 (CA2-DN122)	220V	2NA+2NF	UNIT.	50	5%	85364900
01021	JZC4-31 (CA2-DN131)	220V	3NA+1NF	UNIT.	50	5%	85364900
01022	JZC4-40 (CA2-DN140)	220V	4NA	UNIT.	50	5%	85364900

Fonte: Grupo Lukma Electric, 2021.

Na Figura 28, apresentam-se os dispositivos de controle de tempo empregados no sistema.

Figura 28 – Seleção do dispositivo de controle de tempo

3RP1525-1BW30 (EAN: 4011209368378/UPC: 754554636085)

RELÉ DE TEMPO, MONTAGEM COM RETARDO DE LIGAÇÃO

Detalhes do produto
Dados técnicos
Dados CAx
Produto sucessor


Dados técnicos



Relé temporizador eletrônico. Produto descontinuado! Para mais informações, entre em contato com nosso departamento de vendas. 2 contatos reversíveis, 15 faixas de tempo: 0,05 s... 100 h, 24...240 V CA/CC, ampla faixa de tensão em 50/60 Hz CA, terminal de parafuso.

marca do produto	SÍRIUS
designação do produto	relé de temporização
designação do tipo de produto	3RP15

RELÉ TEMPORIZADOR RTW

Função	Contatos	Tensão (V)			Temporização	Descrição
		A1-A2	A2-A3	A2-B1		
	1E	110-130Vca 50/60Hz	24Vcc	-	0,3 ... 3	RTW RE .01 - 3 110-130Vca
					1 ... 10	RTW RE .01 - 10 110-130Vca
					3 ... 30	RTW RE .01 - 30 110-130Vca
					6 ... 60	RTW RE .01 - 60 110-130Vca
					10 ... 100	RTW RE .01 - 100 110-130Vca
					30 ... 300	RTW RE .01 - 300 110-130Vca
		220-240Vca 50/60Hz	24Vcc	-	0,3 ... 3	RTW RE .01 - 3 220-240Vca
					1 ... 10	RTW RE .01 - 10 220-240Vca
					3 ... 30	RTW RE .01 - 30 220-240Vca
					6 ... 60	RTW RE .01 - 60 220-240Vca
					10 ... 100	RTW RE .01 - 100 220-240Vca
					30 ... 300	RTW RE .01 - 300 220-240Vca
		110-130Vca 50/60Hz	24Vcc	-	0,3 ... 3	RTW RE .02 - 3 110-130Vca
					1 ... 10	RTW RE .02 - 10 110-130Vca
					3 ... 30	RTW RE .02 - 30 110-130Vca
6 ... 60	RTW RE .02 - 60 110-130Vca					
10 ... 100	RTW RE .02 - 100 110-130Vca					
30 ... 300	RTW RE .02 - 300 110-130Vca					

Fonte: Siemens; Weg, 2016.

Inicialmente, foi realizada a seleção do temporizador responsável pela contagem do tempo necessário para a execução do percurso de subida do elevador. Após a realização de testes manuais e a cronometragem do tempo de deslocamento, constatou-se que o elevador leva, em média, 1 minuto e 24 segundos para completar o trajeto entre dois andares. Com base nesse dado, optou-se pela utilização do temporizador Siemens 3RP1525-1BW30, cuja faixa de ajuste em minutos e segundos permite uma configuração precisa, atendendo aos requisitos de temporização do sistema com confiabilidade e exatidão.

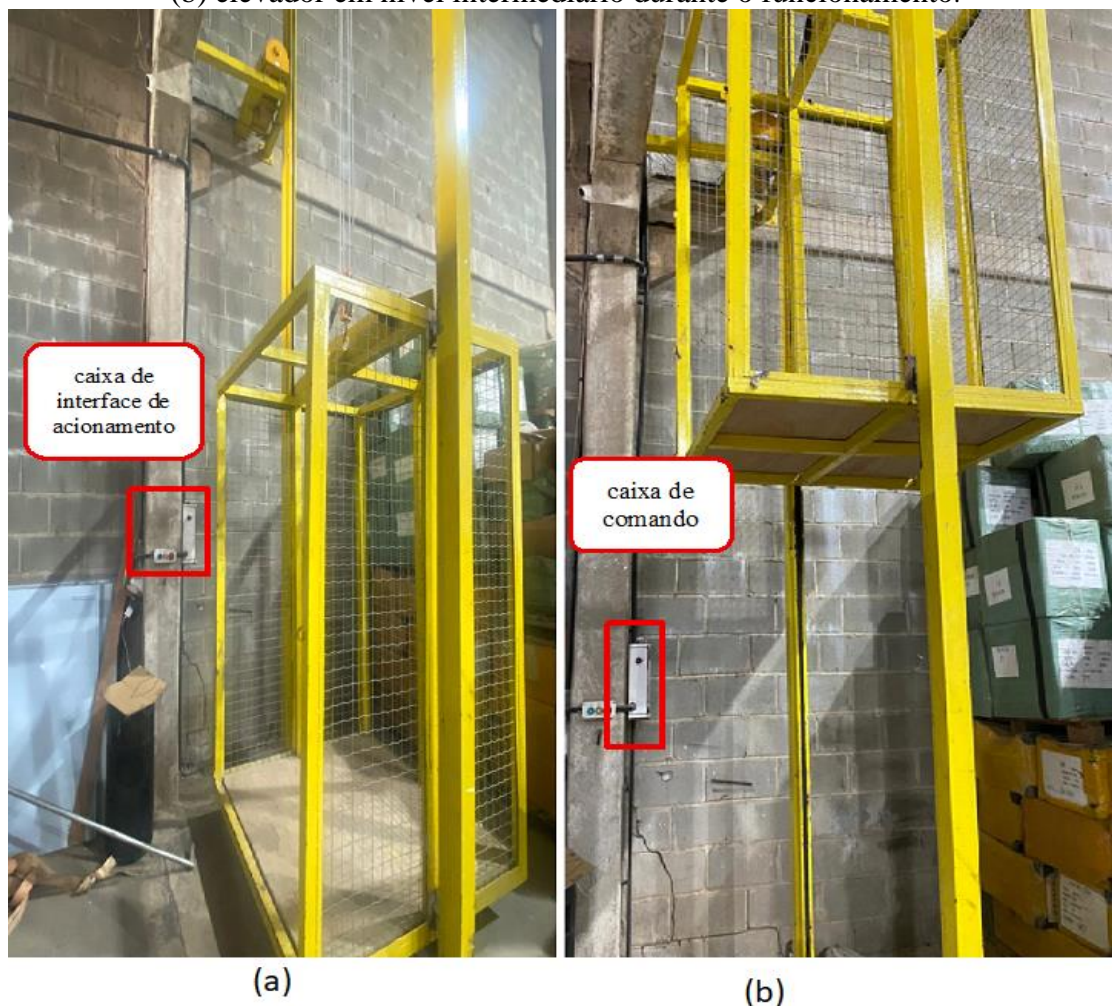
O segundo temporizador foi selecionado com base na exigência de que o sistema de alarme permanecesse acionado por 30 segundos, realizando a sinalização de falha. O modelo RTW RE foi escolhido por oferecer uma faixa de temporização compatível com essa necessidade, além de dispor de indicação visual por meio de LED, que sinaliza seu estado de acionamento.

4 RESULTADOS DAS IMPLEMENTAÇÕES DO ELEVADOR

4.1 TESTES A NÍVEL DE CAMPO NO GALPÃO 2

Os resultados finais da implementação do elevador nos galpões de armazenagem são apresentados nesta seção, observa-se, na Figura 29(a), a instalação da cabine com acabamento em tom amarelado, posicionada no nível térreo. Nessa imagem, em destaque é possível identificar a caixa de interface de acionamento, a caixa de comando, bem como a estrutura completa do elevador. Já na Figura 29(b), visualiza-se a cabine de transporte de carga em um nível intermediário de operação, pois, ao analisar a Figura 29(a), observa-se que a a cabine está próxima ao piso. Já na a Figura 29(b), é possível visualizá-la a uma altura superior ao ponto de comando, permitindo assim a análise do seu funcionamento convencional por meio dos comandos do painel de controle e operação.

Figura 29 – Visão geral do elevador de carga: (a) posicionamento no nível térreo do galpão e (b) elevador em nível intermediário durante o funcionamento.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Na Figura 30 (a), observa-se a disposição da caixa de interface de acionamento, em estado inativo, e a caixa de comando, acompanhada do sinalizador sonoro ao lado. Na Figura 30 (b), é apresentada a caixa com o comando de subida em funcionamento, enquanto na Figura 30 (c), visualiza-se a caixa com o comando de descida em funcionamento.

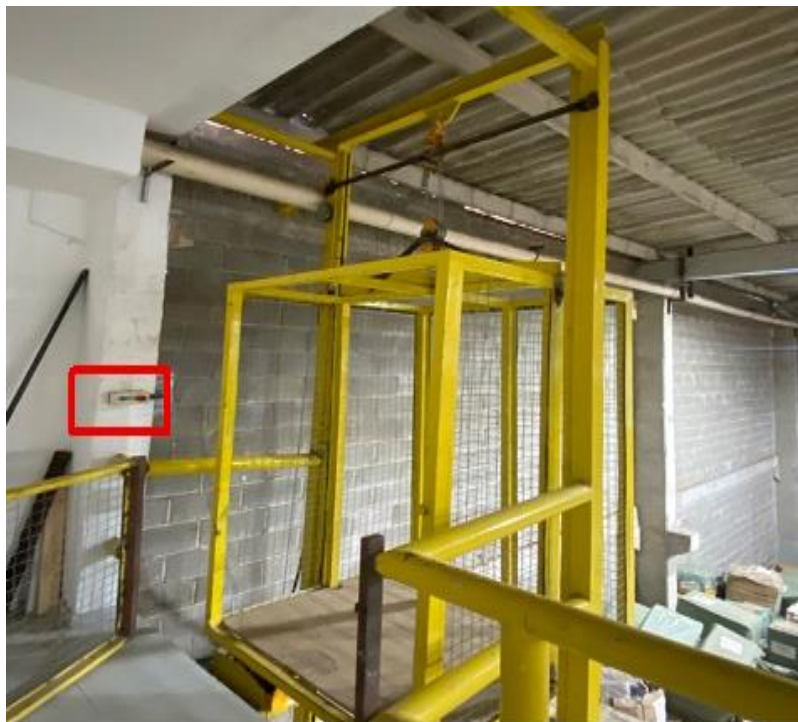
Figura 30 – Caixa de interface de acionamento em diferentes estados operacionais



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Na Figura 31, mostra-se a vista do elevador e da interface de acionamento nível superior (a), com destaque para a caixa de interface de acionamento localizada na lateral da estrutura.

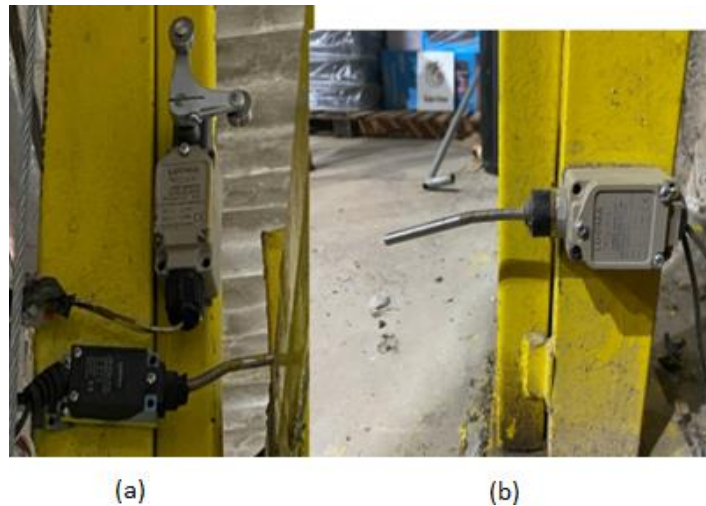
Figura 31 – Visão geral do elevador e do painel de comando no pavimento superior.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Na Figura 32(a), observa-se o fim de curso sem retorno por mola, posicionado acima do primeiro sistema de parada. Já na Figura 32(b), é apresentada a visão do fim de curso com retorno por mola, responsável pelo primeiro acionamento do sistema de parada.

Figura 32 – Dispositivos de fim de curso implementados fisicamente no sistema. (a) fim de curso sem retorno por mola e (b) fim de curso com retorno por mola



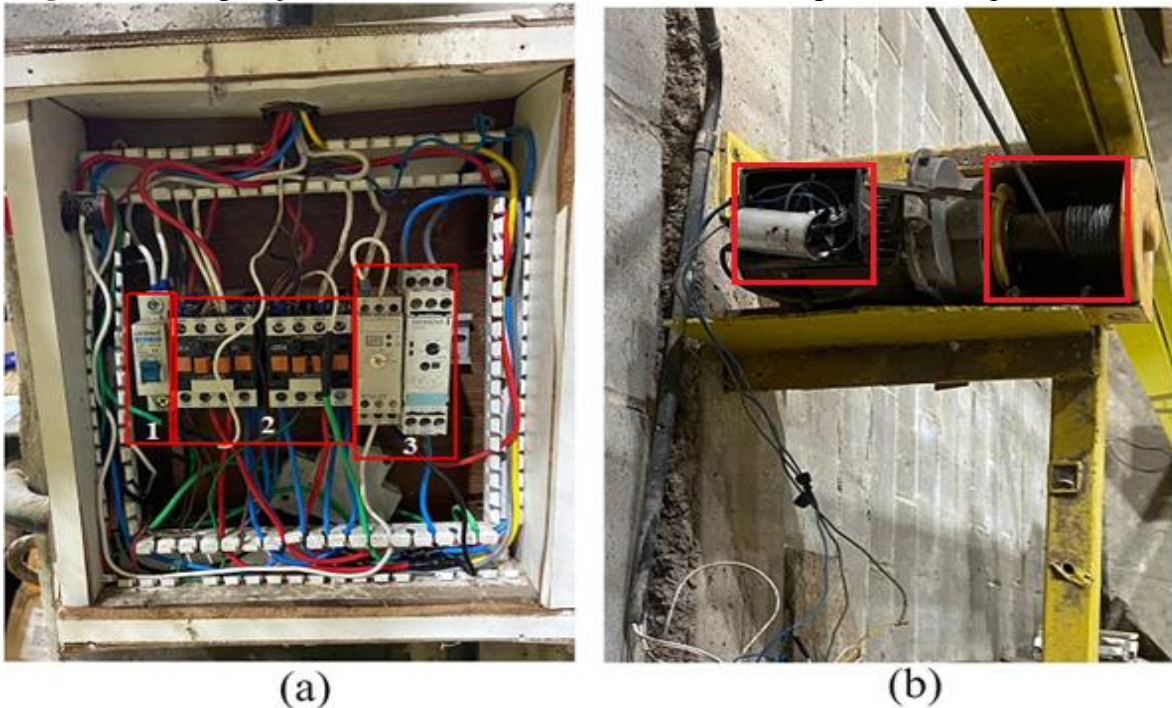
Fonte: Elaborado pela própria autora.

Na Figura 33(a), observa-se a montagem do painel de controle, onde podem-se ver o disjuntor, contadores e 3 relés temporizadores.

Na Figura 33(b), é possível visualizar o motor em operação durante os testes realizados em campo. Destaca-se que sua carcaça foi removida, permitindo a visualização das conexões internas na caixa de comando do motor monofásico. Ao lado do motor, nota-se ainda uma pequena caixa de conexões e a roldana acoplada ao eixo rotativo, também em funcionamento como destacado na figura.

Os testes referentes à segunda versão do sistema (projeto intermediário) apresentaram resultados satisfatórios, com o elevador automatizado cumprindo as funções previstas pelo painel de comando. Entretanto, foram necessários ajustes nos tempos de subida e descida, em virtude das modificações já descritas na Seção 3.2.4, especialmente no que diz respeito ao sistema de segurança. Foi realizada a inclusão de fins de curso mecânicos sem mola, com o objetivo de evitar o funcionamento indevido do equipamento quando este se encontrar em condição inoperante.

Figura 33 – Disposição da (a) caixa de comando e (b) motor operando a carga do elevador.

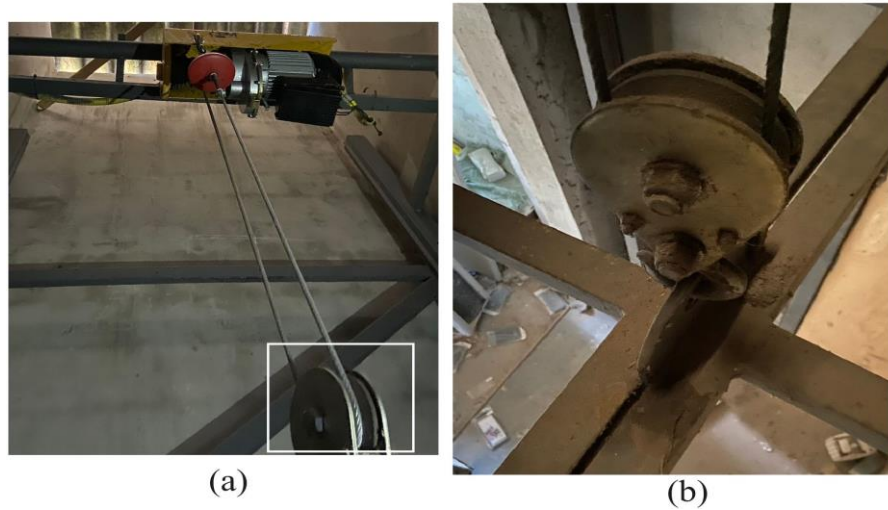


Fonte: Elaborado pela própria autora.

Os testes de funcionamento do elevador, correspondentes à versão final do projeto já com as modificações que incluíram dois fins de curso mecânicos demonstraram a eficácia do sistema. Esses dispositivos realizam um travamento elétrico de segurança, desenergizando automaticamente o circuito de comando e desligando o sistema em situações de limite. Como consequência, o sinalizador sonoro é ativado por meio do temporizador, indicando a condição de parada forçada, sistema de controle ilustrado na Figura 32 e na Figura 33.

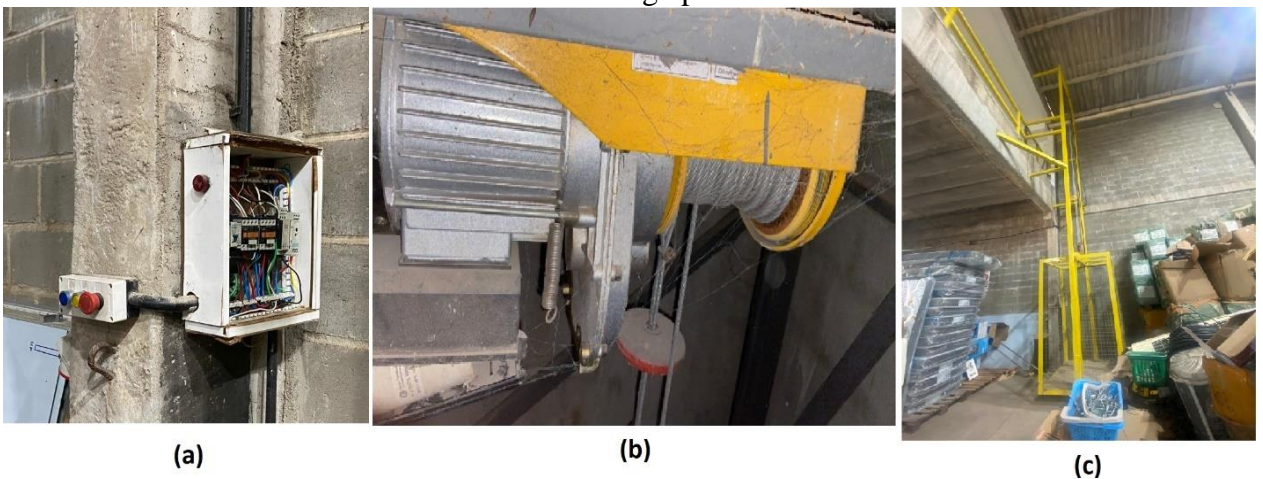
É possível ver na Figura 34(a) a junção do suporte mecânico do cabo de aço ao motor operando e a cabine (presa a roldana em destaque em branco) na mesma ilustração. Esta roldana está ampliada na Figura 34(b) e presa ao guincho metálico. Neste momento, o cenário de teste demonstra o efeito de elevação no sentido de subida do elevador pelo acionamento do comando no sistema de botoeiras demonstrados na Figura 35(a), o painel de controle e o quadro de comando está visível, mostrando os principais componentes dimensionados nas seções anteriores deste trabalho. Ainda, na Figura 35(b), parte do motor talha monofásico é descrito na ilustração.

Figura 34 – Visualização do suporte mecânico do elevador conectado ao (a) motor talha por um cabo de aço e (b) ampliação do sistema de roldana instalado.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 35 – Disposição da (a) caixa de comando e sistema de acionamento por botões; (b) motor talha operando a carga do elevador e (c) Estrutura física completa do elevador de carga instalada no galpão.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Todos os testes apresentaram resultados satisfatórios, conforme o previsto no projeto simulado. Os temporizadores foram devidamente cronometrados e operaram dentro dos limites de tempo esperados, garantindo a precisão necessária para o controle das etapas de subida e descida do elevador.

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema automatizado para dois casos de elevadores de carga comerciais em um ambiente de armazém. A metodologia adotada incluiu: (i) uma revisão bibliográfica abrangente de sistemas similares e tecnologias de automação; (ii) análise e seleção de componentes elétricos conforme normas técnicas; e (iii) validação do projeto através de simulações computacionais e testes práticos.

Inicialmente, realizou-se um estudo comparativo de soluções existentes, analisando diferentes abordagens de automação com controladores lógicos programáveis. Os componentes do sistema de comando e potência foram especificados em estrita conformidade com as normas NBR 5410, NBR NM 207, NBR 6355, NBR 14712 e NBR 16042, além de normativos internacionais pertinentes. Particular atenção foi dada ao dimensionamento dos elementos de proteção, incluindo o disjuntor-motor (16A para carga de 3,7kW) e a fiação elétrica (adequada à corrente nominal de 10,56A do motor monofásico de 1,65kW).

O processo de desenvolvimento envolveu três fases distintas (piloto, intermediária e final), com aprimoramentos progressivos baseados em requisitos operacionais e feedback do cliente. As principais melhorias incluíram ajustes de temporização, adição de contatores auxiliares e implementação de fins de curso adicionais. A validação do sistema foi realizada por meio de simulações no *software* CAdE_SIMU, complementadas por testes em campo que comprovaram sua funcionalidade e segurança.

Os resultados demonstraram que a solução proposta, embora baseada em comandos elétricos convencionais, mostrou-se eficiente e robusta para a aplicação pretendida. O sistema final atende plenamente às demandas operacionais, garantindo segurança e conformidade com todos os requisitos normativos. Este trabalho contribuiu com uma abordagem prática e economicamente viável para automação de elevadores de carga, que pode ser adaptada a contextos similares.

Como trabalhos futuros, sugere-se a implementação de sistemas de monitoramento remoto e a integração com tecnologias de IoT para manutenção preditiva.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Meteorologia Estações do ano**. 2024. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/estacoes-do-ano.php?estacao=verao>. Acesso em: 5 mai. 2025.

AL-KODMANY, K. Smart elevator systems. **Journal of Mechanical Materials and Mechanics Research**, v. 6, n. 1, p. 41-53, mar. 2023. Disponível em: <https://journals.bilpubgroup.com/index.php/jmmmr/article/view/5503>. Acesso em: 10 abr. 2025.

ÂNGELO, N. T. D. P. **Projecto e concepção de um sistema elevador monta-cargas industrial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica, Sistemas e Computadores) - Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2017. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/24812>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 280**: condutores de cabos isolados (IEC 60228, MOD). Rio de Janeiro: ABNT, 2011. Disponível em: <https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/22035/identificar/visitante>. Acesso em: 30 mai. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://universidadeniltonlins.com.br/wp-content/uploads/2019/04/NBR-5410.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14712**: elevadores elétricos e hidráulicos elevadores. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/30358/nbr14712-elevadores-eletricos-e-hidraulicos-elevadores-de-carga-monta-cargas-e-elevadores-de-maca-requisitos-de-seguranca-para-construcao-e-instalacao>. Acesso em: 30 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16042**: Elevadores elétricos de passageiros Requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores sem casa de máquinas. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/31770/abnt-nbr16042-elevadores-eletricos-de-passageiros-requisitos-de-seguranca-para-construcao-e-instalacao-de-elevadores-sem-casa-de-maquinas-com-a-finalidade-de-atender-o-prazo-de-nao-exigencia-esta-norma-continuando-valida-ate-02072022>. Acesso em: 12 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 60204-1**: Segurança de máquinas Equipamentos elétricos de máquinas Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12813/abnt-nbriec60204-1-seguranca-de-maquinas-equipamentos-eletricos-de-maquinas-parte-1-requisitos-gerais>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 267**: Elevadores hidráulicos de passageiros. Requisitos de segurança para construção e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/22177/abnt-nbrnm267-elevadores-hidraulicos-de-passageiros-requisitos-de-seguranca-para-construcao-e-instalacao>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355**: a padronização dos perfis estruturais de aço formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Disponível em:

<https://www.normas.com.br/visualizar/artigo-tecnico/1777/nbr-6355-a-padronizacao-dos-perfis-estruturais-de-aco-formados-a-frio>. Acesso em: 30 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 207**: elevadores elétricos de passageiros Requisitos de segurança para construção e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/11243/abnt-nbrnm207-elevadores-eletricos-de-passageiros-requisitos-de-seguranca-para-construcao-e-instalacao-com-a-finalidade-de-atender-o-prazo-de-nao-exigencia-esta-norma-continua-sendo-valida-ate-02072022>. Acesso em: 30 mar. 2025.

BOUTON, E. M. Variable voltage control systems as applied to electric elevators. **Transactions of the American Institute of Electrical Engineers**, v. XLIII, p. 199–219, 1924. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5060977>. Acesso em: 5 jun. 2025.

DANIELA, P. *et al.* New technology and automation in freight transport and handling systems new technology and automation in freight transport and handling systems. **Foresight**, Bristol, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332423194_New_Technology_and_Automation_in_Freight_Transport_and_Handling_Systems_New_Technology_and_Automation_in_Freight_Transport_and_Handling_Systems. Acesso em: 1 abr. 2025.

GUIMARÃES, Tiago. **Aplicações práticas didáticas**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/967/1/MONOGRRAFIA_AplicaçõesPraticasDidaticas.pdf. Acesso em: 23 mai 2025.

ILIFT Tecnologia. **Elevador de carga 3000 kg**. [S. l.: ILIFT, [2025?]]. Disponível em: <https://www.ilift.com.br/elevador-carga-3000-kg>. Acesso em: 10 jun. 2025. [Conteúdo indisponível em jul. 2025].

KUTIJA, M. *et al.* Regenerative energy potential of roped elevator systems - a case study. *In*: INTERNATIONAL POWER ELECTRONICS AND MOTION CONTROL CONFERENCE, 19. 2021, Gliwice, Poland. p. 284–291. **Anais [...]**. Disponível em: doi.org/10.1109/PEMC48073.2021.9432577. Acesso em: 3 abr. 2025.

ELEVADOR com motor de portão: comando completo. [S.l.: s.n.], 2015. 1 vídeo (10 min 45 s). Publicado pelo canal Mundo da Elétrica. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dNz3xNYhSFc>. Acesso em: 23 abr. 2025.

MIRAVETE, A.; EMILIO, L. **Elevadores: principios e innovaciones**. Barcelona: Reverté, 2007.

NEOENERGIA. **Fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição para edificações individuais - DIS-NOR-030**. rev. 3. [S.l.: s.n.], [2024?]. Disponível em: <https://servicos.neoenergiapernambuco.com.br/residencial-rural/Documents/DIS-NOR-030-Fornecimento-Energia-Eletrica-Tensao-Secundaria-Distribuicao-Edificacoes-Individuais-REV3.pdf> Acesso em: 20 abr. 2025.

OTIS ELEVATOR COMPANY. **Conheça os principais componentes do elevador**. *Blog Otis*, set. 2024. Disponível em: <https://blog.otis.com/br/principais-componentes-do-elevador>. Acesso em: 12 abr. 2025.

REED, H. P. Electric power application to passenger and freight elevators. **Transactions of the American Institute of Electrical Engineers**, v. XLI, p. 325–359, 1922. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5060787>.

SANTOS, D.; PALMA, L. B.; BRITO, V. Simulation and control of a cyber-physical elevator prototype. *In*: INTERNATIONAL YOUNG ENGINEERS FORUM, 2022, Lisboa, Portugal. p. 98–105. **Anais [...]**. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/YEF-ECE55092.2022.9850218>. Acesso em: 5 jul. 2025.

SANTOS, A. M. D. **Protótipo ciber-físico de elevador monta-cargas**. Orientador: Luís Filipe Figueira Brito Palma. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2022. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/143743>. Acesso em: 5 abr. 2025.

SILVA, G. S. da; SILVA, J. V. M. R. Projeto mecânico de um elevador de carga. **Revista FT**, v. 27, ed. 128, [S.l.], 2023. Disponível em: <https://revistaft.com.br/projeto-mecanico-de-um-elevador-de-carga/>. Acesso em: 1 abr. 2025.

TEIXEIRA, Iarah Wendy Valentim. **Engenharia milenar**: a fascinante construção das pirâmides do Egito. [S.l.]: Civilização Engenheira, 16 abr. 2024. *Blog*. Disponível em: <https://civilizacaoengenheira.wordpress.com/2024/04/16/engenharia-milenar-a-fascinante-construcao-das-piramides-do-egito-engenharia-milenar/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

VÄLIKYLÄ, V. **Communication between collaborative mobile industrial robots and elevators**. 46 p. Dissertação (Master's Programme in Automation and Electrical Engineering) — Aalto University, Espoo, jan. 2023. Disponível em: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/119400>. Acesso em: 1 jul. 2025.