

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DE ENERGIA E  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

JUTAIR DA SILVA RIOS E LEONARDO BUCK

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ELEVADORES  
EXISTENTES ATRAVÉS DA MODERNIZAÇÃO**

CAMPINAS/SP  
2024

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DE ENERGIA E  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

JUTAIR DA SILVA RIOS E LEONARDO BUCK

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ELEVADORES  
EXISTENTES ATRAVÉS DA MODERNIZAÇÃO**

Trabalho de Graduação apresentado por **Jutair da Silva Rios e Leonardo Buck**, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em **Gestão de Energia e Eficiência Energética**, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação do Prof. Ms. **Bráulio de Almeida Melo**.

CAMPINAS/SP  
2024

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca**

R586e

RIOS, Jutair da Silva  
Eficiência energética em elevadores existentes através da modernização.  
Jutair da Silva Rios.  
Campinas, 2024.  
78 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Gestão de Energia e Eficiência Energética – Faculdade de Tecnologia de Campinas.  
Orientador: Prof. Me. Bráulio Almeida de Melo.

1. Análise. 2. Método. 3. Gestão. 4. Elevador. 5. Eficiência. I. Autor.  
II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 621.3

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG GEEE 24.1

**JUTAIR DA SILVA RIOS**

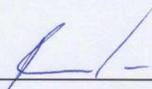
**LEONARDO BUCK**

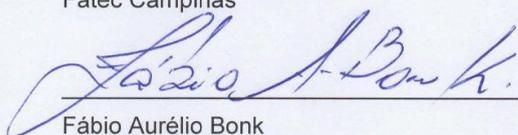
**Eficiência Energética em elevadores existentes através da  
modernização**

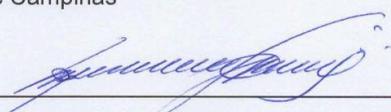
Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão de Energia e Eficiência Energética, pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 27 de junho de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Bráulio Almeida de Melo  
Fatec Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Fábio Aurélio Bonk  
Fatec Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Sandro Pinheiro de Assis Cosso  
Fatec Campinas

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos ajudado até o presente momento, se hoje concluimos este trabalho é porque Ele esteve presente em todo o tempo nos dando forças. Somos gratos também aos nossos familiares, que mesmo a distância sempre nos apoiaram e nos estenderam palavras de conforto. O nosso agradecimento também aos nossos educadores, que até o momento mesmo tem nos suportado e um agradecimento especial ao Professor Bráulio de Almeida Melo que até nos momentos mais difíceis nos apoiou.

## **DEDICATÓRIA**

À Deus, aos nossos familiares, aos amigos, aos professores e nossos colegas de classe, esta dedicatória é a expressão de nossa profunda gratidão. Sem o apoio e o amor que recebemos de cada um desses, não teríamos alcançado esta etapa tão significativa em nossas vidas. Que este trabalho seja um reflexo do carinho e da dedicação que depositamos em cada palavra escrita, e que possamos compartilhar o sucesso desta conquista juntos.

## **RESUMO**

Há instalados no Brasil diversas tecnologias de elevadores, desde os elevadores mais antigos utilizando máquinas ineficientes e desconfortáveis, até os novos elevadores com módulos de controle computadorizados, com máquinas de ímã permanente, software inteligente e frenagem regenerativa. Neste trabalho de pesquisa, apontaremos os princípios básicos de funcionamento, as principais tecnologias aplicadas nos elevadores, com foco no mercado brasileiro, e abordaremos as características mais importantes no consumo energético dos elevadores. Explanaremos sobre as normas ABNT NBR 16858-7:2022, a mais recente norma técnica para modernização de elevadores e a ABNT NBR ISO 25745:2024, norma recente que determina o método padrão de medição e classificação de consumo de energia em elevadores, documento este reconhecido por diversos países. Posteriormente demonstraremos as medições comparativas seguindo os procedimentos desta norma em dois elevadores no qual apenas um destes foi reformado e classificá-los de acordo com o seu nível de eficiência, seguido da conclusão e considerações finais.

**Palavras-chave: análise; método; gestão; elevador; eficiência.**

## **ABSTRACT**

There are several elevator technologies installed in Brazil, from older elevators using inefficient and uncomfortable machines, to new elevators with computerized control modules, permanent magnet machines, intelligent software, and regenerative braking. In this research work, we will point out the basic operating principles, and the main technologies applied in elevators, focusing on the Brazilian market, and we will address the most important characteristics of the energy consumption of elevators. We will explain the ABNT NBR 16858-7:2022 standards, the most recent technical standard for elevator modernization, and ABNT NBR ISO 25745:2024, a recent standard that determines the standard method for measuring and classifying energy consumption in elevators, this document recognized by several countries. Later we will demonstrate comparative measurements following the procedures of this standard in two elevators in which only one of them was modernized and classify them according to their level of efficiency, followed by the conclusion and final considerations.

**Keywords: analysis; method; management; elevator; efficiency.**

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 01</b> – Esquema de um elevador elétrico com casa de máquinas          | 15 |
| <b>Figura 02</b> – Esquema de um elevador elétrico sem casa de máquinas          | 16 |
| <b>Figura 03</b> – Esquema de um elevador hidráulico                             | 17 |
| <b>Figura 04</b> – Esquema de um elevador C.C., conjunto motor gerador           | 18 |
| <b>Figura 05</b> – Máquina de tração com engrenagem                              | 20 |
| <b>Figura 06</b> – Placa de informação da máquina de tração                      | 21 |
| <b>Figura 07</b> – Placa de informação motor trifásico                           | 22 |
| <b>Figura 08</b> – Máquina de tração sem engrenagem de imã permanente            | 23 |
| <b>Figura 09</b> – Esquema do sistema de uma centralina hidráulica               | 24 |
| <b>Figura 10</b> – Centralina hidráulica GMV                                     | 24 |
| <b>Figura 11</b> – Quadro de comando microprocessado                             | 25 |
| <b>Figura 12</b> – Esquema de um inversor de frequência                          | 26 |
| <b>Figura 13</b> – Inversor de frequência Yaskawa L1000E                         | 26 |
| <b>Figura 14</b> – Quadro de comando a relé                                      | 27 |
| <b>Figura 15</b> – Esquema de um sistema malha fechada                           | 28 |
| <b>Figura 16</b> – Quadro de comando microprocessado com inversor de frequência  | 29 |
| <b>Figura 17</b> – Modernização estética da cabina do elevador                   | 43 |
| <b>Figura 18</b> – Esquema de um sistema Cloud IoT para elevadores               | 44 |
| <b>Figura 19</b> – Diagrama para o cálculo do contrapeso                         | 45 |
| <b>Figura 20</b> – Esquema de um sistema convencional de chamadas                | 47 |
| <b>Figura 21</b> – Esquema de um sistema de controle inteligente de chamada      | 47 |
| <b>Gráfico 01</b> -Corrente elétrica com elevador em movimento com o carro vazio | 51 |
| <b>Gráfico 02</b> -Corrente elétrica com elevador em movimento com o carro vazio | 56 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 01</b> –Dados técnico máquina de tração sem engrenagem AK2                     | 23 |
| <b>Tabela 02</b> - Categoria de uso  | 33 |
| <b>Tabela 03</b> - Número de viagens por dia por categoria de uso                        | 34 |
| <b>Tabela 04</b> - Percentual da distância média no modo viagem                          | 34 |
| <b>Tabela 05</b> - Fator de carga  | 36 |
| <b>Tabela 06</b> - Carga média do carro  | 37 |
| <b>Tabela 07</b> - Razão de tempo no modo de espera                                      | 39 |
| <b>Tabela 08</b> - Nível de eficiência para modo viagem                                  | 41 |
| <b>Tabela 09</b> - Nível de eficiência para estacionário                                 | 42 |
| <b>Tabela 10</b> - Classificação de eficiência energética                                | 42 |
| <b>Tabela 11</b> - Energia do ciclo referência, do ciclo curto e potência em modo parado | 50 |
| <b>Tabela 12</b> - Energia do ciclo referência, do ciclo curto e potência em modo parado | 56 |

## LISTA DE ABREVIACOES

|                 |  |
|-----------------|--|
| ABNT            | Agência Brasileira de Normas Técnicas          |
| NBR             | Norma Brasileira                               |
| ISO             | International Organization for Standardization |
| CONTRU          | Controladoria de Controle de Uso de Imóveis    |
| CO <sup>2</sup> | Dióxido de Carbono                             |
| CC              | Corrente Contínua                              |
| CA              | Corrente Alternada                             |
| IGTB            | Insulated Gate Bipolar Transistor              |
| PWM             | Pulse width Modulation                         |
| ABEEL           | Agência Brasileira de Energia Elétrica         |
| ANEEL           | Agência Nacional de Energia Elétrica           |
| IoT             | Internet of Things                             |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|      |                     |
|------|---------------------|
| P    | potência            |
| U    | tensão              |
| I    | corrente            |
| m/s  | metros por segundo  |
| Kg   | quilograma          |
| Nº   | número              |
| mm   | milímetros          |
| Wh/m | watt hora por metro |
| Wh   | watt hora           |
| m    | metro               |
| h    | horas               |

# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>  | <b>12</b> |
| 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO   | 12        |
| 1.2 JUSTIFICATIVA / PROBLEMÁTICA   | 13        |
| 1.3 OBJETIVOS  | 13        |
| 1.3.1 Objetivo geral   | 13        |
| 1.3.2 Objetivos específicos  | 13        |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>   | <b>14</b> |
| 2.1 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE ELEVADORES NO BRASIL   | 14        |
| 2.1.1 Elevador elétrico com casa de máquinas   | 14        |
| 2.1.2 Elevador elétrico sem casa de máquinas   | 15        |
| 2.1.3 Elevador hidráulico  | 16        |
| 2.2 TIPOS DE ACIONAMENTO   | 17        |
| 2.2.1 Conjunto Motor Gerador   | 17        |
| 2.2.2 Controle C.C   | 19        |
| 2.2.3 Máquina de tração de motor corrente contínua   | 19        |
| 2.2.4 Máquina de tração de motor de indução trifásico  | 19        |
| 2.2.5 Máquina de tração de ímã permanente  | 20        |
| 2.2.6 Máquina de tração com engrenagem vs máquina de tração sem engrenagem                   | 21        |
| 2.2.7 Centralina hidráulica  | 23        |
| 2.3 SISTEMAS DE CONTROLES  | 25        |
| 2.3.1 Inversor de frequência   | 25        |
| 2.3.2 Quadro de comando a relé   | 27        |
| 2.3.3 Quadros de comando microprocessados  | 27        |
| 2.4 NORMA ABNT NBR 16858-7:2022  | 29        |
| 2.5 NORMA ABNT NBR ISO 25745:2024  | 31        |
| 2.5.1 Estrutura da ABNT NBR ISO 25745:2024   | 32        |
| 2.5.2 Metodologia de medição e classificação de elevadores segundo a ABNT NBR ISO 25745:2024 | 32        |
| 2.5.2.1 Cálculo da energia diária consumida no modo viagem                                   | 33        |
| 2.5.2.2 Energia consumida por viagem metro   | 35        |
| 2.5.2.3 Energia consumida na partida e na parada   | 35        |
| 2.5.2.4 Energia consumida no ciclo médio com o elevador vazio                                | 35        |
| 2.5.2.5 Energia consumida no ciclo médio diário  | 36        |
| 2.5.2.6 Energia consumida por dia com elevador em standby                                    | 37        |
| 2.5.2.7 Tempo do elevador estacionado por dia  | 38        |
| 2.5.2.8 Razão de tempo no modo espera  | 38        |
| 2.5.2.9 Consumo diário de energia no modo de espera  | 39        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.5.2.10 Consumo total de energia por dia                              | 40        |
| 2.5.2.11 Consumo total de energia por ano                              | 40        |
| 2.5.2.12 Método para classificação energética do elevador              | 41        |
| 2.5.2.13 Nível de eficiência em modo viagem                            | 41        |
| 2.5.2.14 Nível de eficiência em modo estacionário                      | 42        |
| 2.5.2.15 Classificação energética conforme a ABNT NBR ISO 25745-2:2024 | 42        |
| <b>2.6 TIPOS DE MODERNIZAÇÃO</b>                                       | <b>43</b> |
| 2.6.1 Modernização estética  | 43        |
| 2.6.2 Modernização técnica   | 43        |
| 2.6.3 Modernização tecnológica   | 44        |
| <b>2.7 PRINCIPAIS ERROS DE MODERNIZAÇÃO QUE CAUSAM INEFICIÊNCIA</b>    | <b>44</b> |
| 2.7.1 Desbalanceamento de carga  | 44        |
| 2.7.2 Ausência de controle de chamadas em grupos de elevadores         | 46        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>   | <b>48</b> |
| 3.1 MATERIAIS  | 49        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>  | <b>50</b> |
| 4.1 ELEVADOR 01  | 50        |
| 4.2 ELEVADOR 02  | 55        |
| <b>5 CONCLUSÃO</b>   | <b>62</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo a Revista Elevador Brasil, estima-se que existam por volta de 12 milhões de elevadores mundialmente e que transportam cerca de 1 bilhão de pessoas por dia. Os fabricantes estimam também que um único elevador pode corresponder a 10% do consumo de energia elétrica em um edifício. No cálculo deste consumo, as variantes de potência da máquina, do número de andares, da quantidade de viagens, da frequência de uso, da velocidade e da capacidade de passageiros são determinantes para o resultado. A data de fabricação do elevador impacta significativamente neste cálculo. Elevadores mais antigos consomem mais energia em comparação com os modelos mais tecnológicos.

Diferentemente, por exemplo, dos eletrodomésticos que são produzidos em série, os elevadores são projetos personalizados e customizados para cada edificação em que são demandados, e por isso a dificuldade de mensurar de forma padronizada o seu consumo energético. A literatura em relação a este assunto não é consistente, pois não se encontram muitos estudos conclusivos.

É estimado que no Brasil há por volta 500 mil elevadores instalados, sendo 80 mil deles somente na cidade de São Paulo / SP segundo a Revista Elevador Brasil e, levando em consideração que o consumo médio de um elevador corresponde de 5 a 15% do custo total de um condomínio (ABEEL, 2022, pg 07), classificado como o segundo maior consumidor de energia elétrica em um edifício residencial, ficando a bomba d'água líder em consumo de energia elétrica dos prédios.

Segundo o CONTRU, órgão regulador do setor no município de São Paulo, no ano de 2022 havia por volta de 80 mil elevadores instalados e cerca de 40% destes equipamentos com mais de 20 anos de uso, ou seja, são elevadores que tem embarcado no projeto original componentes que já não atendem as normas vigentes de segurança e que são menos eficientes, possuindo quadros de comando por relés e ineficientes sistemas de acionamentos, ausência de sistema despacho em grupo e iluminação não eficiente.

O enfrentamento das crises energéticas, aumento de tarifas de energia elétrica e a tendência global da redução da emissão CO<sup>2</sup>, justificam as administrações de condomínios a considerarem a eficiência energética nos contratos de modernização de um elevador, não

focando somente na estética do edifício e na melhoria de segurança aos passageiros exigida pelas normas e legislação vigentes.

## **1.2 JUSTIFICATIVA / PROBLEMÁTICA**

Levando em consideração que São Paulo é a cidade mais populosa, o maior centro financeiro do Brasil tem 40% dos elevadores instalados com mais de 20 anos de uso, que a última norma de modernização para elevadores, a ABNT NBR 15597:2010 que foi vigente até maio de 2022 era um documento de mais de 14 anos, a publicação da primeira norma técnica no Brasil que padroniza o processo de medição e classificação do consumo energético de elevadores a ABNT NBR ISO 25745:2024 e a pouca disponibilidade de literatura consistente em língua portuguesa sobre o tema, é importante trazer uma abordagem além do objetivo principal da norma vigente de modernização de elevadores, norma ABNT NBR 16858-7:2022 que é um documento oficial que serve como parâmetro para trazer o nível de segurança equivalente às tecnologias atuais nos elevadores antigos e conseqüentemente, a eficiência energética.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Abordar a eficiência energética em elevadores existentes através do processo de modernização.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- A) Descrever a importância da modernização dos elevadores para melhoria de segurança dos usuários;
- B) Abordar os requisitos da norma ABNT NBR 16858-7:2022 que impactam no desempenho energético dos elevadores existentes;
- C) Apresentar a norma ABNT NBR ISO 25745:2024;
- D) Apresentar a melhoria da eficiência energética de um elevador existente após um processo de modernização.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE ELEVADORES NO BRASIL**

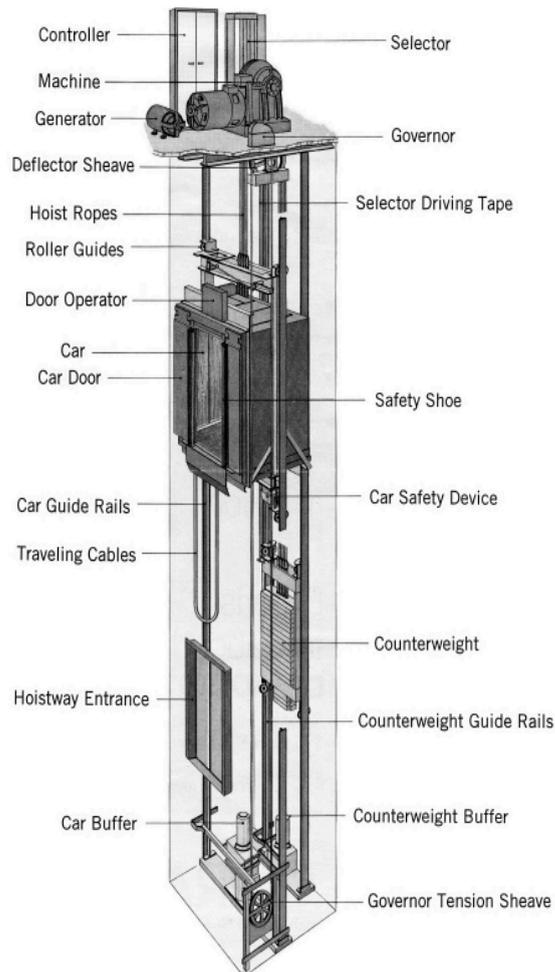
Há instalados no Brasil diversas tecnologias de elevadores, começando pelos projetos antigos de elevadores elétricos controlados por relés, elevadores hidráulicos tracionado por pistão hidráulico até as tecnologias recentes dos elevadores elétricos tracionados por motores de ímãs permanentes, controles através de módulos computadorizados e acionamento por meio de inversores e sistemas regenerativos que aproveitam a energia quando o elevador está sendo tracionado pela inércia do contrapeso ou em sua frenagem.

#### **2.1.1 Elevador elétrico com casa de máquinas**

Este é um equipamento amplamente utilizado nas edificações brasileiras, consiste de um elevador deslizante por trilhos guias inclinados à 90° em relação ao piso, composto por um contrapeso e tracionado via cabos de aço por uma máquina de tração, esta está alojada em um compartimento no topo da edificação chamado casa de máquinas. Sua principal vantagem está na instalação e manutenção mais simples e a sua principal desvantagem é a necessidade de área útil para instalação dos equipamentos, a casa de máquinas, ilustrada na Figura 01.

O aumento da densidade populacional nos grandes centros urbanos gera valorização do m<sup>2</sup> de área útil construída e as incorporadoras têm evitado os projetos de edificações que contam com espaço de maquinarias para elevadores, reduzindo a incidência dos elevadores com casa de máquinas nos prédios mais modernos.

**Figura 01** – Esquema de um elevador elétrico com casa de máquinas



Fonte: George R; Robert S. Caporale (2010.p.07.)

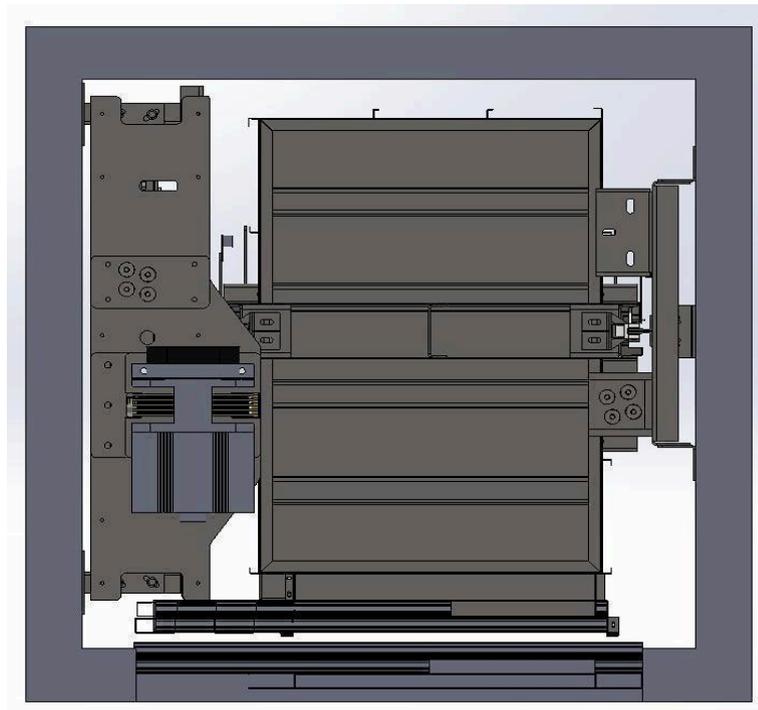
### 2.1.2 Elevador elétrico sem casa de máquinas

Com o surgimento dos motores de ímãs permanentes que oferecem maior torque e eficiência, eliminando a necessidade de caixa de redução, o uso das cintas de tração esse sistema de elevador tem se tornado comum em novas edificações nas últimas décadas.

Sua principal vantagem é ser um equipamento mais compacto que cabe dentro da caixa do elevador, não necessitando de casa de máquinas (Figura 02), um espaço que pode ser aproveitado como área útil na edificação.

Sua principal desvantagem é o seu custo de instalação, possui uma manutenção mais complexa em relação aos elevadores com casa de máquinas, porém, possui melhor eficiência.

**Figura 02** – Esquema de um elevador elétrico sem casa de máquinas



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

### 2.1.3 Elevador hidráulico

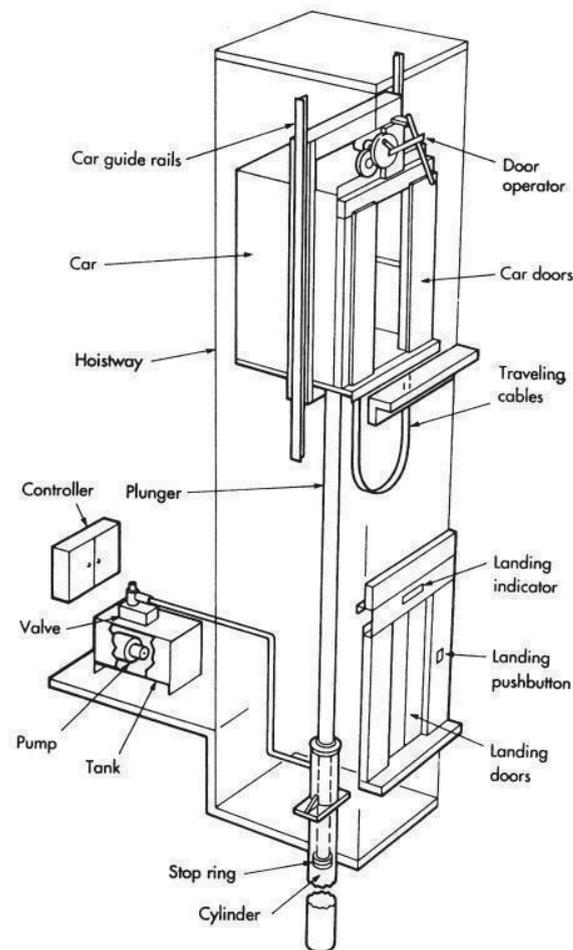
Elevador tracionado por meio do deslocamento de pistão hidráulico. Nos primórdios o fluido utilizado era água sendo substituído mais tarde por um tipo especial de óleo hidráulico.

Sua principal vantagem está na ausência de uma casa de máquinas no topo da edificação, necessitando apenas de um compartimento menor em algum lugar da edificação para abrigar a centralina (reservatório, bomba e motor elétrico).

Sua principal desvantagem é que não é um equipamento resistente a altos fluxos, necessitando de sistema de troca de calor, possui um alto custo para implementação em grandes edificações.

Esse tipo de elevador é mais aplicado em elevadores de uso restrito a acessibilidade e pequenas edificações.

**Figura 03** – Esquema de um elevador hidráulico



Fonte: George R; Robert S. Caporale (2010. p.18.)

## 2.2 TIPOS DE ACIONAMENTO

### 2.2.1 Conjunto Motor Gerador

No sistema de conjunto motor gerador, ilustrado na Figura 04, a fonte de energia elétrica trifásica é aplicada em um motor de corrente alternada, que, por sua vez, é acoplado de forma mecânica a um gerador de corrente contínua, e este alimenta o motor de corrente contínua do elevador, através da armadura. O controle de velocidade é produzido através da variação da resistência ôhmica do enrolamento de campo do gerador. A velocidade do motor de corrente alternada e a corrente de campo do motor do elevador se mantêm constantes. Ao reverter a polaridade de tensão de campo, o sentido de rotação do motor também é invertido (BORLE, 1999).

Nesse sistema o controle de velocidade oferece mais precisão, porém o custo da operação é elevado, sendo necessário instalar dois equipamentos apenas para o acionamento do motor principal, acrescido dos custos de manutenção e consumo de energia mais significativos tornam este sistema tecnologicamente ultrapassado e sendo substituído para a tecnologia Controle C.C. ou a utilização de máquinas de corrente alternada.

**Figura 04** – Esquema de um elevador C.C., conjunto motor gerador



Fonte: Papo de Elevador (2024)

- 1- Motor de corrente alternada;
- 2- Gerador de corrente contínua de potência para alimentar a máquina de tração;
- 3- Gerador de corrente contínua para alimentar o de comando e bobina de freio;
- 4- Controlador de tensão;
- 5- Motor de corrente contínua da máquina de tração.

Vale ressaltar que esse é um sistema de tracionamento e de controle muito antigo, que consome muita energia e não é usado em novos projetos de elevadores e devido a tecnologia dos inversores de frequência, motores de indução trifásicos e de ímã permanente junto com quadros de comandos microprocessados oferecerem ao usuário um nível maior de conforto em viagem e com menor consumo energético. Apesar de ser muito antigo, ainda é possível encontrar edificações que há décadas operam esse sistema, e nesse caso é muito importante

substituir o sistema de tracionamento e de controle para reduzir o consumo de energia do edifício.

### **2.2.2 Controle C.C**

No sistema de controle de corrente contínua, a tensão alternada da rede é retificada e filtrada por bancos de capacitores. A tensão aplicada nos terminais da armadura do motor e no enrolamento de campo é controlada pelo chaveamento de transistores do tipo I.G.B.T., possibilitando a aplicação de tensões positivas e negativas, revertendo a rotação. Os transistores são acionados através da modulação por largura de pulso P.W.M. e refere-se à transformação de uma variável contínua em um sinal binário alternante entre dois valores extremos (BORLE, 1999).

Durante a necessidade de operação do motor em velocidades reduzidas, durante a partida do elevador ou frenagem, o P.W.M. fornece tensão média baixa para a armadura e a incidência e frequência harmônica aumenta, impactando no aumento da temperatura no enrolamento do motor. Este problema é reduzido com a instalação de forçadores de ar para ventilação. São utilizados filtros de linha na entrada do quadro de energia, mitigando assim a interferência nas demais instalações elétricas do edifício. Aproximadamente 2% dos elevadores em operação são acionados por este tipo.

### **2.2.3 Máquina de tração de motor corrente contínua**

Motores de corrente contínua compõem-se de duas estruturas: um campo, este sendo estático é constituído dos enrolamentos elétricos do estator gerando o fluxo de magnetismo principal e o rotor, chamado de armadura constituída do rotor, enrolamentos e o conjunto de coletor e escovas. Na operação, este motor é percorrido por correntes elétricas na armadura (fornecidas pelo coletor e escovas) e no campo (fornecidas e aplicadas ao campo e produtora do fluxo de magnetismo primário). (BORLE, 1999).

### **2.2.4 Máquina de tração de motor de indução trifásico**

Em motores de indução trifásico, o enrolamento de campo é composto por espiras instaladas em ranhuras, que, ao serem energizadas por fonte de tensão trifásica, produzem o

campo magnético girante no rotor. O tipo de rotor mais utilizado no ramo de elevadores é denominado gaiola de esquilo. Este rotor é constituído por condutores retilíneos interligados nas extremidades por anéis de curto-circuito.

O campo girante produzido no estator passa pelos anéis do rotor e induz neles uma tensão, gera uma corrente e excita um campo magnético no rotor. A interação entre o campo do estator e o do rotor cria um conjugado.

**Figura 05** – Máquina de tração com engrenagem



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

### **2.2.5 Máquina de tração de ímã permanente**

As máquinas de tração que funcionam com motores síncronos de ímãs permanentes se caracterizam pelos enrolamentos no estator que, alimentados por fonte de corrente alternada em tensão trifásica, produzem um campo magnético girante. A frequência deste campo é determinada pelo número de pólos magnetizados e pela amplitude da tensão de entrada (BORLE, 1999). O rotor compõe-se de ímãs permanentes de alta magnetização onde normalmente utiliza-se ímãs de Neodímio Ferro Boro. O avanço tecnológico da eletrônica de potência e a redução dos custos de manufatura, permitiram que o uso do motor síncrono de ímãs permanentes fossem ampliando sua gama de aplicações, incluindo a indústria de elevadores. O custo da manufatura do motor de ímãs permanentes é superior à um motor equivalente de indução, porém a alta potência desempenhada e a eficiência energética o tornaram uma alternativa competitiva. Uma grande vantagem procede da estrutura reduzida

deste tipo de motor que permite a instalação do elevador sem uma casa de máquinas, onde o motor é fixado dentro da caixa de corrida.

Os motores de ímãs permanentes são utilizados em diversas velocidades de deslocamento de elevadores e a redução no consumo energético está entre 80 a 97% quando comparado ao motor por indução trifásica. Além das vantagens mencionadas, esse sistema não requer aplicação de caixa de redução, extinguindo as necessidades de intervenção periódica para troca de fluidos lubrificantes.

### 2.2.6 Máquina de tração com engrenagem vs máquina de tração sem engrenagem

A máquina de tração de motor trifásico com engrenagem, como na Figura 05, é a mais comum no mercado brasileiro nos elevadores elétricos. Trata-se de um conjunto composto por um motor elétrico, onde o eixo está ligado diretamente a um redutor do tipo coroa rosca sem fim, na finalidade da conversão da alta rotação em ganho de torque para a polia de tração dos cabos de aço. A eficiência deste tipo de máquina está na faixa dos 60% (MIRAVETE, 2007), ou seja, praticamente 40% da energia do motor é desperdiçada.

**Figura 06** – Placa de informação da máquina de tração



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

**Figura 07** – Placa de informação motor trifásico



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Comparativo da eficiência energética de uma máquina de tração de ímã permanente sem engrenagem (Figura 08) em relação a uma máquina de tração com motor de indução trifásico:

A plaqueta de informações do motor da Figura 07 não traz o valor de potência, apenas informa a tensão e corrente elétrica, nesse caso aplica-se a seguinte fórmula:

$$P = U * I$$

$$P = 220 * 21$$

$$P = 4620 \text{ W}$$

Onde P é a potência em watts, U a tensão em volts, I a corrente em ampère, essa máquina de tração com motor de indução trifásico, com redutor se aplica uma potência de 4620 watts para deslocar uma carga 490 kg a uma velocidade de 0,75 m/s.

**Figura 08** – Máquina de tração sem engrenagem de imã permanente

Fonte: Akış Asansör (2024)

**Tabela 01** – Dados técnico máquina de tração sem engrenagem AK2

| <b>Makine Tipi</b>  | <b>Hiz (m/s)</b>   | <b>Kapasite (kg)</b> | <b>Güç (kW)</b>   | <b>Kasnak Ölçüleri</b>  | <b>Akim In (A)</b> |
|---------------------|--------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| <b>Machine Type</b> | <b>speed (m/s)</b> | <b>Capacity (kg)</b> | <b>Power (kW)</b> | <b>Pulley Dimension</b> | <b>Current (A)</b> |
| <b>AK2</b>          | 0,63               | 480                  | 1,9               | 210X6X6,5               | 5,6                |
| <b>AK2</b>          | 0,63               | 630                  | 2,4               | 210X7X6,5               | 7,4                |
| <b>AK2</b>          | 0,63               | 800                  | 3,1               | 210X8X6,5               | 9,4                |
| <b>AK2</b>          | 1,00               | 480                  | 2,9               | 210X6X6,5               | 7,8                |
| <b>AK2</b>          | 1,00               | 630                  | 3,9               | 210X7X6,5               | 10,2               |

Fonte: Akış Asansör (2024)

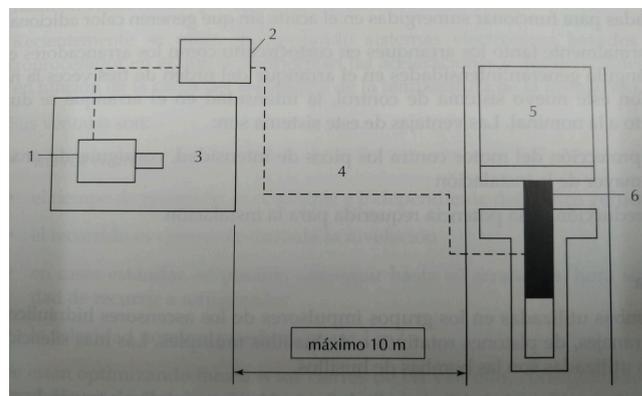
É possível observar, de acordo com a Tabela 01 que se aplica uma máquina sem engrenagem de 2900 W para tracionar 480 kg de carga a uma velocidade de 1 m/s, isso é uma eficiência superior a 40% em relação às máquinas de tração de motor trifásico com redutor.

### 2.2.7 Centralina hidráulica

A central hidráulica, como o esquema demonstra a Figura 09 e a imagem da Figura 10, é composta por um motor elétrico para acionamento de uma bomba hidráulica, que tem, por sua vez, o objetivo de pressurizar o fluido hidráulico para o deslocamento do pistão com a carga do elevador. O controle do fluxo e direcionamento são através das válvulas de manobras e de segurança. Os componentes da central hidráulica estão listados abaixo:

- 1- Conjunto motor elétrico-bomba hidráulica;
- 2- Bloco de válvulas;
- 3- Reservatório do fluido;
- 4- Tubulação;
- 5- Cabina;
- 6- Pistão hidráulico.

**Figura 09** – Esquema do sistema de uma centralina hidráulica



Fonte: MIRAVETE (2007)

**Figura 10** – Centralina hidráulica GMV



Fonte: GMV Elevadores (2024)

## 2.3 SISTEMAS DE CONTROLES

O principal sistema de controle de um elevador é conhecido como quadro de comando ou painel elétrico de comando. O quadro de comando no elevador desempenha o controle lógico e operacional. Dentre as funções de um quadro de comando está a identificação dos chamados, monitoramento dos sinais dos sensores de segurança e de emergência, acionamento do motor e identificação da posição onde o elevador se encontra. Os elevadores mais antigos operam com quadros de comandos a relés, já os elevadores com tecnologia mais recente operam com quadros de comandos microprocessados.

**Figura 11** – Quadro de comando microprocessado

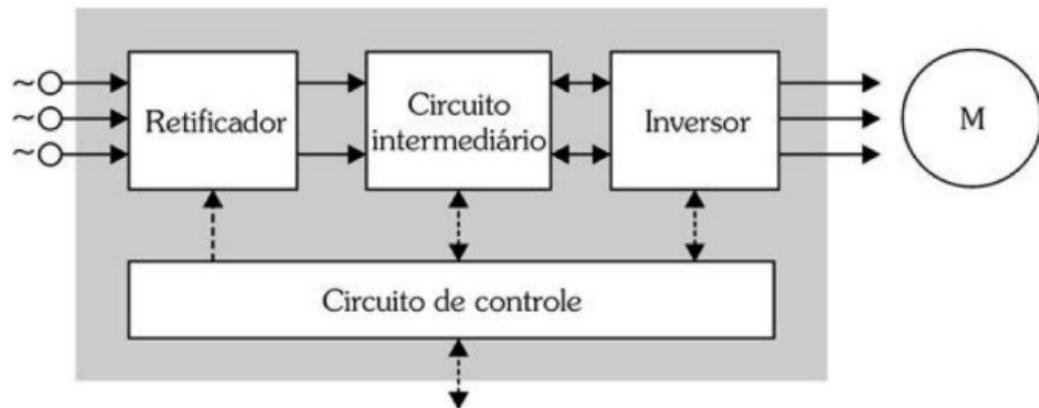


Fonte: Infolev (2024)

### 2.3.1 Inversor de frequência

O inversor de frequência é composto principalmente por quatro seções (Figura 12): retificador, barramento C.C., inversor e circuito de controle. O retificador converte a tensão C.A. de entrada em tensão C.C., o barramento C.C. armazena essa energia, o inversor converte a tensão C.C. novamente em tensão C.A. com a frequência desejada, e o circuito de controle microprocessado monitora e controla todo o processo. (FRANCHI, 2009).

**Figura 12** – Esquema de um inversor de frequência



Fonte: FRANCHI (2009)

O circuito de controle microprocessado é responsável por monitorar as informações de entrada e saída do inversor, permitindo que a velocidade do motor seja ajustada de acordo com a demanda. Isso ocorre através da alteração da frequência e amplitude da tensão de saída do inversor.

Essa capacidade de controle da velocidade do motor pelo inversor de frequência, como da Figura 13, aliada ao monitoramento e controle do microprocessador, permite reduzir o consumo de energia em até 40% em comparação a sistemas sem inversor. Além disso, melhora o desempenho do equipamento e o conforto dos passageiros, ao permitir um controle mais preciso da velocidade do motor.

**Figura 13** – Inversor de frequência Yaskawa L1000E



Fonte: Yaskawa do Brasil (2024)

### 2.3.2 Quadro de comando a relé

Os quadros de comando a relés ou painéis de comando elétrico, são compostos por dispositivos como relés, contatores, disjuntores e temporizadores, operam em elevadores antigos que ainda não foram modernizados e são um dos primeiros componentes substituídos durante o processo de modernização. Isso deve-se à dificuldade de encontrar peças de reposição no mercado, uma vez que muitos desses equipamentos têm mais de 30 anos de operação. Além disso, esses mesmos quadros não oferecem o conforto e suavidade nas partidas e paradas do elevador, enfrentam escassez de mão de obra especializada e têm uma eficiência energética menor quando comparados aos elevadores que operam com quadros microprocessados e inversores de frequência. Exemplo de um quadro à relé na Figura 14.

**Figura 14** – Quadro de comando a relé



Fonte: Sete Servic (2024)

### 2.3.3 Quadros de comando microprocessados

O quadro de comando eletrônico ou microprocessado utiliza microprocessadores que operam em lógica binária, em conjunto com sensores de última geração. A principal vantagem do quadro microprocessado é a sua capacidade de processamento rápido e tomada de decisões em tempo real, resultando em melhor desempenho e suavidade na operação do elevador.

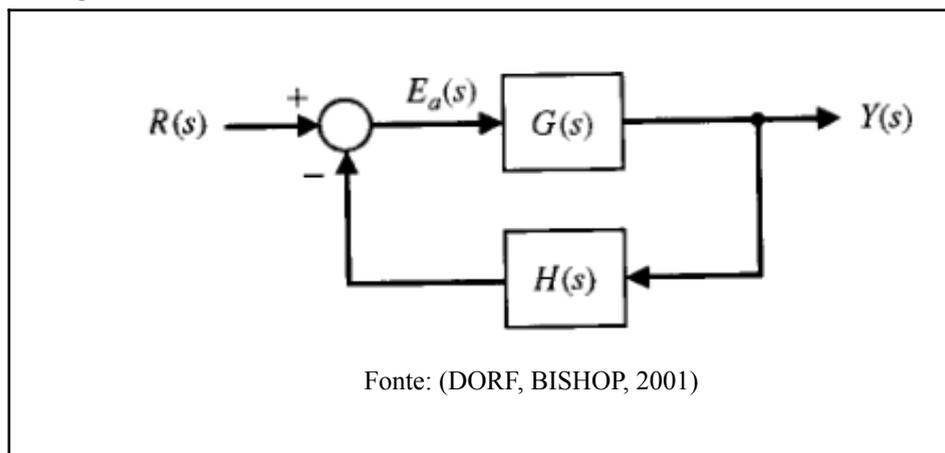
Dependendo do modelo e fabricante, fornece aos técnicos interface que possibilita acessar dados operacionais, possibilitando o diagnóstico dos dados operacionais, identificação de falhas e possibilidade de realização de ajustes se necessário.

Com o advento da tecnologia e os recursos de Cloud é possível o acesso remoto aos dados operacionais, diagnóstico automático de falhas e abertura de chamados quando alguma inconformidade é detectada. Esses equipamentos possuem um preço mais elevado e ainda não são comuns no mercado. Um sistema de controle moderno simplifica o processo de manutenção preventiva, reduz o tempo de inatividade do elevador além de oferecer mais conforto e segurança ao usuário.

O quadro de comando microprocessado, operando em malha fechada (Figura 15) e em conjunto ao inversor de frequência (Figura 16), segundo a ABEEL, pode reduzir o consumo de energia em até 40%, concomitantemente à melhora do desempenho do equipamento.

Sistemas de controle microprocessados oferecem funcionalidades adicionais como sistema de chamada inteligente (apenas o elevador mais próximo atende ao chamado), sistema regenerativo de energia, modo standby (desliga vários dispositivos quando o elevador está parado) e outras funções. No mercado nacional, estão disponíveis recursos de resgate automático através de baterias, garantindo que ninguém fique preso nas cabines em caso de interrupção no fornecimento de energia.

**Figura 15** – Esquema de um sistema malha fechada



**Figura 16** – Quadro de comando microprocessado com inversor de frequência



Fonte: Schmersal do Brasil (2024)

## 2.4 NORMA ABNT NBR 16858-7:2022

Após um hiato de 20 anos, a Agência Brasileira de Normas Técnicas publicou as normas ABNT NBR 16858-1:2021 e ABNT NBR 16858-2:2021, que estabelecem novas regras de segurança relacionadas aos elevadores de passageiros e elevadores de cargas, com a finalidade de proteger pessoas e objetos contra o risco de acidentes associados ao transporte, manutenção e operação de emergência. A ABNT NBR 16858-1:2021 estabeleceu à época um prazo máximo de 30 meses para adequação das novas instalações de elevadores.

Os elevadores foram instalados em conformidade aos protocolos de segurança vigentes à época do projeto e implantação, e estes protocolos são significativamente inferiores aos níveis de segurança vigentes.

“Atualmente há diferentes níveis de segurança nos equipamentos instalados, o que se torna uma possível causa de acidentes. Entretanto, usuários e profissionais da área esperam um nível de segurança comum aceitável onde quer que estejam. Além disso, o ciclo de vida de um elevador é mais longo do que a maioria dos outros sistemas de transporte e equipamentos do edifício, portanto, o projeto, desempenho e segurança do elevador podem ficar defasados em relação às novas tecnologias. “Se os elevadores existentes forem atualizados para a tecnologia de ponta atual de segurança, o número de lesões diminuirá.” (ABNT NBR 16858-7:2022, seção 0.1)

Esta norma é um documento oficial guiando engenheiros responsáveis pelo projeto a desenvolverem um plano de modernização e buscar elevar o nível de segurança dos

elevadores existentes, instalados há décadas, ao patamar mínimo de segurança das novas tecnologias. Apesar desse documento não ter objetivo a eficiência energética, diversos requisitos de adequações acabam impactando no desempenho energético de um equipamento submetido à modernização seguindo os requisitos da ABNT NBR 16858-7:2022 e que será abordado abaixo:

1. Tabela A.1, N° 10.3 recomenda prover meios que assegure o que elevador pare com exatidão de nivelamento conforme os requisitos da seção 5.12.1.1.4 da norma ABNT NBR 16858-1:2021. Para obter um nível de controle de partida, suavidade e precisão de nivelamento de no máximo 10mm para cima ou para baixo, é utilizado sistemas em malha fechada composto por quadros de comandos microprocessados em conjunto com inversores de frequência, sensores eletrônicos de pavimentos e encoders que são capazes de monitorar e controlar a rotação do motor e identificar a posição do elevador;
2. Tabela A.1, N° 1.1 recomenda prover os requisitos de acessibilidade da norma ABNT NBR 16858-3:2022. Para um elevador atender os níveis de acessibilidade este elevador deve oferecer suavidade na partida e parada além da e exatidão de nivelamento 10mm para cima ou para baixo, conforme os requisitos de 5.12.1.1.4 da norma ABNT NBR 16858-1:2021, portanto se aplica o sistema em malha fechada descritos no item anterior;
3. Tabela A.1, N° 5.10 recomenda prover controle de carga conforme em 5.12.1.2 da norma ABNT NBR 16858-1:2021, que deve monitorar a carga e impedir a partida do elevador, manter o sistema de frenagem travado e a porta aberta quando a carga da cabina superar 10% da capacidade instalada a fim de evitar risco de queda e sobrevelocidade por excesso de carga, e, por consequência evita sobrecorrente e aquecimento dos condutores, diminuindo a geração de calor que é uma energia não aproveitável do sistema;
4. Tabela A.1, N° 6.5 recomenda prover proteção contra sobre velocidade ascendente em 5.6.6 da norma ABNT NBR 16858-1:2021. As raras vezes pode ocorrer geralmente tem como causa a falha do freio da máquina de tração, onde a inércia da massa

contrapeso acelera a cabina elevador no movimento de subida (BAT' M.I, 1962). Geralmente é utilizado para atender esse requisito normativo: Máquina de tração de imã permanente com freio eletromecânico duplo (máquinas bem mais eficientes), limitador de velocidade e bloco de freio de emergência com acionamento bidirecional;

5. Tabela A.1, N° 6.6 recomenda prover proteção contra o movimento não intencional do elevador de porta aberta a partir de um pavimento com a porta de pavimento na posição não travada e a porta da cabina não fechada, em consequência de qualquer falha do sistema da máquina do elevador ou do sistema de controle de acionamento sobre os quais depende o movimento seguro do carro conforme em 5.6.7 da norma ABNT NBR 16858-1:2021. Para garantir esse nível de segurança é comum o uso de sensores eletrônicos em conjunto com quadros eletrônicos microprocessados e esse sistema de controle oferece melhor gerenciamento do uso de energia;
6. Tabela A.1, N° 4.10 recomenda que o esforço máximo para impedir o fechamento das portas do elevador seja de 150N a fim de evitar o risco de esmagamento conforme em 5.3.6.2.2.1 da norma ABNT NBR 16858-1:2021. É necessário o uso de portas de cabina com controle microprocessado, munida de sensores e as folhas das portas são movimentadas por servomotores, sistemas mais eficientes que as antigas portas de cabinas operadas por motores trifásicos e controlados contadores.

## **2.5 NORMA ABNT NBR ISO 25745:2024**

Norma internacional que foi desenvolvida para ser um documento que cria a metodologia que padroniza a medição do consumo energético associado à operação de elevadores, escadas rolantes e esteiras rolantes. Esta norma toma como base o consumo energético relativo à operação dos equipamentos de transporte, desconsiderando as fases do ciclo de vida como a fabricação e instalação.

Vale ressaltar que não leva em consideração os sistemas que não são considerados auxiliares a operação do equipamento como: iluminação de apoio ao técnico, sistema de climatização e sistemas de gestão técnica.

Os resultados servem como base para tomada de decisões dos agentes responsáveis pelo equipamento como proprietários dos edifícios, instaladores e responsáveis pela manutenção, arquitetos e consultores.

### **2.5.1 Estrutura da ABNT NBR ISO 25745:2024**

A norma ABNT NBR ISO 25745 divide-se em 3 partes:

Parte 1: Medição e Verificação periódica, descreve os procedimentos práticos de medição do consumo de energia dos elevadores, escadas e esteiras rolantes;

Parte 2: Cálculo de Energia e Classificação para Elevadores, define o método de cálculo para realizar a estimativa do consumo de energia baseado no consumo medido ou simulado, em uma base anual para elevadores e define a classificação de desempenho energético dos elevadores;

Parte 3: Cálculo de Energia e Classificação para Escadas e Esteiras Rolantes, define de cálculo para realizar a estimativa do consumo de energia baseado no consumo medido ou simulado, numa base anual para escadas mecânicas e tapetes rolantes e define a sua classificação de desempenho.

### **2.5.2 Metodologia de medição e classificação de elevadores segundo a ABNT NBR ISO 25745:2024**

A ABNT NBR ISO 25745-1:2024 estabelece que é necessário medir ou calcular os valores de energia consumida em quatro modos diferentes: Modo de viagem, Modo estacionário (logo após a paragem ao piso (Modo standby), Modo standby cinco minutos e Modo standby trinta minutos.

No caso de instalações em grupos, cada unidade deve ser considerada uma unidade individual. A energia consumida por um componente compartilhado em um grupo deve ser distribuída igualmente entre as unidades individuais.

As medições podem ser realizadas tanto no comissionamento de um elevador novo ou periodicamente durante a vida útil de um elevador existente.

### 2.5.2.1 Cálculo da energia diária consumida no modo viagem

As medições no modo viagem devem ser realizadas com o elevador partindo com o carro vazio a partir:

- a) do pavimento extremo inferior até o extremo superior;
- b) de um pavimento estabelecido até o pavimento predeterminado.

A ABNT NBR ISO 25745-2:2024 estabelece que o elevador deve ser categorizado pelo o número estimado de viagens por dia e esse número por ser obtido através da contagem e em ocasiões no qual esses dados não estiverem disponíveis eles podem ser estimados por sua categoria de uso descritas na Tabela 02 abaixo:

**Tabela 02** - Categoria de uso

| <b>Categoria de uso</b>          | <b>1</b>   | <b>2</b>   | <b>3</b>   | <b>4</b>   | <b>5</b>  | <b>6</b>  |
|----------------------------------|--|--|--|--|---|---|
| <b>Intensidade Freqüência</b>    | Muito baixa  | Baixa  | Média  | Alta   | Muito Alta  | Extremamente Alta                                 |
| <b>Número de viagens por dia</b> | 50<br>(<75)  | 125<br>(75<200)  | 300<br>(200<500)   | 750<br>000<br>(500 <1000)  | 1500<br>(1000<2000)                               | 2500<br>(>2000)                                   |
| <b>Uso típico</b>                | Edifícios residenciais até 6 habitações.<br><br>Pequeno edifício de escritórios com pouco movimento. | Edifício residenciais até 20 Apartamentos<br><br>Pequeno edifício de escritórios até 5 pisos | Edifício residencial até 50 apartamentos<br><br>Edifício de escritórios e de serviços, de dimensão média até 10 pisos. | Edifício residenciais com mais de 50 apartamentos<br><br>Edifício de escritórios e de serviços dimensão grande com mais 10 pisos | Edifício de serviços com mais de 100 m de altura. | Edifício de serviços com mais de 100 m de altura. |
| <b>Velocidade nominal</b>        | <b>0,63 m/s</b>  | <b>1,00 m/s</b>  | <b>1,60 m/s</b>  | <b>2,50 m/s</b>  | <b>5,00 m/s</b>                                   | <b>5,00 m/s</b>                                   |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

**Tabela 03** - Número de viagens por dia por categoria de uso

| Categoria de Uso          | 1           | 2        | 3         | 4          | 5           | 6                 |
|---------------------------|-------------|----------|-----------|------------|-------------|-------------------|
| Frequência de uso         | Muito Baixa | Baixa    | Média     | Alta       | Muito Alta  | Extremamente Alta |
| Número de viagens por dia | 50          | 125      | 300       | 750        | 1500        | 2500              |
| Faixa Típica              | <75         | 75 a 200 | 200 a 500 | 500 a 1000 | 1000 a 2000 | > 2000            |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

**Tabela 04** - Percentual da distância média no modo viagem

| Categoria de uso  | 1-3  | 4    | 5    | 6    |
|-------------------|--|------|------|------|
| Número de paradas | Percentual da distância média em viagem $P_{av}$ |      |      |      |
| 2                 | 100%   | 100% | 100% | 100% |
| 3                 | 67%  | 67%  | 67%  | 67%  |
| >3                | 49%  | 44%  | 39%  | 32%  |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

Ao classificar a categoria de uso do elevador de acordo como número de pavimentos deve ser encontrada a distância média de viagem ( $S_{av}$ ) dada pela seguinte equação:

$$S_{av} = \frac{p_{av}}{100} X s_{rc}$$

Onde:

$p_{av}$ : percentual da distância média em viagem dado em (%);

$s_{rc}$ : distância unidirecional expressa em (m).

### 2.5.2.2 Energia consumida por viagem metro

Para esse cálculo esse cálculo o elevador deve estar deslocando vazio em sua velocidade nominal e é determinado pela seguinte equação:

$$E_{rm} = \frac{1}{2} \frac{(E_{rc} - E_{sc})}{S_{rc} - S_{sc}}$$

Onde:

$E_{rm}$  : Energia consumida por metro (Wh/m)

$E_{rc}$  : Energia consumida no ciclo de referência em Watt hora (Wh)

$S_{rc}$  : Distância de uma viagem de sentido único do ciclo de referência em metros (m)

$S_{sc}$  : Distância de uma viagem de sentido único do ciclo curto em metros (m)

### 2.5.2.3 Energia consumida na partida e na parada

A energia consumida por um elevador em viagem e parado,  $E_{ssc}$  (Wh), diz respeito à energia consumida para acelerar o elevador até à velocidade nominal, desacelerar o mesmo dessa velocidade até ao ponto de chegada, abrir e fechar as portas, e a energia consumida enquanto o elevador se apresenta nos pavimentos em modo inativo (Modos standby), ou a aguardar o início de percurso. Esta energia é então dada por:

$$E_{ssc} = \frac{1}{2} (E_{rc} - 2 * E_{rm} * S_{rc})$$

### 2.5.2.4 Energia consumida no ciclo médio com o elevador vazio

O ciclo médio consiste na viagem de subida e descida que cobre a distância média de viagem de uma dada instalação, incluindo o ciclo de abertura e fecho da porta. A energia que é consumida no ciclo médio de uma dada instalação, para a qual a distância do ciclo curto permite atingir a velocidade nominal, é dada por  $E_{rav}$ , em (Wh).

$$E_{rav} = 2 * E_{rm} * S_{av} + 2 * E_{ssc}$$

Se a distância para um ciclo curto não permitir atingir a velocidade nominal aplica-se a seguinte expressão:

$$E_{rav} = E_{rc} * \frac{S_{av}}{S_{rc}}$$

### 2.5.2.5 Energia consumida no ciclo médio diário

O cálculo do consumo energético diário do elevador no modo viagem se dá pela seguinte fórmula:

$$E_{rd} = \frac{kL * nd * E_{rav}}{2}$$

Onde:

$E_{rd}$  : Consumo médio diário em (W/h);

$kL$ : Fator de carga é obtido em (%) pela equação (Tabela 05) abaixo;

$nd$  : Números de viagens por dia por categoria de uso (viagens/dia).

**Tabela 05** - Fator de carga

| Tipo de Carga  | Equação                   |
|--|---------------------------|
| contrabalançado em 50%                               | $k_L = 1 - (%Q * 0,0164)$ |
| contrabalançado em 40%                               | $k_L = 1 - (%Q * 0,0192)$ |
| contrabalançado em 30%                               | $k_L = 1 - (%Q * 0,0197)$ |
| hidráulico sem balanceamento                         | $k_L = 1 + (%Q * 0,0071)$ |
| hidráulico com 35% de balanceamento do peso do carro | $k_L = 1 + (%Q * 0,0100)$ |
| hidráulico com 70% de balanceamento do peso do carro | $k_L = 1 + (%Q * 0,0187)$ |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

Tabela 06 - Carga média do carro

| Categoria de uso          | 1-3                                     | 4    | 5    | 6     |
|---------------------------|---|------|------|-------|
| <b>Carga nominal (kg)</b> | <b>Porcentagem da carga nominal (Q)</b> |      |      |       |
| <800                      | 7,5%                                    | 9,0% | 13%  | 19%   |
| 801<1275                  | 4,5%                                    | 6,0% | 8,2% | 13,5% |
| 1276<2000                 | 3,0%                                    | 3,5% | 5,0% | 9,0%  |
| >2000                     | 2,0%                                    | 2,2% | 3,0% | 6,0%  |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

### 2.5.2.6 Energia consumida por dia com elevador em standby

O número total de horas de viagem por dia pode ser calculado de acordo com o número de viagens realizadas por dia e o tempo necessário para percorrer uma distância média.

O tempo total da viagem por dia  $t_{rd}$  é dado em horas (h) pela seguinte equação:

$$t_{rd} = n_d * \frac{t_{av}}{3600}$$

Onde:

$t_{rd}$ : Total de viagens por dia

$t_{av}$  Tempo para percorrer a distância média de viagem para a instalação em análise, incluindo os tempos de abertura e fechamento das portas em segundos (s).

O tempo para deslocar a distância média  $t_{av}$  é dado em:

$$t_{av} = \frac{S_{sav}}{V} + \frac{v}{a} + \frac{a}{j} + t_d$$

Onde:

$t_d$ : Tempo para abertura e fechamento das portas do elevador expressa em segundos;

- $v$ : Velocidade nominal em m/s;  
 $a$ : Aceleração média em m/s<sup>2</sup>;  
 $j$ : Jerks em m/s<sup>3</sup>.

Os valores para ( $a$ ) e ( $j$ ) podem ser obtidos por medição ou por informações dadas dos fabricantes, quando os fabricantes não informam, esses valores devem ser medidos.

### 2.5.2.7 Tempo do elevador estacionado por dia

Após calcular o número total de horas em viagem por dia ( $t_{rd}$ ), subtrai por 24 horas do dia para encontrar o tempo em que o elevador ficou parado por dia ( $t_{nr}$ ).

$$t_{nr} = 24 - t_{rd}$$

Onde:

$t_{nr}$  : Tempo do elevador parado por dia expresso em horas (h).

### 2.5.2.8 Razão de tempo no modo espera

A energia diariamente consumida por um elevador no modo estacionado ou standby, inclui três períodos distintos:

- a) Período logo após a parada do elevador, até à entrada do modo standby de cinco minutos;
- b) Período que vai desde os cinco minutos até à entrada do modo de standby de trinta minutos;
- c) Período que excede os trinta minutos.

O percentual do tempo em que o elevador está em cada um dos três modos considerados anteriormente, segundo a norma ABNT NBR ISO 25745, depende da sua categoria de utilização, podendo tomar os valores da Tabela 7 abaixo:

**Tabela 07** - Razão de tempo no modo de espera

| Categoria de uso   |            | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 - 6 |
|--------------------|------------|----|----|----|----|-------|
| Razão de tempo (%) | $R_{id}$   | 13 | 23 | 36 | 45 | 42    |
|                    | $R_{st5}$  | 55 | 45 | 31 | 19 | 17    |
|                    | $R_{st30}$ | 32 | 32 | 33 | 36 | 41    |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

### 2.5.2.9 Consumo diário de energia no modo de espera

O consumo de energia diária no modo estacionário ou standby ( $E_{nr}$  em Wh), dependerá da porcentagem de tempo que o elevador passa em cada um dos três modos anunciados anteriormente, bem como a potência consumida em cada um deles e o tempo diário para o qual o elevador se encontra em modo estacionário ou standby ( $t_{nr}$ ), resultando o valor da energia da aplicação da seguinte expressão:

$$E_{nr} = \frac{t_{nr}}{100} (P_{id} R_{id} + P_{st5} R_{st5} + P_{st30} R_{st30})$$

Onde:

$P_{id}$ : Potência consumida em modo de espera, expressa em Watt (W);

$P_{st5}$ : Potência consumida em modo espera, 5 minutos após a parada, em Watt (W);

$P_{st30}$ : Potência consumida em modo espera, 30 minutos após a parada, em Watt (W);

$R_{id}$ : Razão do consumo no modo espera de Pid, expressa em porcentagem (%);

$R_{st5}$ : Razão de consumo no modo descanso de Pst5, 5 minutos após a parada (%);

$R_{st30}$ : Razão de consumo no modo descanso de Pst5, 30 minutos após a parada (%);

$E_{nr}$ : Consumo diário de energia no modo estacionário, expressa em watt hora (Wh).

### 2.5.2.10 Consumo total de energia por dia

O total do consumo diário de energia é dado pela seguinte equação:

$$E_d = E_{rd} + E_{nr}$$

Onde:

$E_d$  : Consumo total de energia por dia, expresso em Watt hora (Wh);

$E_{rd}$  : Consumo diário de energia no ciclo médio , em Watt hora (Wh);

### 2.5.2.11 Consumo total de energia por ano

O total do consumo anual de energia ( $E_y$ ) é dado pela seguinte equação:

$$E_y = E_d * d_{op}$$

Onde:

$E_d$  : Consumo total de energia por dia, em Watt hora (Wh);

$E_y$  : Consumo anual de energia em Watt hora (Wh);

$d_{op}$  : operação por por ano em dias ;

### 2.5.2.12 Método para classificação energética do elevador

A ABNT NBR ISO 2574-2:2024 em 6.1 estabelece que a metodologia de classificação pode ser usada para elevadores novos, existentes e pode ser aplicada somente em instalações em forma individual. Também pode ser usada para reclassificar um elevador após passar por uma modernização.

### 2.5.2.13 Nível de eficiência em modo viagem

A energia de viagem no ciclo médio é dado pela seguinte equação:

$$E_{spc} = \frac{1000 * k_L * E_{rav}}{2 * Q * S_{sav}}$$

Onde:

$E_{spc}$  : Energia de viagem específica para o ciclo médio, expressa em miliwatt hora por quilograma metro mWh/(kgm);

$Q$ : Carga nominal expressa em quilograma (kg).

A energia específica para o ciclo médio para um elevador a atribuída para classificar o seu nível de eficiência no modo viagem de acordo com a Tabela 08 abaixo:

**Tabela 08** - Nível de eficiência para modo viagem

|   |        |        |        |        |        |        |       |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Energia de viagem ciclo médio (mWh/kgm) | ≤ 0,72 | ≤ 1,08 | ≤ 1,62 | ≤ 2,43 | ≤ 3,65 | ≤ 5,47 | >5,47 |
| Nível de Eficiência                     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7     |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

### 2.5.2.14 Nível de eficiência em modo estacionário

O nível de desempenho energético no modo estacionário de 5 e 30 minutos, é dado recorrendo à potência dos mesmos e associando-as à Tabela 09 abaixo:

**Tabela 09** - Nível de eficiência para estacionário

| Potência de modo de espera e descanso (W) | ≤ 50 | ≤ 100 | ≤ 200 | ≤ 400 | ≤ 800 | ≤ 1600 | >1600 |
|---|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Nível de Eficiência                       | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6      | 7     |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

### 2.5.2.15 Classificação energética conforme a ABNT NBR ISO 25745-2:2024

A classificação do desempenho energético de acordo com a ABNT NBR ISO 25745-2:2024 compara o consumo diário de energia (Tabela 10), com o nível de eficiência em modo viagem (Tabela 08) e nível de eficiência no modo estacionário (Tabela 09).

**Tabela 10** - Classificação de eficiência energética

| Classe de Eficiência Energética | Consumo de energia por dia (Wh)                           |
|---------------------------------|---|
| A                               | $E_d \leq 0,72 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 50 * t_{nr}$   |
| B                               | $E_d \leq 1,08 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 100 * t_{nr}$  |
| C                               | $E_d \leq 1,62 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 200 * t_{nr}$  |
| D                               | $E_d \leq 2,43 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 400 * t_{nr}$  |
| E                               | $E_d \leq 3,65 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 800 * t_{nr}$  |
| F                               | $E_d \leq 5,47 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 1600 * t_{nr}$ |
| G                               | $E_d \leq 5,47 * Q * n_d * s_{av} / 1000 + 1600 * t_{nr}$ |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

## 2.6 TIPOS DE MODERNIZAÇÃO

### 2.6.1 Modernização estética

A modernização estética, alteram-se os itens de dentro da cabina como piso, porta, corrimão, teto, aplicação de sistema multimídias e ela tem o por principal objetivo renovar o visual do elevador e combina design e conforto, harmonizando com os detalhes arquitetônicos da edificação.

Figura 17 – Modernização estética da cabina do elevador



Fonte: Mundial Elevadores (2024)

### 2.6.2 Modernização técnica

Apesar de não ser vista pelos passageiros do elevador, a modernização técnica é a mais importante a ser realizada. Essa modernização é responsável por adequações às normas técnicas de segurança, conforto dos usuários, melhor eficiência, diminuição de paradas para manutenção corretiva e intervenção e redução de custos do consumo de energia.

Alguns exemplos são os serviços substituição do quadro de comando, aplicação de inversor de frequência, encoder, trocas dos sensores, atualização do sistema de frenagem, substituição do sistema de tracionamento do elevador.

### 2.6.3 Modernização tecnológica

A modernização tecnológica objetiva trazer novas tecnologias ao elevador e que podem proporcionar melhor experiência ao usuário e resultados a longo prazo, aumentando a vida útil do elevador e eficiência energética.

A aplicação de um sistema regenerativo é um exemplo de modernização tecnológica, pois em vez de desperdiçar energia na forma de calor, essa energia pode ser reaproveitada no sistema. Outro exemplo é o uso de Cloud e (IoT), que possibilita o acesso remoto aos dados operacionais dos elevadores, diagnóstico automático de falhas e abertura automáticas de chamados quando alguma inconformidade é detectada.

**Figura 18** – Esquema de um sistema Cloud IoT para elevadores



Fonte: Infolev Elevadores (2024)

## 2.7 PRINCIPAIS ERROS DE MODERNIZAÇÃO QUE CAUSAM INEFICIÊNCIA

### 2.7.1 Desbalanceamento de carga

Os elevadores elétricos a tração utilizam um sistema de compensação de carga através do contrapeso (Figura 19) e dos meios de compensação que podem ser correntes ou cabos de aço. O contrapeso é uma estrutura móvel composta com pesos fixos e pesa a massa do elevador vazio mais uma porcentagem de 40% a 50% da capacidade de carga projetada do elevador e desloca no sentido contrário da cabina do elevador, funcionando como um tipo de gangorra (JANOVSKÝ, 1992). Além de balancear a carga, o contrapeso reduz o esforço necessário do motor para deslocar a carga e na hora da frenagem.



Para o cálculo do contrapeso se dá pela seguinte fórmula:

$$Z = K + \psi * Q + H * \frac{qe}{4}$$

Fonte: (JANOVSKY, 1992)

Onde:

Z: Massa o contrapeso em kg;

K: Peso do elevador vazio em kg;

$\psi$  : Coeficiente do balanceamento de carga do contrapeso em %;

Q: Capacidade de carga licenciada em kg;

H: Altura em m;

qe: Peso do cabo de tração em kg/m.

### 2.7.2 Ausência de controle de chamadas em grupos de elevadores

Tecnologia embarcada no sistema de controle que traça a melhor estratégia para atender os chamados dos pavimentos (Figura 20), evitando movimentos desnecessários, reduzindo o tempo de espera, melhorando o fluxo de passageiros e reduzindo o consumo energético (MUHAMMAD; XUEQING, 2020).

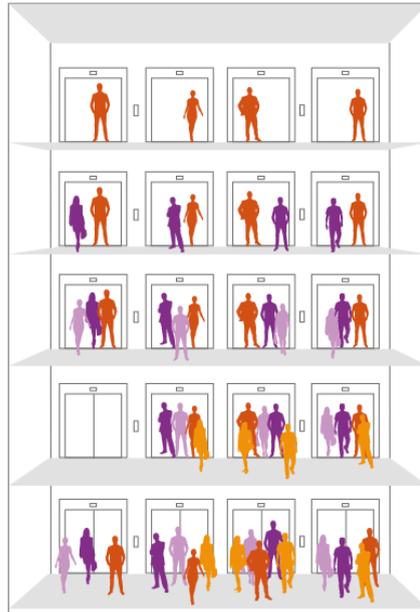
A estratégia depende da necessidade e a dinâmica do fluxo de passageiros as mais comuns são:

- Atender sempre o elevador mais próximo ao pavimento chamado;
- Seletivo na subida ou descida;
- Estacionamento pré-definido de acordo com prédio, horário;
- Seleção do elevador de acordo com o destino dos passageiros.

Abaixo o princípio de um elevador com controle inteligente de chamada (Figura 21), classificando os passageiros que viajam para andares próximos, agrupados e direcionados para os elevadores que chegarão em seus destinos em menor tempo:

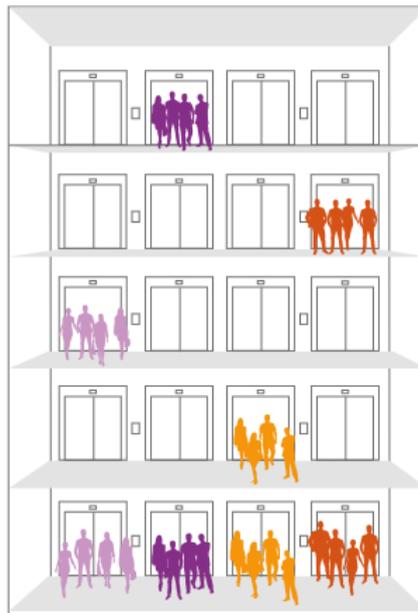
- Os passageiros selecionam no pavimento o andar desejado;
- O sistema classifica os passageiros de acordo com os seus pavimentos;
- O sistema envia para cada passageiro os elevadores designados;
- Os passageiros embarcam nos seus elevadores atribuídos.

**Figura 20** – Esquema de um sistema convencional de chamadas



Fonte: TK Elevator (2024)

**Figura 21** – Esquema de um sistema de controle inteligente de chamada



Fonte: TK Elevator (2024)

É possível observar nas figuras que um elevador com controle inteligente de chamadas pode transportar mais pessoas, com menor número de viagens e menor tempo, aumentando a eficiência do tráfego e reduzindo o consumo de energia, e portanto, é recomendável

considerar em uma modernização a aplicação desse sistema principalmente em edificações de alto fluxo de passageiros com vários elevadores operando em grupos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para medição e verificação foram adotados os procedimentos da norma ABNT NBR ISO 25745-1:2024<sup>1</sup> onde foram selecionados dois elevadores do mesmo fabricante (Anexo 05) e (Anexo 06), com aproximado tempo de operação dos quais são elevadores únicos de suas respectivas edificações.

No primeiro equipamento foi atribuído o nome “Elevador 01”, este em operação há mais de três décadas sem ter sido submetido à uma modernização técnica, tecnológica ou estética, restrita à substituição de peças defeituosas na manutenção. O segundo elevador foi atribuído o nome “Elevador 02” e este foi submetido a um pacote de modernização técnica, tecnológica e estética recente, há menos de cinco anos.

Foram coletados os dados dos equipamentos e realizadas as medições requeridas na Tabela 01 da ABNT NBR ISO 25745-1:2024 como: Energia do circuito principal em movimento, energia do circuito principal em tempo de espera, medida da corrente elétrica conforme em 4.3.2 da ABNT NBR ISO 25745-1:2024 e como medida adicional, a velocidade de deslocamento do elevador.

Para a medição do circuito principal com elevador em movimento com a cabina vazia foi tomado como base os procedimentos em 5.2.2 da ABNT NBR ISO 25745-1:2024 para:

- a) Medição da energia do ciclo de referência, o carro deslocando com a cabina vazia do extremo inferior ao extremo superior repetindo o ciclo por dez vezes;
- b) Medição da energia do ciclo curto, o carro deslocando com a cabina vazia do extremo inferior até um pavimento designado equivalente a  $\frac{1}{4}$  do percurso total do elevador.

---

<sup>1</sup> Fluxograma disponível no Anexo 01

Para a medição do circuito principal com elevador no modo estacionado ou standby, com a cabina vazia foi tomado como base os procedimentos em 5.2.3 da ABNT NBR ISO 25745-1:2024 para:

- a) Medição da potência em modo estacionário;
- b) Medição da potência em modo estacionário 5 minutos;
- c) Medição da potência em modo estacionário 30 minutos;
- d) Medição do tempo de abertura e fechamento da porta do elevador.

Conforme em 6.3.1b da ABNT NBR ISO 25745-1:2024 foram desligados os equipamentos auxiliares como, por exemplo, sistema de ventilação e climatização, multimídia e sonorização.

Após a aquisição dos dados em campo foram aplicados os cálculos e os parâmetros tabelados pela norma ABNT NBR ISO 25745-2:2024 para realizar a classificação do consumo energético dos elevadores e realizar o comparativo da eficiência energética entre um elevador não reformado com um elevador reformado.

### **3.1 MATERIAIS**

Foram utilizadas as seguintes ferramentas para medição e obtenção dos dados para análise: voltímetro, amperímetro, medidor de energia conforme em 5.1.1 da ABNT NBR ISO 25745-1:2024, tacômetro e relógio cronômetro. (Imagens no Anexo 09).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ELEVADOR 01

Dados do Elevador 01 coletado no local da instalação:

Marca: Real;

Tempo de operação: 37 anos (Fornecido pela empresa conservadora);

Reformado: Não (Fornecido pela empresa conservadora);

Comando: Relés e contadores de carvão;

Inversor de frequência: Não;

Potência do motor: 6 CV ou 4,41 KW (Fornecido pelo fabricante);

Partida: Estrela triângulo (Fornecido pelo fabricante);

Corrente: 18A/14A (Fornecido pelo fabricante);

Capacidade de carga  $Q$ : 490 kg (Fornecido pelo fabricante);

Velocidade nominal  $v$ : 1,00 m/s (Fornecido pelo fabricante);

Balanceamento: 50% (Fornecido pelo fabricante);

Dados obtidos por medição no local da instalação, cálculo ou tabela:

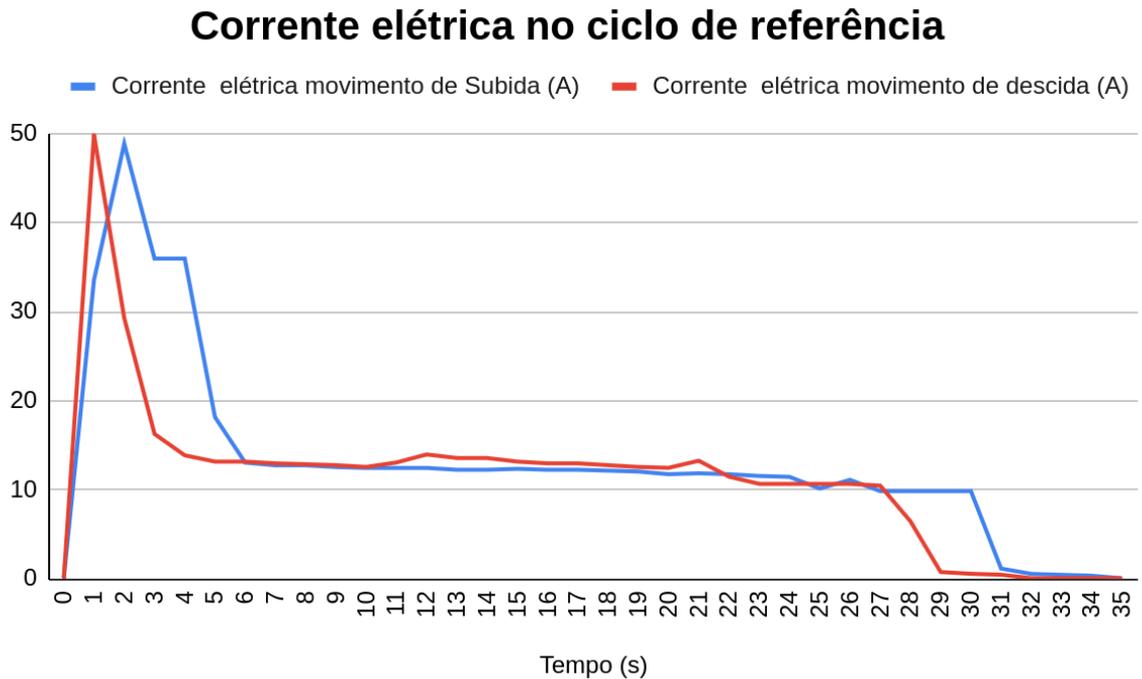
**Tabela 11** - Energia do ciclo referência, do ciclo curto e potência em modo parado<sup>2</sup>

|  |          |    |
|--|----------|----|
| <b>Energia do ciclo referência</b> $E_{rc}$      | 188609,2 | Ws |
|  | 52,43    | Wh |
| <b>Energia do ciclo curto</b> $E_{sc}$           | 96698,9  | Ws |
|  | 26,88    | Wh |
| <b>Potência do elevador parado</b> $P_{id}$      | 160      | W  |
| <b>Potência do elevador parado 5</b> $P_{st5}$   | 110      | W  |
| <b>Potência do elevador parado 30</b> $P_{st30}$ | 75       | W  |

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

<sup>2</sup> O Anexo 07 contém os dados obtidos por medição e cálculo do equipamento “Elevador 01”.

**Gráfico 01** - Corrente elétrica com elevador em movimento com o carro vazio



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

**Categoria:** Edificação com menos de 20 apartamentos, elevador classificado como Categoria 2 conforme a Tabela 02;

**Número de viagens diárias  $nd$ :** 125 viagens diárias utilizado como referência para elevadores classificados na Categoria 2 conforme a Tabela 03;

**Aceleração  $a$ :** Aceleração padrão de  $0,5 \text{ m/s}^2$  para elevadores de velocidade nominal  $v$  de até  $2,5 \text{ m/s}$ , (MIRAVETE, 2007);

**Jerk  $j$ :**  $1,25 \text{ m/s}^3$  (Fornecido pelo fabricante);

**Distância unidirecional  $s_{rc}$ :**  $28\text{m}$ , distância referente ao deslocamento do elevador do extremo inferior até o extremo superior;

**Distância do ciclo curto  $S_{sc}$ :**  $7\text{m}$ , deslocamento do elevador equivalente a  $\frac{1}{4}$  da distância unidirecional  $s_{rc}$ ;

**Percentual da distância média em viagem  $p_{av}$ :** Para elevador de Categoria 2, acima de 3 paradas, adota-se o valor de  $49\%$ , conforme a Tabela 04;

**Carga média do carro  $\%Q$ :** Para elevador de Categoria 2 e capacidade de carga  $Q$  menor que  $800 \text{ kg}$ , adota-se o valor de  $7,50\%$  conforme a Tabela 06;

**Fator de carga  $k_L$**  : Para elevadores com balanceamento de 50%, conforme a Tabela 05, utiliza-se a seguinte equação:  $k_L = 1 - (\%Q * 0,0164)$  , logo:

$$k_L = 1 - (7,5 * 0,0164) = 0,87.$$

Para calcular a distância média em viagem unidirecional (2.5.2.1):

$$S_{av} = \frac{p_{av}}{100} X S_{rc}$$

$$S_{av} = \frac{49}{100} X 28m = 13,72m$$

Para calcular o consumo médio de energia por metro de viagem (2.5.2.2):

$$E_{rm} = \frac{1}{2} \frac{(E_{rc} - E_{sc})}{S_{rc} - S_{sc}}$$

$$E_{rm} = \frac{1}{2} \frac{(52Wh - 26,88Wh)}{28m - 7m} = 0,60 Wh/m$$

Para calcular o consumo médio de energia partida/parada para cada viagem (2.5.2.3):

$$E_{ssc} = \frac{1}{2} (E_{rc} - 2 * E_{rm} * S_{rc})$$

$$E_{ssc} = \frac{1}{2} [52 Wh - (2 * 0,60 Wh/m * 28m)] = 9,25 Wh$$

Para calcular consumo de energia em viagem no ciclo médio (2.5.2.4):

$$E_{rav} = 2 * E_{rm} * S_{av} + 2 * E_{ssc}$$

$$E_{rav} = (2 * 0,60 Wh/m * 13,72m) + (2 * 9,25 Wh)$$

$$= 34,92 Wh$$

Para calcular o consumo diário de energia no ciclo médio (2.5.2.5):

$$E_{rd} = \frac{kL * nd * E_{rav}}{2}$$

$$E_{rd} = \frac{(0,87 * 125 * 34,92 Wh)}{2} = 1898,69 Wh$$

Para calcular o tempo para percorrer a distância média em viagem, incluindo o tempo de abertura e fechamento das portas (2.5.2.6):

$$t_{av} = \frac{S_{sav}}{V} + \frac{v}{a} + \frac{a}{j} + t_d$$

$$t_{av} = \frac{13,72 m}{1 m/s} + \frac{1 m/s}{0,5 m/s^2} + \frac{0,5 m/s^2}{1,25 m/s^3} + 6 = 22,12 s$$

Para calcular o tempo total em viagem por dia (2.5.2.6):

$$t_{rd} = n_d * \frac{t_{av}}{3600}$$

$$t_{rd} = 125 * \frac{22,12 s}{3600 s} = 0,77 h$$

Para calcular o tempo total em modo estacionado (2.5.2.7):

$$t_{nr} = 24 - t_{rd}$$

$$t_{nr} = 24 h - 0,77 h = 23,23 h$$

Para calcular o consumo diário de energia em modo estacionado (2.5.2.9):

$$E_{nr} = \frac{t_{nr}}{100} (P_{id} R_{id} + P_{st5} R_{st5} + P_{st30} R_{st30})$$

Os valores das razões de tempo do modo de espera, de acordo com a Tabela 07 para um elevador de Categoria 2 são:

$$R_{id} = 23; R_{st5} = 45; R_{st30} = 32$$

$$E_{nr} = \frac{23,23 h}{100} [(160W * 23) + (110W * 45) + (75W * 32)] = 2562,48 Wh$$

Para calcular o consumo total de energia diário (2.5.2.10):

$$E_d = E_{rd} + E_{nr}$$

$$E_d = 1898,69 Wh + 2562,48 Wh = 4461,17 Wh$$

Para calcular o consumo total de energia anual (2.5.2.11):

$$E_y = E_d * d_{op}$$

$$E_y = 4461,17 Wh * 365 d_{op} = 1628327,59 Wh$$

$$E_y = \frac{1628327,59 Wh}{1000} = 1628,32 KWh$$

Para o calcular a energia específica no modo viagem (2.5.2.13):

$$E_{spc} = \frac{1000 * k_L * E_{rav}}{2 * Q * S_{sav}}$$

$$E_{spc} = \frac{1000 * 0,87 * 34,92 Wh}{2 * 490 kg * 13,72 m} = 2,26 mW/kgm$$

A energia específica do Elevador 01 no modo viagem  $E_{spc}$  é igual  $2,26 mW/kgm$ , um valor maior de  $1,62 mW/kgm$  e menor que  $2,43 mW/kgm$ , de acordo com a Tabela 08, o consumo energético em modo viagem para o Elevador 01 deverá ser classificado como nível de consumo 4. Para o nível de consumo no modo estacionário, a potência em modo espera  $P_{id}$  é igual a 160W, valor maior que 100W e menor que 200W, conforme a Tabela 09, o Elevador 01 deve ser classificado como nível 3 no modo estacionário.

Para o cálculo da classificação do nível de consumo energético do Elevador 01 utilizado o consumo diário de energia  $E_d$  de acordo com as fórmulas da Tabela 09:

$$\text{Classificação A: } Ed \leq \frac{0,72 \cdot Q \cdot nd \cdot S_{av}}{1000} + (50 \cdot t_{nr})$$

$$Ed \leq \frac{0,72 \cdot 490 \cdot 125 \cdot 13,32}{1000} + (50 \cdot 23,23 h) = 1766,65 Wh$$

$$\text{Classificação B: } Ed \leq \frac{1,08 \cdot Q \cdot nd \cdot S_{av}}{1000} + (50 \cdot t_{nr})$$

$$Ed \leq \frac{1,08 \cdot 490 \cdot 125 \cdot 13,32}{1000} + (50 \cdot 23,23 h) = 3230,77 Wh$$

$$\text{Classificação C: } Ed \leq \frac{1,62 \cdot Q \cdot nd \cdot S_{av}}{1000} + (50 \cdot t_{nr})$$

$$Ed \leq \frac{1,62 \cdot 490 \cdot 125 \cdot 13,32}{1000} + (50 \cdot 23,23 h) = 6007,76 Wh$$

O valor de  $Ed$  é igual 4461,17 Wh, valor maior que 3230,77 Wh e menor que 6007,76 Wh, de acordo com a Tabela 10, o Elevador 01 deverá ser classificado como nível C em eficiência energética.

É importante ressaltar que a ABNT NBR ISO 25745-1:2024 recomenda realizar novas medições e cálculos após um processo de modernização, ou mesmo a qualquer momento durante a vida útil do elevador e dependendo do resultado, o nível de consumo energético do elevador poderá ser reclassificado.

## 4.2 ELEVADOR 02

Dados do Elevador 02 coletado no local da instalação:

Marca: Real;

Tempo de operação: 39 anos (Fornecido pela empresa conservadora);

Reformado: Sim (Fornecido pela empresa conservadora);

Comando: Quadro de comando microprocessado Scanchip;

Inversor de frequência: Yaskawa V1000;

Potência do motor: 8 CV ou 5,88 KW;

Corrente: 21A;

Capacidade de carga: 560 kg (Fornecido pelo fabricante);  
 Velocidade nominal: 1,00 m/s (Fornecido pelo fabricante);  
 Balanceamento: 50% (Fornecido pelo fabricante);

Dados obtidos por medição no local da instalação, cálculo ou tabela:

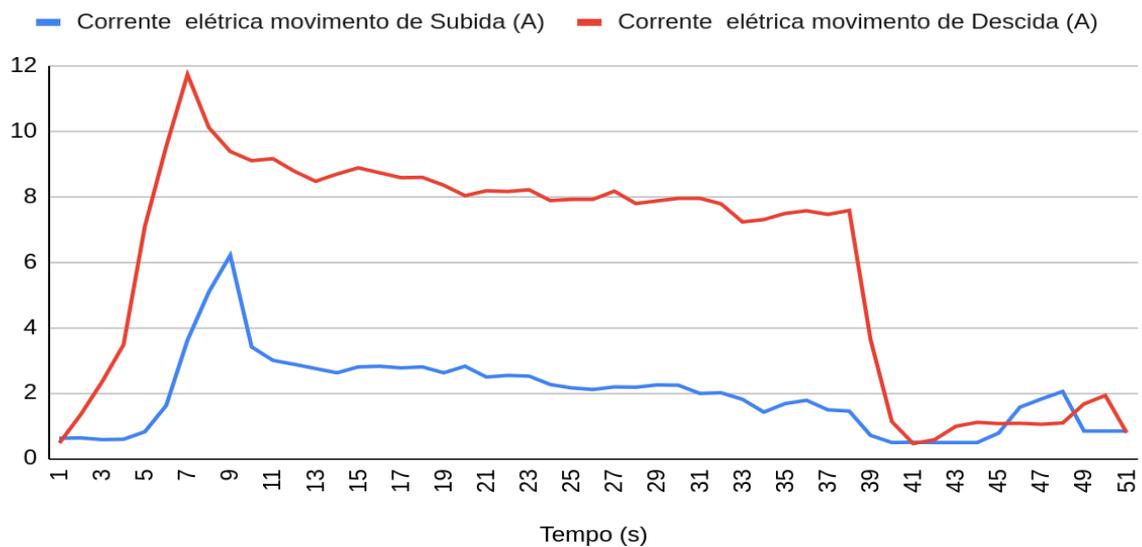
**Tabela 12** - Energia do ciclo referência, do ciclo curto e potência em modo parado<sup>3</sup>

|   |          |    |
|---|----------|----|
| <b>Energia do ciclo referência <math>E_{rc}</math></b>      | 86887,72 | Ws |
|   | 24,15    | Wh |
| <b>Energia do ciclo curto <math>E_{sc}</math></b>           | 33050,63 | Ws |
|   | 9,19     | Wh |
| <b>Potência do elevador parado <math>P_{id}</math></b>      | 130      | W  |
| <b>Potência do elevador parado 5 <math>P_{st5}</math></b>   | 95       | W  |
| <b>Potência do elevador parado 30 <math>P_{st30}</math></b> | 44       | W  |

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

**Gráfico 02** - Corrente elétrica com elevador em movimento com o carro vazio

### Corrente elétrica no ciclo de referência



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

<sup>3</sup> O Anexo 08 contém os dados obtidos por medição e cálculo do equipamento “Elevador 02”.

**Categoria:** Edificação com menos de 20 apartamentos, elevador classificado como Categoria 2 conforme a Tabela 02;

**Número de viagens diárias  $nd$ :** 125 viagens diárias utilizado como referência para elevadores classificados na Categoria 2 conforme a Tabela 03;

**Aceleração  $a$ :** Aceleração padrão de 0,5 m/s<sup>2</sup> para elevadores de velocidade nominal  $v$  de até 2,5 m/s, (MIRAVETE 2007);

**Jerk  $j$ :** 1,25 m/s<sup>3</sup> (Fornecido pelo fabricante);

**Distância unidirecional  $s_{rc}$ :** 36m, distância referente ao deslocamento do elevador extremo inferior até o extremo superior;

**Distância do ciclo curto  $S_{sc}$ :** 9m, equivalente a ¼ da distância unidirecional  $s_{rc}$ ;

**Percentual da distância média em viagem  $p_{av}$ :** Para elevador de Categoria 2, adota-se o valor de 44%, conforme a Tabela 04;

**Carga média do carro  $\%Q$ :** Para elevador de Categoria 2 e capacidade de carga  $Q$  menor que 800 kg, adota-se o valor de 7,50% conforme a Tabela 06;

**Fator de carga  $k_L$ :** Para elevadores com balanceamento de 50%, conforme a Tabela 05, utiliza-se a seguinte equação:  $k_L = 1 - (\%Q * 0,0164)$ , logo:

$$k_L = 1 - (7,5 * 0,0164) = 0,87.$$

Para calcular a distância média em viagem unidirecional (2.5.2.1):

$$S_{av} = \frac{p_{av}}{100} X S_{rc}$$

$$S_{av} = \frac{49}{100} X 36m = 17,64m$$

Para calcular o consumo médio de energia por metro de viagem (2.5.2.2):

$$E_{rm} = \frac{1}{2} \frac{(E_{rc} - E_{sc})}{S_{rc} - S_{sc}}$$

$$E_{rm} = \frac{1}{2} \frac{(24,15 Wh - 9Wh)}{36m - 9m} = 0,28 Wh/m$$

Para calcular o consumo médio de energia partida/parada para cada viagem (2.5.2.3):

$$E_{ssc} = \frac{1}{2} (E_{rc} - 2 * E_{rm} * S_{rc})$$

$$E_{ssc} = \frac{1}{2} [24,15 Wh - (2 * 0,28 Wh/m * 36m)] = 1,98 Wh$$

Para calcular consumo de energia em viagem no ciclo médio (2.5.2.4):

$$E_{rav} = 2 * E_{rm} * S_{av} + 2 * E_{ssc}$$

$$E_{rav} = (2 * 0,28 Wh/m * 17,64 m) + (2 * 1,98 Wh) = 13,85 Wh$$

Para calcular o consumo diário de energia no ciclo médio (2.5.2.5):

$$E_{rd} = \frac{kL * nd * E_{rav}}{2}$$

$$E_{rd} = \frac{(0,87 * 125 * 13,85 Wh)}{2} = 752,99 Wh$$

Para calcular o tempo para percorrer a distância média em viagem, incluindo o tempo de abertura e fechamento das portas (2.5.2.6):

$$t_{av} = \frac{S_{sav}}{V} + \frac{v}{a} + \frac{a}{j} + t_d$$

$$t_{av} = \frac{17,64 m}{1 m/s} + \frac{1 m/s}{0,5 m/s^2} + \frac{0,5 m/s^2}{1,25 m/s^3} + 8 = 28,04 s$$

Para calcular o tempo total em viagem por dia:

$$t_{rd} = n_d * \frac{t_{av}}{3600}$$

$$t_{rd} = 125 * \frac{28,04}{3600s} = 0,97 h$$

Para calcular o tempo total em viagem por dia (2.5.2.6):

$$t_{nr} = 24 - t_{rd}$$

$$t_{nr} = 24h - 0,97h = 23,03h$$

Para calcular o tempo total em modo estacionado (2.5.2.7):

$$E_{nr} = \frac{t_{nr}}{100} (P_{id} R_{id} + P_{st5} R_{st5} + P_{st30} R_{st30})$$

Os valores das razões de tempo do modo de espera, de acordo com a Tabela 06 para um elevador de Categoria 2 são:

$$R_{id} = 23; R_{st5} = 45; R_{st30} = 32$$

$$E_{nr} = \frac{23,03h}{100} [(130W * 23) + (95W * 45) + (44W * 32)] = 1997,08 Wh$$

Para calcular o consumo total de energia diário (2.5.2.10):

$$E_d = E_{rd} + E_{nr}$$

$$E_d = 752,99 Wh + 1997,08 Wh = 2750,06 Wh$$

Para calcular o consumo total de energia anual (2.5.2.11):

$$E_y = E_d * d_{op}$$

$$E_y = 2750,06 Wh * 365d_{op} = 1003773,25 Wh$$

$$E_y = \frac{1003773,25 Wh}{1000} = 1003,77 KWh$$

Para o calcular a energia específica no modo viagem (2.5.2.13):

$$E_{spc} = \frac{1000 * k_L * E_{rav}}{2 * Q * S_{sav}}$$

$$E_{spc} = \frac{1000 * 0,87 * 13,85 Wh}{2 * 560 kg * 17,64 m} = 0,61 mW/kgm$$

A energia específica do Elevador 02 no modo viagem  $E_{spc}$  é igual  $0,61 mW/kgm$ , um valor menor que  $0,72 mW/kgm$ , de acordo com a Tabela 08, o consumo energético em modo viagem para o Elevador 02 deverá ser classificado como nível de consumo 1. Para o nível de consumo no modo estacionário, a potência em modo espera  $P_{id}$  é igual a 130W, valor maior que 100W e menor que 200W, conforme a Tabela 09, o Elevador 02 deve ser classificado como nível 3 no modo estacionário.

Para o cálculo da classificação do nível de consumo energético do Elevador 02 utilizando o consumo diário de energia  $Ed$  de acordo com as fórmulas da Tabela 10:

$$\text{Classificação A: } Ed \leq \frac{0,72 * Q * nd * S_{av}}{1000} + (50 * t_{nr})$$

$$Ed \leq \frac{0,72 * 560 * 125 * 17,64}{1000} + (50 * 23,03h) = 2040,38 Wh$$

$$\text{Classificação B: } Ed \leq \frac{1,08 * Q * nd * 17,64}{1000} + (50 * t_{nr})$$

$$Ed \leq \frac{1,08 * 560 * 125 * 17,64}{1000} + (50 * 23,03h) = 3636,22 Wh$$

$$\text{Classificação C: } Ed \leq \frac{1,62 * Q * nd * S_{av}}{1000} + (50 * t_{nr})$$

$$Ed \leq \frac{1,62 * 560 * 125 * 17,64}{1000} + (50 * 23,03h) = 6605,65 Wh$$

O valor de  $Ed$  é igual a  $2750,06 Wh$ , valor maior que  $2040,38 Wh$  e menor que  $3636,22 Wh$ , de acordo com a Tabela 10, o Elevador 02 deverá ser classificado como nível B em eficiência energética.

É importante ressaltar que a ABNT NBR ISO 25745-1:2024 recomenda realizar novas medições e cálculos após um processo de modernização, ou mesmo a qualquer momento durante a vida útil do elevador e dependendo do resultado, o nível de consumo energético do elevador poderá ser reclassificado.

## 5 CONCLUSÃO

Na simulação relativa de consumo, de acordo com a ABNT NBR ISO 25745:2024, obtida através do cálculo da divisão do consumo do Elevador 02 (1003,77 KWh) pelo consumo do Elevador 01 (1628,32 KWh), o resultado foi uma redução expressiva de aproximadamente 38,35% no consumo médio anual.

Diante da revisão bibliográfica e dos resultados apresentados, observamos melhoria no desempenho energético do Elevador 02 que foi modernizado. O Elevador 01 apresentou no modo viagem um nível de classificação D, enquanto o Elevador 02 apresentou nível A no mesmo quesito, impactando no custo de energia por kgm de carga transportada e o total de viagens que o elevador realiza. O melhor desempenho do Elevador 02 pode ser explicado devido ao seu sistema de controle e acionamento ser composto por métodos mais inteligentes e eficientes contando com quadro de comando microprocessado, inversor de frequência e encoder. Quando o elevador está sendo tracionado no movimento ascendente pela inércia do contrapeso podemos observar nos (Gráfico 01) e (Gráfico 02 ) a eficiência que um sistema de malha fechada pode proporcionar.

O resultado demonstra que não houve alteração expressiva do desempenho no modo estacionário, pois ambos elevadores classificaram-se no mesmo nível B. Essa categoria poderia ser reclassificada, no caso em que o projeto de modernização do Elevador 2, agregasse quadros de comando com tecnologia embarcada que desligam funções e componentes do qual não estão sendo demandados ao entrar no modo standby.

Ressalta-se que a norma para modernização dos elevadores existentes tem como principal objetivo a melhoria da segurança aos usuários e, conforme a revisão bibliográfica deste trabalho, a eficiência energética é uma consequência ao manter o elevador seguro, conforme exigido pela legislação e seguindo pelas normas técnicas, o maior nível tecnológico resulta em menor custo energético diante do crescimento global da demanda de energia e a necessidade de preservação ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEL. Elevadores antigos e sem manutenção impactam as tarifas de energia elétrica, que devem sofrer novos reajustes em 2022. **Revista Elevador Brasil**, São Paulo, n. 169, p8, 2022. Disponível em: <https://revistaeb.com/revista-elevador-brasil-edicao-169/>, acesso em 04 de junho de 2024.

AKIŞ. AK2 Dişlisiz Makine. Disponível em: <https://www.akisasansor.com.tr/urun/ak-2> , acesso em 07 de junho de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16858: Requisitos de segurança para construção e instalação Parte 1: Elevadores de passageiros e elevadores de passageiros e cargas**. Rio de Janeiro, 2021 , 171 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16858: Requisitos de segurança para construção e instalação Parte 2: Requisitos de projeto, de cálculos e de inspeções e ensaios de componentes**. Rio de Janeiro, 2020. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16858: Requisitos de segurança para construção e instalação Parte 3: Acessibilidade em elevadores para pessoas, incluindo pessoas com deficiências**. Rio de Janeiro, 2022. 29 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16858: Requisitos de segurança para construção e instalação Parte 7: Melhoria da segurança de elevadores de passageiros e elevadores de passageiros e cargas existentes**. Rio de Janeiro, 2022. 27 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 25745: Eficiência energética de elevadores, escadas rolantes e esteiras rolantes Parte 1: Medição e verificação periódica de energia**. Rio de Janeiro, 2024. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 25745: Eficiência energética de elevadores, escadas rolantes e esteiras rolantes Parte 2: Cálculo de energia e classificação para elevadores**. Rio de Janeiro, 2024. 21 p.

BAT' M.I. *et al.* **Teoreticheskaya Mekhanika v Primerakh i Zadachakh. Tom 1. Statika i Kinematika**. Moscou: MOSKVA "NAUKA" GLAVNAYA REDAKTSIYA FIZIKO-MATEMATICHESKOY LITERATURY: Moskva,1967.

BORLE, Lawrence J. A. **Zero average current error control methods for bidirectional AC-DC converters**. School of Electrical and Computer Engineering, 1999. 336p. Tese (Doutorado em Engenharia) - School of Electrical and Computer Engineering, Curtin University, Bentley.

DORF, R; BISHOP, R. **Sistemas de Controle Modernos**. 8 ed. Editora LTC, 2001.

FRANCHI, Claiton Moro. **Inversores de Frequência: Teoria e Aplicações**. 2 ed. São Paulo. Editora Érica, 2009.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. 5 ed. São Paulo. Editora Érica, 2009.

GMV. FLUITRONIC DRY POWER UNITS. Disponível em:

<https://www.gmv.it/en/components-for-new-elevators/fluitronic-dry-power-units/> , acesso em 07 de junho de 2024.

INFOLEV. Infocloud. Disponível em: <https://infolev.com.br/produtos/7-sistemas/infocloud/>, acesso em 04 de junho de 2024.

JANOVSKÝ, Lubomír. **Elevator Mechanical Design**. 2 ed. Mobile-United States: Elevator World, 1992.

MIRAVETE, A; LARRODÉ, E. **Elevadores: Principios e innovaciones**. Barcelona. Editorial Reverté. 2007

MUHAMMAD, U.Z; XUEQING, Z. Explicit data - driven prediction model of annual energy consumed by elevators in residential buildings Zhang. **Journal of Building Engineering**, Hong Kong, vol 31, 2020.

MUNDIAL ELEVADORES. Descubra como podemos transformar a experiência de usuários e gestores com a modernização de equipamentos. Disponível em:

<https://mundialelevadores.com/modernizacao/> , acesso em 04 de junho de 2024.

PAPO DE ELEVADOR. DIFERENÇA ENTRE ELEVADOR DE CORRENTE CONTÍNUA E COM VARIADOR DE FREQUÊNCIA - USO DE MASTER CHECK. YouTube, 14 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://youtu.be/55uBcvn33Ik?si=wrxPphAyMBdX4P7n> . Acesso em: 04 de junho de 2024.

PAPO DE ELEVADOR. Elevador de Corrente Contínua . YouTube, 24 de março de 2021. Disponível em: [https://youtu.be/\\_LDhF1D29vg?si=LPdZPVlxb0Gq5aNm](https://youtu.be/_LDhF1D29vg?si=LPdZPVlxb0Gq5aNm) . Acesso em: 04 de junho de 2024.

S. KACZMARCZYK; J. P. ANDREW. **Systems Engineering of Elevators**. Mobile-United States: Elevator World, 2011.

SCHMERSAL. Comando para Elevador 222 - Confiance. Disponível em:

<https://www.schmersal.com.br/elevadores/comando-para-elevador-222> , acesso em 04 de junho de 2024.

SETE SERVIC. Mitos e verdades sobre elevadores. Disponível em:

<http://seteservic.com.br/mitos-e-verdades-sobre-elevadores/> , acesso em 04 de junho de 2024

SILVA, R.A. Correntes e cabos de compensação: Função e manutenção. Disponível em:

<https://revistaeb.com/correntes-e-cabos-de-compensacao-funcao-e-manutencao/> , acesso em 04 de junho de 2024.

STRAKOSCH,G; CAPORALE, R. **The Vertical Transportation**, 4 ed. Londres. 2010.

TKE – Saiba como economizar energia nos condomínios modernizando os elevadores.

Disponível em:

<https://blog.br.tkelevator.com/saiba-como-economizar-energia-nos-condominios-modernizando-os-elevadores/> , acesso em 04 de junho de 2024.

TKE. Agile Antecipação de Chamadas. Disponível em:

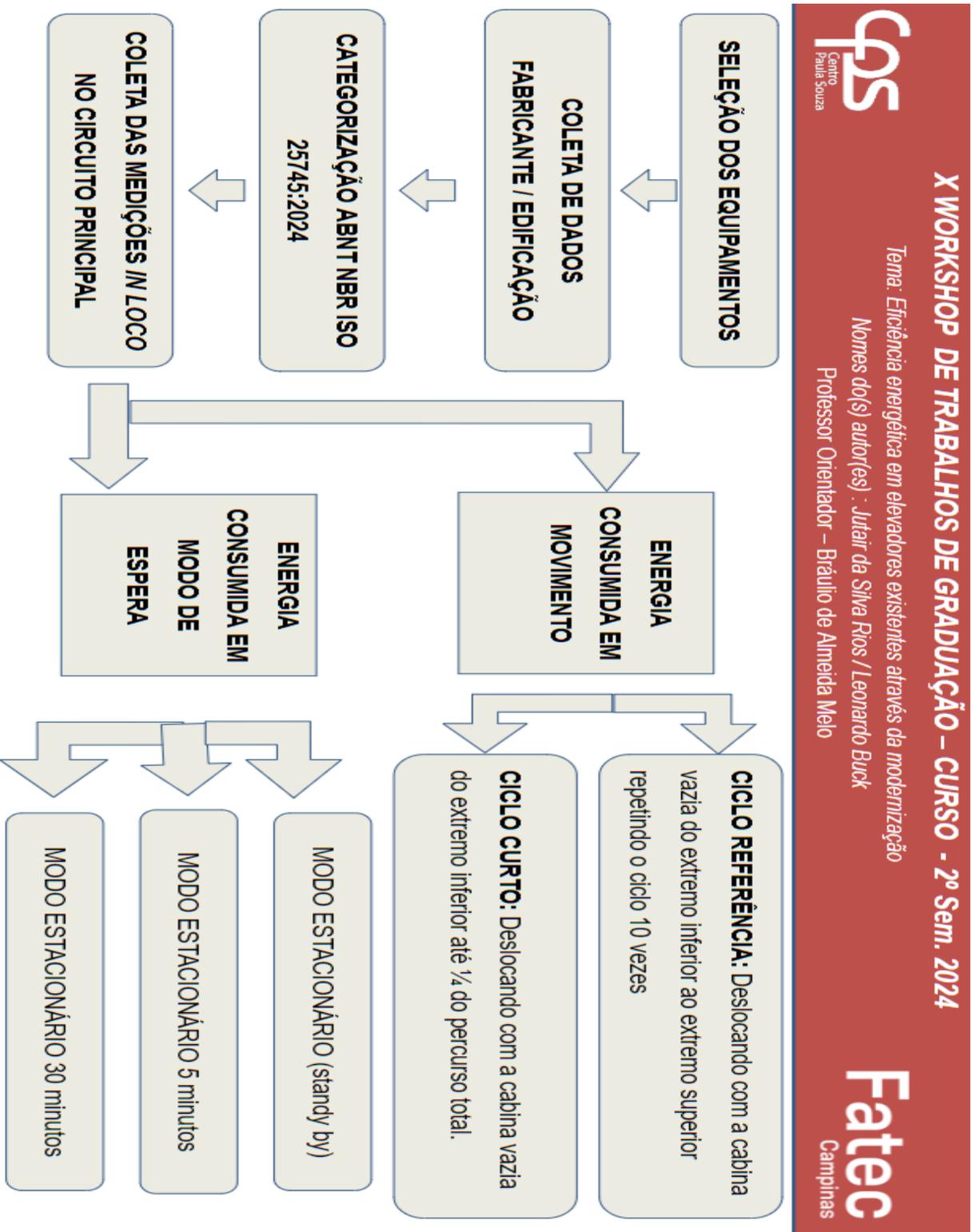
[https://www.tkelevator.com/media/brasil/agile\\_mirror/catalogoagile\\_antecipacao\\_port\\_03052023.pdf](https://www.tkelevator.com/media/brasil/agile_mirror/catalogoagile_antecipacao_port_03052023.pdf), acesso em 04 de junho de 2024.

YASKAWA. L1000E - Inversor para Elevador. Disponível em:

<https://catalogo.yaskawa.com.br/viewitems/inversores-de-frequencia-baixa-tensao/l1000e-inversor-para-elevador> , acesso em 07 de junho de 2024.

## ANEXOS

## ANEXO 01 - Fluxograma



## ANEXO 02 - Nível de eficiência energética no modo viagem

**Tabela 6 – Níveis de eficiência em viagem**

| Energia de viagem específica para o ciclo médio (mWh/kgm) | ≤ 0,72 | ≤ 1,08 | ≤ 1,62 | ≤ 2,43 | ≤ 3,65 | ≤ 5,47 | > 5,47 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nível de eficiência                                       | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

## ANEXO 03 - Nível de eficiência energética no modo espera

**Tabela 7 – Nível de eficiência para o modo de espera (*idle*) e modo de descanso (*standby*)**

| Potência de modo de espera ( <i>idle</i> ) e descanso ( <i>standby</i> ) (W) | ≤ 50 | ≤ 100 | ≤ 200 | ≤ 400 | ≤ 800 | ≤ 1 600 | > 1 600 |
|--|------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|
| Nível de eficiência  | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6       | 7       |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

## ANEXO 04 - Classificação de eficiência energética

**Tabela 8 – Classificação de eficiência energética**

| Classe de eficiência energética | Consumo de energia por dia<br>Wh  |
|---------------------------------|---|
| <b>A</b>                        | $E_d \leq 0,72 \times Q \times n_d \times s_{av}/1\ 000 + 50 \times t_{nr}$   |
| <b>B</b>                        | $E_d \leq 1,08 \times Q \times n_d \times s_{av}/1\ 000 + 100 \times t_{nr}$  |
| <b>C</b>                        | $E_d \leq 1,62 \times Q \times n_d \times s_{av}/1\ 000 + 200 \times t_{nr}$  |
| <b>D</b>                        | $E_d \leq 2,43 \times Q \times n_d \times s_{av}/1\ 000 + 400 \times t_{nr}$  |
| <b>E</b>                        | $E_d \leq 3,65 \times Q \times n_d \times s_{av}/1\ 000 + 800 \times t_{nr}$  |
| <b>F</b>                        | $E_d \leq 5,47 \times Q \times n_d \times s_{av}/1\ 000 + 1600 \times t_{nr}$ |
| <b>G</b>                        | $E_d > 5,47 \times Q \times n_d \times s_{av}/1\ 000 + 1600 \times t_{nr}$    |

Fonte: ABNT NBR ISO 25745-2 (2024)

## ANEXO 05 - Elevador 01



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

## ANEXO 06 - Elevador 02



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

**ANEXO 07 - Corrente, potência e velocidade do Elevador 01**

| Tempo (s) | Corrente (A) |         | Potência Subida (W) |         | Velocidade Descida (m/s) |         |
|-----------|--------------|---------|---------------------|---------|--------------------------|---------|
|           | Subida       | Descida | Subida              | Descida | Subida                   | Descida |
| 0         | 0            | 0       | 0                   | 0       | 0                        | 0       |
| 1         | 33,5         | 49,8    | 7202,5              | 10707   | 0,5                      | 0,47    |
| 2         | 48,8         | 29,2    | 10345,6             | 6161,2  | 0,97                     | 0,84    |
| 3         | 35,9         | 16,2    | 7826,2              | 3531,6  | 1,03                     | 0,93    |
| 4         | 35,9         | 13,8    | 7826,2              | 3008,4  | 1,03                     | 0,94    |
| 5         | 18,1         | 13,1    | 3945,8              | 2855,8  | 1,03                     | 0,94    |
| 6         | 13           | 13,1    | 2834                | 2855,8  | 1,03                     | 0,94    |
| 7         | 12,7         | 12,9    | 2768,6              | 2812,2  | 1,03                     | 0,93    |
| 8         | 12,7         | 12,8    | 2768,6              | 2790,4  | 1,03                     | 0,94    |
| 9         | 12,5         | 12,7    | 2725                | 2768,6  | 1,03                     | 0,94    |
| 10        | 12,4         | 12,5    | 2703,2              | 2725    | 1,03                     | 0,94    |
| 11        | 12,4         | 13      | 2703,2              | 2834    | 1,04                     | 0,94    |
| 12        | 12,4         | 13,9    | 2703,2              | 3030,2  | 1,03                     | 0,94    |
| 13        | 12,2         | 13,5    | 2659,6              | 2943    | 1,04                     | 0,94    |
| 14        | 12,2         | 13,5    | 2659,6              | 2943    | 1,05                     | 0,94    |
| 15        | 12,3         | 13,1    | 2681,4              | 2855,8  | 1,04                     | 0,94    |
| 16        | 12,2         | 12,9    | 2659,6              | 2812,2  | 1,04                     | 0,94    |
| 17        | 12,2         | 12,9    | 2659,6              | 2812,2  | 1,05                     | 0,95    |
| 18        | 12,1         | 12,7    | 2637,8              | 2768,6  | 1,04                     | 0,95    |
| 19        | 12           | 12,5    | 2616                | 2725    | 1,04                     | 0,95    |
| 20        | 11,7         | 12,4    | 2550,6              | 2703,2  | 0,81                     | 0,95    |
| 21        | 11,8         | 13,2    | 2572,4              | 2877,6  | 0,29                     | 0,96    |
| 22        | 11,7         | 11,4    | 2550,6              | 2485,2  | 0,27                     | 0,64    |
| 23        | 11,5         | 10,6    | 2507                | 2310,8  | 0,27                     | 0,21    |
| 24        | 11,4         | 10,6    | 2485,2              | 2310,8  | 0                        | 0       |
| 25        | 10,09        | 10,6    | 2199,62             | 2310,8  | 0                        | 0       |
| 26        | 11,06        | 10,6    | 2411,08             | 2310,8  | 0                        | 0       |
| 27        | 9,8          | 10,4    | 2146,2              | 2277,6  | 0                        | 0       |
| 28        | 9,8          | 6,4     | 2156                | 1408    | 0                        | 0       |
| 29        | 9,8          | 0,7     | 2156                | 154     | 0                        | 0       |
| 30        | 9,8          | 0,5     | 2156                | 110     | 0                        | 0       |
| 31        | 1,1          | 0,4     | 242                 | 88      | 0                        | 0       |
| 32        | 0,5          | 0       | 110                 | 0       | 0                        | 0       |
| 33        | 0,4          | 0       | 88                  | 0       | 0                        | 0       |

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

**ANEXO 08** - Corrente e potência do Elevador 02

| Tempo (s) | Corrente (A) |         | Potência Subida (W) |         |
|-----------|--------------|---------|---------------------|---------|
|           | Subida       | Descida | Subida              | Descida |
| 0         | 0            | 0       | 0                   | 0       |
| 1         | 0,6          | 0,46    | 130,2               | 99,82   |
| 2         | 0,61         | 1,33    | 132,37              | 288,61  |
| 3         | 0,56         | 2,33    | 121,52              | 505,61  |
| 4         | 0,57         | 3,46    | 123,69              | 750,82  |
| 5         | 0,8          | 7,07    | 173,6               | 1520,05 |
| 6         | 1,6          | 9,51    | 347,2               | 2054,16 |
| 7         | 3,6          | 11,71   | 781,2               | 2517,65 |
| 8         | 5,07         | 10,09   | 1100,19             | 2169,35 |
| 9         | 6,19         | 9,36    | 1330,85             | 2031,12 |
| 10        | 3,39         | 9,08    | 732,24              | 1970,36 |
| 11        | 2,98         | 9,14    | 646,66              | 1983,38 |
| 12        | 2,86         | 8,76    | 620,62              | 1892,16 |
| 13        | 2,73         | 8,45    | 592,41              | 965,65  |
| 14        | 2,6          | 8,67    | 564,2               | 1881,39 |
| 15        | 2,78         | 8,86    | 603,26              | 1922,62 |
| 16        | 2,8          | 8,71    | 607,6               | 1890,07 |
| 17        | 2,75         | 8,56    | 596,75              | 1857,52 |
| 18        | 2,78         | 8,57    | 603,26              | 1859,69 |
| 19        | 2,6          | 8,33    | 564,2               | 1807,61 |
| 20        | 2,8          | 8,01    | 607,6               | 1738,17 |
| 21        | 2,47         | 8,16    | 535,99              | 1770,72 |
| 22        | 2,52         | 8,14    | 546,84              | 1766,38 |
| 23        | 2,5          | 8,19    | 542,5               | 1777,23 |
| 24        | 2,24         | 7,86    | 486,08              | 1697,76 |
| 25        | 2,14         | 7,9     | 464,38              | 1706,4  |
| 26        | 2,09         | 7,9     | 453,53              | 1706,4  |
| 27        | 2,17         | 8,15    | 470,89              | 1760,4  |
| 28        | 2,16         | 7,77    | 468,72              | 1678,32 |
| 29        | 2,23         | 7,85    | 481,68              | 1695,6  |
| 30        | 2,22         | 7,93    | 481,74              | 1712,88 |
| 31        | 1,97         | 7,93    | 427,49              | 1712,88 |

|    |      |      |        |         |
|----|------|------|--------|---------|
| 32 | 1,99 | 7,76 | 431,83 | 1676,16 |
| 33 | 1,79 | 7,21 | 388,43 | 1557,36 |
| 34 | 1,4  | 7,28 | 303,8  | 1572,48 |
| 35 | 1,66 | 7,47 | 360,22 | 1613,52 |
| 36 | 1,76 | 7,55 | 381,92 | 1630,8  |
| 37 | 1,47 | 7,44 | 318,99 | 1607,04 |
| 38 | 1,43 | 7,56 | 310,31 | 1632,96 |
| 39 | 0,69 | 3,62 | 149,73 | 785,54  |
| 40 | 0,47 | 1,11 | 101,99 | 240,87  |
| 41 | 0,48 | 0,44 | 104,16 | 95,48   |
| 42 | 0,47 | 0,56 | 101,99 | 121,52  |
| 43 | 0,47 | 0,97 | 101,99 | 210,49  |
| 44 | 0,47 | 1,09 | 101,99 | 236,53  |
| 45 | 0,76 | 1,05 | 164,92 | 227,85  |
| 46 | 1,55 | 1,06 | 336,35 | 230,02  |
| 47 | 1,8  | 1,03 | 390,6  | 223,51  |
| 48 | 2,03 | 1,07 | 440,51 | 232,19  |
| 49 | 0,82 | 1,65 | 177,94 | 358,05  |
| 50 | 0,82 | 1,91 | 177,94 | 414,47  |
| 51 | 0,82 | 0,77 | 177,94 | 167,09  |

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024)

## ANEXO 09 - Instrumentos



Fonte: Autores (2024)

Minipa MDT2238A - Faixas: 0.5 ~ 19999 RPM • Precisão:  $\pm (0.05\%+1D)$  • Resolução: 0.1 RPM (0.5 ~ 999.9 RPM - Contato) 1 RPM ( $\geq 1000$  RPM - Contato)



Fonte: Autores (2024)

Amperímetro Minipa ET-3200 Corrente AC 20/200/1000A Diâmetro Condutor 50mm  
Precisão Básica 2,5% Categoria de Segurança CAT II 1000V.