

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

GEOVANE COSTA DA ROSA

**SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGIA PARA ELEVADORES:
análise da viabilidade financeira para instalação em condomínios
verticais**

FLORIANÓPOLIS, 2021.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

GEOVANE COSTA DA ROSA

**SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGIA PARA ELEVADORES:
análise da viabilidade financeira para instalação em condomínios
verticais**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Sistemas de Energia.

Orientador:
Prof. Márcio Silveira Ortmann, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2021.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Rosa, Geovane Costa da

SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGIA PARA ELEVADORES: análise da viabilidade financeira para instalação em condomínios verticais / Geovane Costa da Rosa ; orientação de Márcio Silveira Ortmann. - Florianópolis, SC, 2021.

62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. CST em Sistemas de Energia. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Sistema regenerativo de energia para elevadores.

2. Elevadores. 3. Consumo de energia elétrica. I. Silveira Ortmann, Márcio. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

III. Título.

SISTEMA REGENERATIVO DE ENERGIA PARA ELEVADORES: ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA PARA INSTALAÇÃO EM CONDOMÍNIOS VERTICAIS

GEOVANE COSTA DA ROSA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção de título de Técnico em Sistemas de Energia e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Energia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de abril de 2021.

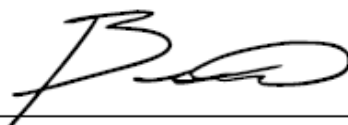
Banca examinadora:

MARCIO SILVEIRA
ORTMANN:
00191437026

Digitally signed by MARCIO SILVEIRA ORTMANN:
00191437026
DN: c=BR, o=INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA, ou=CURSO SUPERIOR DE
TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA, ou=IFSC, ou=FLORIANÓPOLIS, ou=INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA, email=marcio.silveira.ortmann@ifsc.edu.br, cn=MARCIO SILVEIRA ORTMANN
Reason: I am approving this document with my legal
binding signature.
Date: 2021.04.19 16:11:56
PDF-Builder version: 2.2.3

Prof. Márcio Silveira Ortmann, Dr.

Orientador



Prof. Bruno Scortegagna Dupczak, Dr.



Assinado de forma digital
por Rubiara Fernandes
Dados: 2021.04.20
16:03:11 -03'00'

Prof. Rubiara Cavalcante Fernandes, Dr.

RESUMO

Os condomínios verticais, no Brasil, detêm uma grande parcela do consumo de energia elétrica, sendo que, dentre os maiores consumidores de energia elétrica das áreas comuns destes condomínios, estão os elevadores. O sistema regenerativo de energia para elevadores é uma das novas tecnologias disponíveis no mercado que pode ajudar os condomínios na redução de seus custos mensais com energia elétrica. Desse modo, o presente trabalho tem como propósito estudar o sistema regenerativo de energia para elevadores e avaliar de forma geral a viabilidade financeira de sua instalação em elevadores de prédios residenciais e comerciais. A fundamentação teórica buscou embasamento na literatura sobre os aspectos gerais do elevador, suas características básicas de funcionamento, tipos de sistemas de comandos mais utilizados, além de métodos de regeneração de energia. Para fundamentar o estudo foi realizada a pesquisa bibliográfica. Outro meio utilizado foi a pesquisa documental, onde a coleta dos dados foi realizada na empresa Thyssenkrupp Elevadores. E, por último, a finalidade da pesquisa será exploratória, uma vez que a intenção é se aprofundar melhor nos temas relacionados, a fim de realizar uma análise econômica para determinar a viabilidade de aquisição e instalação de um sistema regenerativo de energia para elevadores de condomínios verticais.

Palavras-chave: Consumo de energia elétrica. Elevadores. Sistema regenerativo de energia para elevadores.

ABSTRACT

Vertical condominiums in Brazil have a large share of electricity consumption, with elevators among the largest consumers of electricity in the common areas of these condominiums. The regenerative energy system for elevators is one of the new technologies available in the market that can help condominiums reduce their monthly costs with electricity. Therefore, the purpose of this work is to study the regenerative energy system for elevators and evaluate in a general way the financial viability of its installation in residential and commercial buildings elevators. The theoretical basis was based on the literature about the general aspects of the elevator, its basic functioning characteristics, the types of control systems most used, as well as energy regeneration methods. The bibliographic research was carried out to support the study. Another means used was documentary research, where data will be collected at the Thyssenkrupp Elevadores company. And finally, the purpose of the research will be exploratory, since its intention is to delve more deeply into the related themes in order to carry out an economic analysis to determine the feasibility of acquiring and installing a regenerative energy system for vertical elevators condominium.

Keywords: Electricity consumption. Elevators. Regenerative energy system for elevators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Posicionamento dos componentes do elevador para projetos de edifícios com casa de máquinas.....	15
Figura 2 – Posicionamento dos componentes do elevador para projetos de edifícios sem casa de máquinas.....	16
Figura 3 – Planta baixa de uma caixa	20
Figura 4 – Corte planta de caixa	21
Figura 5 – Comando a Relé	24
Figura 6 – Comando de duas velocidades	25
Figura 7 – EPIs necessários para a atividade	34
Figura 8 – Kit de bloqueio e travamento.....	35
Figura 9 – Analisador de qualidade de energia FLUKE 435	36
Figura 10 – Quadro de força com as pontas de prova	39
Figura 11 – Orientação para instalação do FLUKE	40
Figura 12 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) em 20 viagens sem o sistema de regeneração	41
Figura 13 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) na subida sem sistema regenerativo	41
Figura 14 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) na descida sem sistema regenerativo	42
Figura 15 – Diagrama de ligação sistema regenerativo	43
Figura 16 – Pontos de interligação.....	43
Figura 17 – Conexões dos terminais A, B e C.....	44
Figura 18 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) em 20 viagens com o sistema de regeneração	45
Figura 19 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) na subida com sistema regenerativo	45
Figura 20 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) na descida com sistema regenerativo	46
Figura 21 – Relatório de mercado Focus	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correspondência entre a carga nominal e a área disponível máxima	18
Tabela 2 – Passageiros que a cabine pode transportar	18
Tabela 3 – Dimensionamento de caixa por tamanho de cabina.....	20
Tabela 4 – Condições mínimas para o poço	22
Tabela 5 – Características técnicas do elevador.....	33
Tabela 6 – Ferramentas necessárias para os testes.....	35
Tabela 7 – Fluxo de passageiros	37
Tabela 8 – Fluxo de passageiros e balanço de peso padrão (cabina + passageiros – contrapeso)	47
Tabela 9 – Requisitos para determinação do payback.....	52
Tabela 10 – Resumo dos resultados obtidos	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

DAE – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

EPC – Equipamento de Proteção Coletiva

EPI – Equipamento de Proteção Individual

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

kVAh – Energia aparente

kVARh – Energia Reativa

kWh – quilowatt-hora

LED – Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

Selic – Sistema Especial de Liquidação e Custódia

TIR – Taxa Interna de Retorno

TLS – Teclado de Ajuste

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

VP – Valor Presente

VPL – Valor Presente Líquido

VVVF – Variação de tensão e Variação de Frequência

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Definição do Problema	11
1.2 Justificativa	11
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 Estrutura do trabalho	13
2 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE ELEVADORES DE PASSAGEIROS E CARGAS	14
2.1 Aspectos gerais de elevadores	14
2.1.1 Elevadores com casa de máquinas	14
2.1.2 Elevadores sem casa de máquinas	15
2.2 Aspectos básicos de funcionamento	17
2.2.1 Conjunto cabina	17
2.2.2 Trilhos de aço (guias)	19
2.2.3 Contrapeso	19
2.2.4 Caixa e poço	19
2.2.5 Suspensão	22
2.3 Sistema de comando e acionamento	22
2.3.1 Tipos de comando	23
2.3.1.1 <i>Comando a relé</i>	23
2.3.1.2 <i>Comando de duas velocidades AC2</i>	24
2.3.1.3 <i>Comando VVVF</i>	25
2.3.2 Máquina de tração.....	26
2.3.3 Motor corrente alternada CA	27
2.3.4 Motor corrente contínua CC	27
2.4 Regeneração de energia	28
2.4.1 Tipos de frenagem elétrica	28
2.4.1.1 <i>Frenagem corrente contínua</i>	29
2.4.1.2 <i>Frenagem contracorrente</i>	29
2.4.1.3 <i>Frenagem regenerativa/dinâmica</i>	30
2.4.2 Frenagem regenerativa em elevadores de passageiros	30
3 ESTUDO DE CASO DE UM ELEVADOR ANTES E DEPOIS DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA REGENERATIVO	32
3.1 Definição do elevador a ser testado	32
3.2 Metodologia aplicada	33
3.2.1 Materiais utilizados no teste	34
3.2.1.1 <i>Equipamentos de proteção individual - EPIs</i>	34
3.2.1.2 <i>Ferramental</i>	35
3.2.1.3 <i>Analizador de qualidade de energia</i>	35
3.2.2 Análise do fluxo de passageiros	36
3.2.3 Definição do teste a ser realizado	38
3.3 Realização dos testes	39

3.3.1 Ensaio sem sistema regenerativo	39
3.3.2 Ensaio com sistema regenerativo	42
3.4 Análise dos resultados	46
3.4.1 Análise dos resultados do fluxo de passageiros.....	46
3.4.2 Análise dos resultados das medições realizadas.	48
3.4.3 Discussão da metodologia de testes.	48
4 ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA DE UM SISTEMA REGENERATIVO PARA ELEVADORES	50
5 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS.....	57
ANEXOS	61

1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo aborda as questões iniciais que incitaram o desenvolvimento dessa pesquisa, composto de seções, nas quais será exposto o problema de pesquisa, juntamente com seus respectivos objetivos, justificativa e estrutura do trabalho.

1.1 Definição do Problema

Com o avanço tecnológico e o aumento do poder de compra da população, o Brasil teve, nos últimos anos, um aumento considerável em seu consumo de energia elétrica. Conforme resenha publicada em 2019 pela Empresa de Pesquisa Energética (2020, p.1), “o consumo Residencial cresceu 3,1% no ano, com destaque para o Centro-Oeste (7%). Em média, o consumo nas residências brasileiras em 2019 foi 162 kWh/mês (+1,7%)”.

Os condomínios verticais detêm uma grande parcela deste consumo, sendo que, dentre os maiores consumidores de energia elétrica das áreas comuns destes condomínios, estão os elevadores.

O impacto da energia elétrica consumida pelos elevadores é hoje fundamental quando se pensa em tecnologia aplicada em transporte vertical. Estima-se que os elevadores respondam por 5% a 15% da energia consumida pelos edifícios. (THYSSENKRUPP ELEVADORES, 2020a, p.1).

O sistema regenerativo de energia para elevadores é uma das novas tecnologias disponíveis no mercado que pode ajudar os condomínios na redução de seus custos mensais com energia elétrica. Entretanto, observa-se que, atualmente, ainda há pouca adesão desta tecnologia em prédios novos e, por isso, estudos mais aprofundados deste equipamento podem ajudar nesta tomada de decisão.

1.2 Justificativa

O aumento constante do consumo de energia nos últimos anos traz novos desafios para as áreas de geração de energia limpa, tentando sempre reduzir a emissão de poluentes e, mais do nunca, a busca por aperfeiçoamentos na eficiência energética dos equipamentos. Nos condomínios verticais isso não é diferente, à

medida em que a tecnologia avança, surgem novas opções para auxiliar os síndicos e administradores no combate ao desperdício de energia elétrica.

Entre as cargas típicas de um condomínio estão as cargas de tomadas de uso comum, as cargas de iluminação, motores de portões e bombeamentos de água, saunas, piscinas térmicas, elevadores, entre outras. Muitas dessas cargas já passaram por processos de melhoria de sua eficiência energética. Por exemplo, na área de iluminação houve grande aumento da eficiência energética com a adoção de lâmpadas LED e sistemas automáticos de acionamento, se comparados com lâmpadas incandescentes e sistemas manuais ou semiautomáticos de acionamento.

Outra medida atual para redução dos custos com energia elétrica nos condomínios é a geração de energia elétrica a partir da instalação de sistemas fotovoltaicos que, no entanto, nem sempre tem a possibilidade de ser instalados, seja pela disponibilidade de espaço físico, sombreamento, alto custo de investimento, entre outros empecilhos.

Já na área de elevadores, conforme a situação de carga e ciclo (subida ou descida) o balanço energético do sistema pode gerar energia. No entanto, atualmente, a maioria dos equipamentos instalados nos condomínios residenciais e comerciais tem em seus projetos a utilização de inversores e sistemas de dissipação da energia, não aproveitando essa possibilidade, dissipando a energia gerada em forma de calor. Esta energia dissipada retrata a ineficiência do equipamento. Porém, abre uma janela de oportunidade, que pode levar à elaboração de soluções eficientes para ajudar na redução dos custos com energia elétrica destes condomínios.

Dessa forma, o sistema regenerativo de energia para elevadores contribui para a redução do consumo destes equipamentos, transformando a energia que seria dissipada em própria para o uso novamente, aumentando assim, a sua eficiência. Entretanto, ainda existem muitas dúvidas sobre o tempo de retorno do capital inicial investido, o que pode fazer com que os administradores e síndicos não tenham tanto interesse neste produto, que parece ter um grande potencial.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como propósito estudar o sistema regenerativo de energia para elevadores e avaliar a viabilidade financeira de sua instalação em elevadores de prédios residenciais e comerciais.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos deste trabalho foram definidos:

- a) realizar estudo dos modelos de acionamento de elevadores compatíveis com a instalação do sistema regenerativo;
- b) conhecer as principais tecnologias de sistemas regenerativos disponíveis no mercado;
- c) comparar a tecnologia regenerativa com a tradicional;
- d) definir um projeto base para análise de implantação;
- e) estabelecer o *payback* do sistema regenerativo para elevadores e suas principais atratividades financeiras.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é constituído de 5 capítulos, tendo no atual capítulo a definição do problema, justificativa e objetivos.

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica, bem como os aspectos gerais do elevador, suas características básicas de funcionamento, sistemas de comandos mais utilizados, além de métodos de regeneração de energia.

O terceiro capítulo apresenta o estudo de caso de um elevador em um condomínio comercial, coletando dados do consumo de energia elétrica antes e depois da instalação do sistema regenerativo de energia.

No capítulo 4 é feita a análise da viabilidade financeira para aquisição e instalação do sistema regenerativo, visando estabelecer o *payback* do sistema regenerativo para elevadores no caso supracitado.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE ELEVADORES DE PASSAGEIROS E CARGAS

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica deste trabalho, a qual contempla os seguintes assuntos: aspectos gerais do elevador, em que será detalhada uma seção sobre elevadores com casa de máquinas, e outra seção denominada elevadores sem casa de máquinas.

Em linhas gerais, o intuito deste segundo capítulo é demonstrar as características básicas de funcionamento de um elevador, tipos de sistemas de comandos mais utilizados, além de métodos de regeneração de energia.

2.1 Aspectos gerais de elevadores

O elevador é uma máquina para transporte de bens ou pessoas de forma vertical ou em diagonal.

Equipamentos de transporte vertical ou em plano inclinado para passageiros ou cargas. Por definição, elevador é uma instalação fixa para subir ou descer pessoas ou cargas, com uma ou mais cabines ou plataformas, cujo deslocamento se faz verticalmente. (DICIONÁRIO MICHAELIS, 2020, p. 1)

“A grande maioria dos edifícios residenciais apresenta um fluxo de usuários que é bem atendido por elevadores com velocidade de 1,00 m/s e capacidade de 6 a 9 pessoas. (ATLAS SCHINDLER, 2020a, p. 1)”.

Os elevadores podem ser instalados com ou sem casa de máquinas, mantendo seus principais aspectos, independente desta condição.

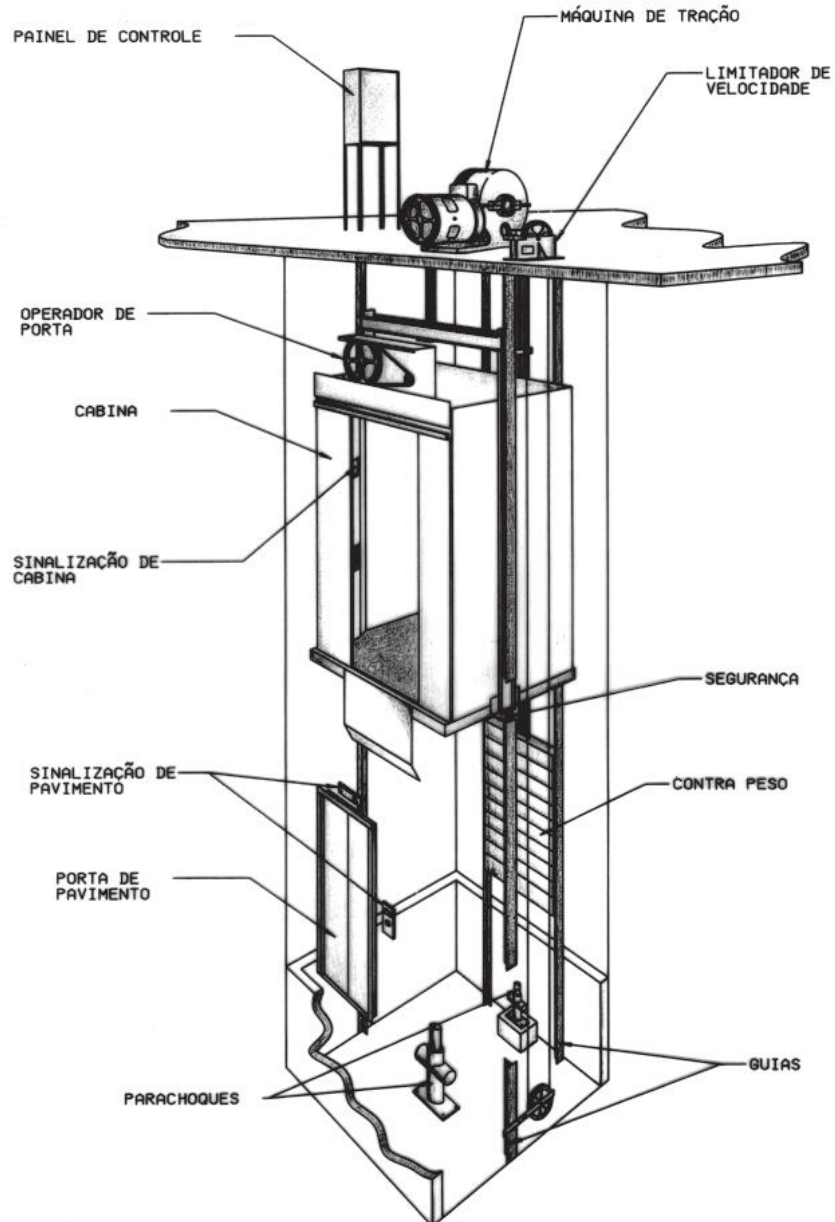
2.1.1 Elevadores com casa de máquinas

Conforme a Norma Brasileira Norma Mercosul (NBR NM) 207 (1999), norma esta que apresenta status de cancelado, mas com a finalidade de atender o prazo de não exigência continua sendo válida até 02.07.2022, a casa de máquinas é o recinto do edifício que é destinado à colocação de máquinas e equipamentos fundamentais para o funcionamento do elevador. Geralmente este recinto fica na parte superior do edifício, exatamente acima da caixa de corrida do elevador.

Além disso, a existência deste recinto facilita em caso de futuras manutenções no equipamento. A Figura 1 ilustra a distribuição dos componentes de

um elevador especificado para um edifício com casa de máquinas. (ATLAS SCHINDLER, 2020a).

Figura 1 – Posicionamento dos componentes do elevador para projetos de edifícios com casa de máquinas



Fonte: Atlas Schindler (2020a).

2.1.2 Elevadores sem casa de máquinas

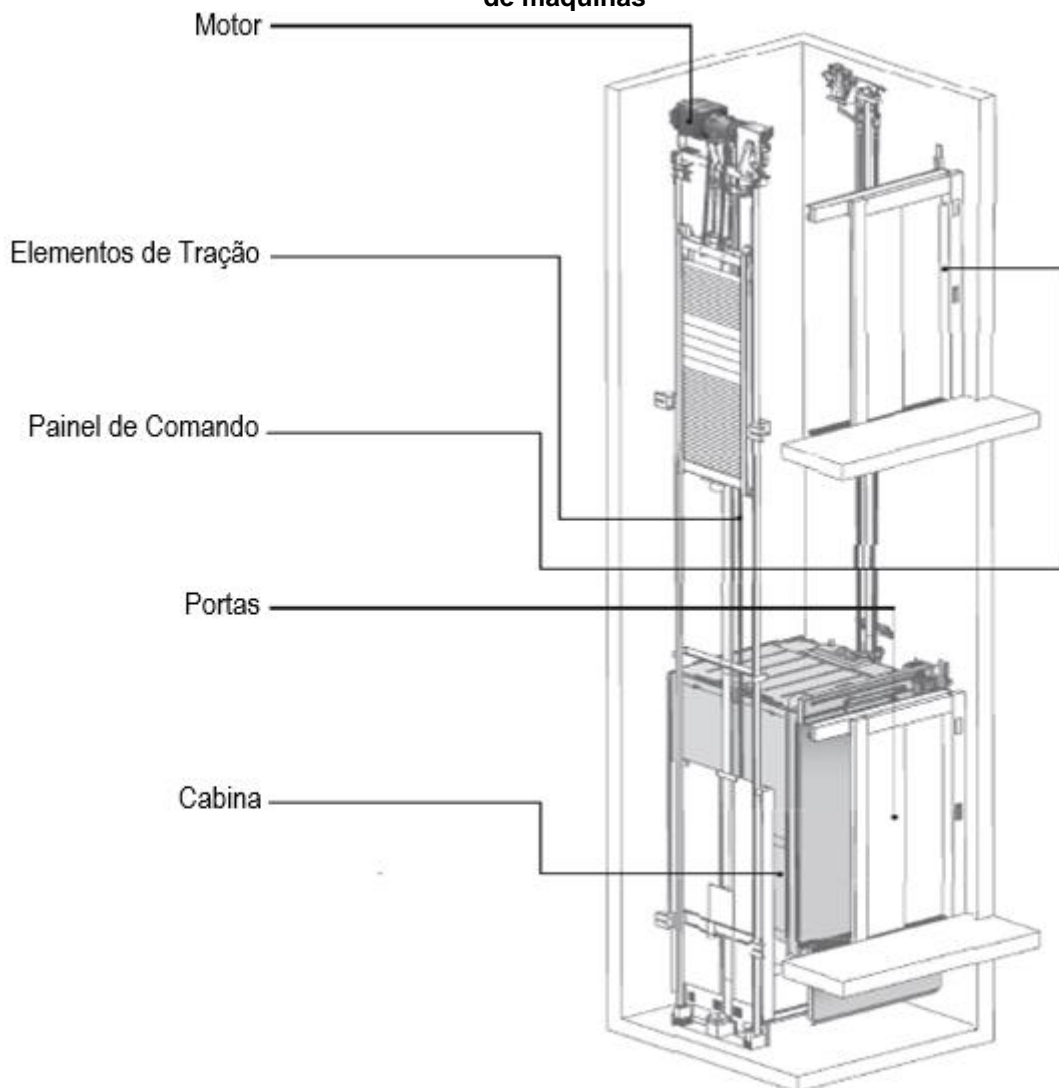
É possível desenvolver um projeto que exclui a necessidade de destinação de áreas para a casa de máquinas na instalação de elevadores em edifícios residenciais de médio porte e em edifícios comerciais com baixo fluxo de pessoas.

Nestes casos, o conjunto de tração é instalado na para interna superior da caixa de corrida.

O projeto de edifícios com elevadores que dispensam a construção de casa de máquinas proporciona maior versatilidade para o projeto arquitetônico, a possibilidade de ocupar o último pavimento com área de cobertura para os condôminos ou a construção de mais um pavimento tipo, observados os limites de altura da edificação de acordo com os códigos de edificações locais. A redução de custos e prazos de obra civil são fatores adicionais para a opção de execução de projetos nesta modalidade (ATLAS SCHINDLER, 2020a, p. 6).

A Figura 2 demonstra a distribuição dos componentes de um elevador especificado para um edifício sem casa de máquinas.

Figura 2 – Posicionamento dos componentes do elevador para projetos de edifícios sem casa de máquinas



Fonte: Atlas Schindler (2020a).

2.2 Aspectos básicos de funcionamento

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a responsável por emitir as normas com os requisitos mínimos de segurança, dimensionamento e acessibilidade para a construção e instalação de elevadores. Esses requisitos formam um esquema básico de funcionamento da maioria dos equipamentos.

A cabina é montada sobre uma plataforma, em uma armação de aço. O conjunto cabina, armação e plataforma denomina-se carro. O contrapeso consiste em uma armação metálica onde são fixados pesos. Tanto a cabina como o contrapeso deslizam pelas guias (trilhos de aço do tipo T), através de corrediças. As guias são fixadas em suportes de aço, os quais são chumbados em vigas, de concreto ou de aço, na caixa. O carro e o contrapeso são suspensos por elementos de tração / suspensão que passam por polias de tração e de desvio, instaladas na casa de máquinas ou na parte superior da caixa. O movimento de subida e descida do carro e do contrapeso é proporcionado pela máquina de tração, que imprime à polia a rotação necessária para garantir a velocidade especificada para o elevador. A aceleração e o retardamento ocorrem em função da tensão aplicada ao motor. A parada é possibilitada pela ação de um freio instalado na máquina. (ATLAS SCHINDLER, 2020a).

2.2.1 Conjunto cabina

A NBR NM 207 (1999) define que a cabina é a parte do elevador que transporta passageiros e objetos. Envoltiva por uma estrutura metálica, ela está ligada ao contrapeso por meio de cabos de aço. A NBR NM 207 (1999) ainda determina que a altura interna livre mínima deve ser de 2,10 m, e que a altura livre mínima para a entrada dos usuários na cabina deve ser de 2,00 m.

A área útil da cabina deve ser determinada de modo a evitar a sobrecarga por pessoas, para tanto, deve-se limitar área disponível. A Tabela 1 mostra a correspondência entre a carga nominal e a área disponível máxima, a fim de atender a norma NBR NM 207 (1999).

Já a Tabela 2 faz menção ao número de passageiros que a cabina pode transportar. Este número está ligado a capacidade de carga nominal da cabina, que é dividido por 75, peso médio da população adotado pela norma NBR NM 207 (1999).

O resultado desta operação deve ser arredondado para o valor inteiro menor mais próximo.

Tabela 1 – Correspondência entre a carga nominal e a área disponível máxima

Carga nominal, (masa)/ <i>Carga nominal, (massa)</i> kg	Superfície útil máx. de cabina/ <i>Área máxima da cabina</i> m ²	Carga nominal, (masa)/ <i>Carga nominal, (massa)</i> kg	Superfície útil máx. de cabina/ <i>Área máxima da cabina</i> m ²
300	0,90	1000	2,40
375	1,10	1050	2,50
400	1,17	1125	2,65
450	1,30	1200	2,80
525	1,45	1250	2,90
600	1,60	1275	2,95
630	1,66	1350	3,10
675	1,75	1425	3,25
750	1,90	1500	3,40
800	2,00	1600	3,56
825	2,05	2000	4,20
900	2,20	2500 ^{a)}	5,00
975	2,35		

a) Por encima de 2 500 kg, añadir 0,16 m² por cada 100 kg más./
Acima de 2500 kg acrescenta 0,16 m² para cada 100 kg adicionais.
Para cargas intermedias se determina la superficie por interpolación lineal/
Para cargas intermediárias a área é determinada por interpolação linear.

Fonte: NBR NM 207 (1999).

Tabela 2 – Passageiros que a cabine pode transportar

Número de pasajeros/ <i>Número de passageiros</i> -	Superfície útil mín. de cabina/ <i>Área útil mínima</i> m ²	Número de pasajeros/ <i>Número de passageiros</i> -	Superfície útil mín. de cabina/ <i>Área útil mínima</i> m ²
4	0,79	13	2,15
5	0,98	14	2,29
6	1,17	15	2,43
7	1,31	16	2,57
8	1,45	17	2,71
9	1,59	18	2,85
10	1,73	19	2,99
11	1,87	20	3,13
12	2,01		

Por encima de 20 pasajeros, añadir 0,115 m² por cada pasajero más./
Acima de 20 passageiros acrescenta 0,115 m² para cada passageiro adicional.

Fonte: NBR NM 207 (1999).

2.2.2 Trilhos de aço (guias)

Os trilhos ou guias são elementos de cunho estrutural, que tem como finalidade manter a direção da cabina e o contrapeso durante o seu deslocamento. “A resistência das guias, suas amarrações e juntas deve ser suficiente para suportar as forças atuantes devidas ao acionamento do freio de segurança e as deflexões devidas à descentralização da carga na cabina”. (NBR NM 207, 1999, p. 55).

Os trilhos devem ser fixados na parede da caixa de corrida por mecanismos que facilitam os ajustes necessários no decorrer do assentamento da estrutura da edificação. Estes ajustes podem ser feitos automaticamente ou de forma manual.

2.2.3 Contrapeso

“O movimento da cabina é balanceado pelo contrapeso, uma estrutura metálica preenchida com pedras de concreto ou ferro fundido, que desliza sobre as guias instaladas na parte de trás ou na lateral do poço.” (THYSSENKRUPP, 2020b). Esta estrutura deve garantir a fixação das pedras ou ferros, afim de que eles não se desprendam, evitando incidentes.

A Atlas Schindler (2020a), estima que o conjunto de contrapeso tenha o mesmo peso do conjunto carro, acrescido de em torno de a 50% da capacidade de carga licenciada. Este procedimento evita que o conjunto de tração trabalhe sobrecarregado quando estiver com lotação máxima na cabina.

2.2.4 Caixa e poço

A caixa é o recinto onde o carro e o contrapeso se deslocam. Ela é composta por paredes, teto e fundo do poço. Este recinto pode comportar um ou mais elevadores, e nestes casos, na parte inferior da caixa precisa existir uma separação afim de assegurar a divisão das partes móveis dos equipamentos instalados. Segundo a norma NBR NM 207 (1999), esta divisória deve estender-se a partir do extremo inferior das trajetórias dos órgãos móveis até uma altura mínima de 2,5 m acima do fundo do poço.

A norma não determina medidas mínimas para a construção das caixas, mas sim, suas folgas mínimas entre carro e paredes, entre o carro e o contrapeso e entre o contrapeso e a parede. As medidas mínimas das caixas vão variar de acordo

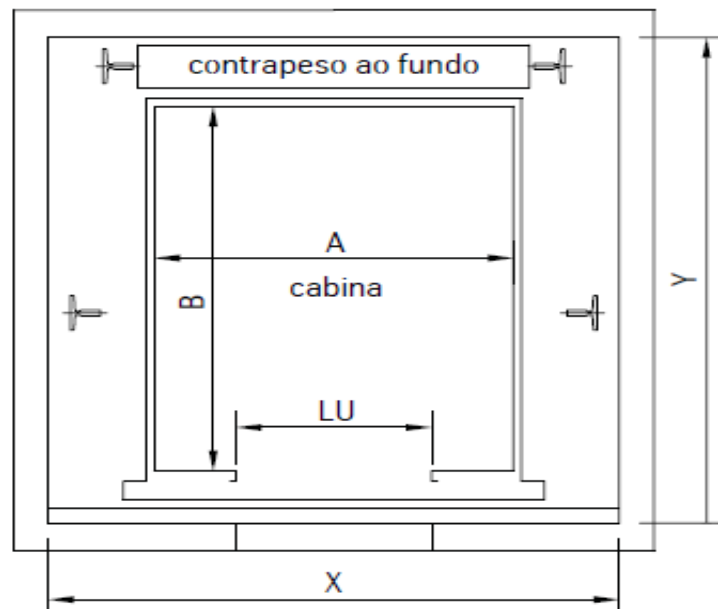
com a capacidade de carga/passageiros da cabina, velocidade do equipamento e fabricante do elevador. A Tabela 3 mostra a relação entre as medidas de caixa e tamanhos de cabinas possíveis. Já a Figura 3 representa a planta baixa de uma caixa. (THYSSENKRUPP, 2015a).

Tabela 3 – Dimensionamento de caixa por tamanho de cabina

Cap.de passageiros	Dimensões de cabina com porta abertura lateral							
	Cabina		Porta			1 a 1,75 m/s 60 a 105 m/min		
	Largura	Profundidade	Altura		Largura	X	Y1 ⁽²⁾	Y2
A	B	AU	OPH	LU				
⁽³⁾ 6	1100	1100	⁽⁴⁾ 2100 2200 ⁽⁵⁾ 2400	2000 2130	800	1470	1565	1605
⁽³⁾ 7	1100	1300			800	1470	1765	1805
⁽³⁾ 8	1100	1400			800	1470	1865	1905
⁽³⁾ 8	1100	1400			850	1550	1865	1905
⁽³⁾ 8	1100	1400			900	1620	1865	1905
⁽³⁾ 8	1250	1200			800	1600	1665	1705
⁽³⁾ 10	1300	1400			800	1750	-	1905
⁽³⁾ 10	1300	1400			850	1750	-	1905
⁽³⁾ 10	1300	1400			900	1750	-	1905
⁽³⁾ 10	1400	1300			800	1750	-	1805
⁽³⁾ 12	1500	1400			900	1850	-	1905
⁽³⁾ 12	1600	1300			900	1950	-	1805
14	1600	1500			900	1950	-	2005
⁽²⁾ 16	1800	1500			2200	2000	1000	2150
⁽²⁾ 18	1800	1600	⁽⁵⁾ 2400	2130	1000	2150	-	2105
⁽²⁾ 20	2000	1600	⁽⁵⁾ 2600	2400	1100	2350	-	2105
Largura do contrapeso							90	140

Fonte: Thyssenkrupp (2015a).

Figura 3 – Planta baixa de uma caixa



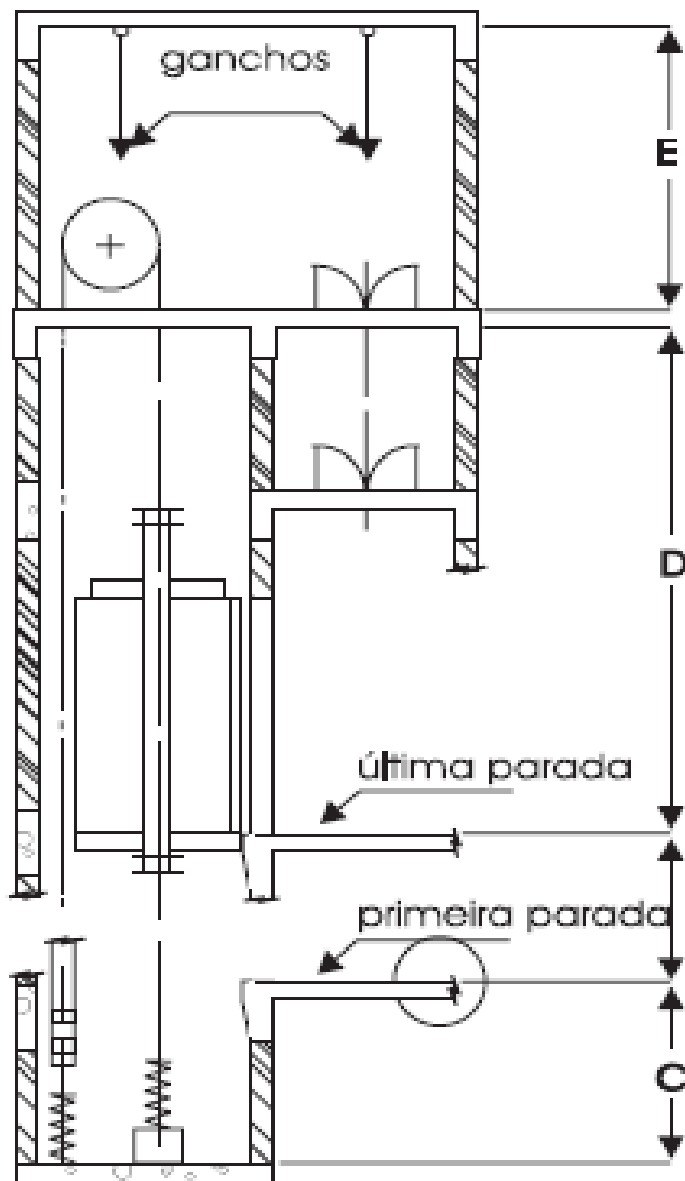
Fonte: Thyssenkrupp (2015a).

O poço é a parte inferior da caixa, situado abaixo do nível de parada mais baixo atendido pelo elevador. Este recinto tem que ser provido de iluminação e deve

ser impermeável à água, servindo como base para fixação das guias, para-choques e polia tensora. O acesso ao poço deve ser fácil e em casos com profundidade superior a 2,5 m, necessita a instalação de uma porta para acesso seguro.

A profundidade do poço vai variar de acordo com a condição de operação do elevador, devendo atender a norma NBR NM 207 (1999). A Figura 4 mostra o corte de uma caixa e a Tabela 4 exemplifica as condições mínimas para o poço, conforme o fabricante Atlas Schindler (2020a).

Figura 4 – Corte planta de caixa



Fonte: Atlas Schindler (2020a).

Tabela 4 – Condições mínimas para o poço

Dimensões Mínimas				
Vel. (m/s)	Capac.	C(m)	D(m)	E(m)
0,75	6 a 10	1,50	4,15	2,35
1,00	6 a 10	1,60	4,20	2,35
1,25	6 a 10	1,65	4,25	2,35
1,50	6 a 10	1,65	4,25	2,80
1,75	10 a 17	1,70	4,50	2,80
2,00	10 a 17	1,70	4,50	2,80
2,50	12 a 17	1,85	4,50	2,80
3,00	12 a 20	4,00	5,80	3,00
3,50	13 a 24	4,00	6,00	3,50
4,00	13 a 24	4,00	6,00	3,50
5,00	14 a 24	5,50	6,80	6,00*

C = Profundidade do Poço (Espaço Livre Inferior)
D = Espaço Livre Superior
E = Pé-direito da Casa de Máquinas

Fonte: Atlas Schindler (2020a).

2.2.5 Suspensão

O carro e o contrapeso são ligados e suspensos por cabos de aço e movidos por polias de tração e de desvio. As polias são providas de canais em formato de “V”, a fim de evitar o deslizamento dos cabos durante o deslocamento, paradas e partidas, independente da intensidade. Em alguns modelos de elevador existem polias também no contrapeso. Independentemente de onde estejam localizadas, as polias necessitam de proteções que impeçam o contato humano involuntário e que também não deixem os cabos saírem dos canais. (THYSSENKRUPP, 2015b)

A Norma NBR NM 207 (1999) diz que devem existir pelo menos 3 cabos de aço, com um diâmetro nominal mínimo de 8 mm. Estes cabos precisam atender a uma tensão de ruptura dos arames de 1570 N/mm² ou 1770 N/mm² para cabos de tensão única e 1370 N/mm² para os arames externos e 1770 N/mm² para os arames internos, para cabos de tensão dupla.

2.3 Sistema de comando e acionamento

O quadro de comando é o cérebro do elevador, pois por ele passa todo o gerenciamento de tarefas para o seu perfeito e seguro funcionamento. Com o passar dos anos, os elevadores deram um salto no quesito tecnologia, saindo de comandos gerenciados exclusivamente por relés, passando por comandos eletrônicos para

equipamentos de duas velocidades, chamados de “AC2” e, finalmente, chegando a comandos extremamente modernos, com tecnologia de variação de tensão e variação de frequência, conhecidos como comandos VVVF. Os sistemas VVVF trouxeram uma nova realidade para os elevadores no que diz respeito a eficiência energética destes equipamentos. (THYSSENKRUPP, 2020c)

2.3.1 Tipos de comando

Existem três grupos principais de quadros de comando: comando a relé, comando de duas velocidades, conhecido como AC2 e comando VVVF. A seguir será feito o detalhamento de cada um deles.

2.3.1.1 Comando a relé

Elevadores com acionamento a relés ainda são encontrados em muitos condomínios no Brasil e no mundo. Este tipo de controle fez a revolução no transporte vertical quando foi projetado, porém, com o passar dos anos e o avanço da tecnologia do microprocessamento, este tipo de comando se mostrou um tanto inseguro e muito suscetível a falhas.

Os elevadores operavam com sistemas à relés, dispositivos eletromecânicos que apresentavam falhas com frequência. Consequentemente, as pessoas podiam ficar presas no elevador com mais frequência. Além disso, a velocidade era lenta, causando desconforto aos passageiros por conta do tempo da viagem. (THYSSENKRUPP ELEVADORES, 2020c, p. 1).

O comando por relés tem como característica as paradas e as partidas bruscas, trazendo desconforto aos usuários. Outra diferença importante dos comandos a relés em comparação com equipamentos mais modernos, está ligada ao consumo de energia, se tornando muito menos eficiente. A Thyssenkrupp (2020a) estima que a diferença de consumo de energia entre um elevador a relé e um microprocessado com inversor de frequência, pode chegar a 40%.

O fator consumo de energia tem sido um dos principais motivadores na procura dos condomínios por modernização de seus elevadores, juntamente com o alto custo de reposição das peças antigas, que não estão mais em linha de produção. A Figura 5 mostra um exemplo de quadro de comando a relé.

Figura 5 – Comando a Relé

Fonte: Elaboração própria (2020).

2.3.1.2 Comando de duas velocidades AC2

Nos anos 80, “os comandos já utilizam placas eletrônicas, com microprocessadores, que controlam com maior precisão a velocidade e a frequência do elevador. ” (THYSSENKRUPP, 2020c). Esta mudança trouxe mais qualidade e segurança aos elevadores, diminuindo consideravelmente a quantidade de falhas, e, assim, aumentando consideravelmente a disponibilidade do equipamento para os usuários.

Todavia, esta nova tecnologia ainda não resolvia algumas questões cruciais para os usuários e proprietários, pois ainda consumia muita energia e suas

paradas e partidas, mesmo apesar de terem sido suavizadas, continuavam desconfortáveis. A Figura 6 mostra um exemplo de um comando de duas velocidades.

A evolução colaborou com a estética dos elevadores, trazendo botoeiras e indicadores mais modernos e bonitos. Os indicadores passaram a ser mais precisos e sinalizar os andares mais corretamente. Outro benefício da nova tecnologia foi a possibilidade de aumentar a velocidade dos elevadores. (ATLAS SCHINDLER, 2020a, p. 8).

Figura 6 – Comando de duas velocidades



Fonte: Elaboração própria (2020).

2.3.1.3 Comando VVVF

A chegada dos acionamentos por Variação de tensão e Variação de Frequência – VVVF elevou a percepção de conforto dos usuários a outro patamar. “É a solução tecnológica mais avançada para acionamento de equipamentos de transporte vertical, aliando alto grau de conforto à economia de energia.” (ATLAS SCHINDLER, 2020a, p. 8).

Além disso, segundo a Thyssenkrupp (2020d), os acionamentos VVVF trazem muitos outros benefícios, como nivelamento preciso, redução do nível de ruído na casa de máquinas, redução no número de intervenções de manutenção, com a eliminação de componentes mecânicos por componentes eletrônicos, aumento da segurança e confiabilidade no funcionamento do elevador.

Componentes como polias, cabos de aço, lonas de freio e engrenagem tem suas vidas úteis alongadas, uma vez que, estes componentes são menos afetados por impactos brutos nas paradas e partidas.

O Sistema de Acionamento VVVF é um equipamento que, através do controle da tensão e da frequência do motor, executa aceleração e desaceleração do elevador de forma gradual e suave, eliminando o desconforto nas partidas e nas paradas, com nivelamento preciso entre a soleira da cabina e do pavimento. (THYSSENKRUPP ELEVADORES, 2013, p.1).

Este avanço tecnológico abriu as portas para uma série de equipamentos e opcionais que auxiliam na eficiência energética dos elevadores, entre eles, o sistema regenerativo de energia.

2.3.2 Máquina de tração

A máquina de tração é a responsável pelo movimento do elevador. Ela é ligada à cabina do elevador e ao contrapeso através dos cabos de aço de tração. A cada comando de subida e descida, a máquina suporta o peso da cabina e passageiros, além do contrapeso, cabos de aço e correntes de compensação. O conjunto Máquina de Tração é composto por motor, redutor, freio e polia, em casos de máquinas engrenadas. Existe também as máquinas sem engrenagens, que não utilizam redutores, sendo o próprio motor o responsável por este quesito. (ATLAS SCHINDLER, 2020b).

Muitas máquinas de tração de elevadores utilizam conjunto redutor, que necessitam de lubrificação constante. Com o passar do tempo, com o funcionamento e desgaste natural das partes mecânicas, os conjuntos de redutores necessitam de cuidados e manutenção mais rotineiras, afim de prolongar sua vida útil. Este tipo de conjunto de tração é compatível com todos os tipos de acionamento. (OTIS, 2019)

Conforme a Thyssenkrupp (2017a), a máquina de tração sem engrenagem é compatível com elevadores dotados de controle VVVF e atende a velocidade de 60 m/min a 360 m/min. Este avanço tecnológico trouxe inúmeros benefícios, como: tração direta na polia, menor nível de ruído e vibração, menor nível de manutenção comparada a máquina com engrenagem, melhor conforto de viagem comparada a máquina convencional, melhor rendimento, além de não utilizar óleo, se tornando mais sustentável.

2.3.3 Motor corrente alternada CA

Os motores CA são amplamente utilizados e geralmente são classificados entre motores síncronos e motores de indução.

O motor síncrono, quando ligado diretamente à rede, funciona com velocidade fixa, utilizado somente para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores) ou quando se necessita de velocidade invariável. Já o motor de indução, funciona normalmente com uma velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas encontradas na prática. Atualmente é possível controlar a velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência. (FORTULAN; PEDROSO, 2016).

Os motores CA apresentam características excelentes para a operação a velocidades constantes, porque a velocidade é determinada pela frequência da rede de alimentação e o número de polos do motor. (PINHEIRO, 2007).

2.3.4 Motor corrente contínua CC

Um motor de corrente contínua nada mais é do que um motor alimentado por corrente contínua, sendo esta alimentação proveniente de uma bateria ou qualquer outra de alimentação CC. A sua comutação (troca de energia entre rotor e estator) pode ser realizada através de escovas ou sem escovas. Com relação à velocidade, o motor de corrente contínua pode ser controlado apenas variando a sua tensão, diferentemente de um motor elétrico de corrente alternada (CA), cuja velocidade é variada pela frequência e tensão, de forma a manter o fluxo adequado. (SILVEIRA, 2017).

As máquinas de corrente contínua podem ser utilizadas tanto como motor quanto como gerador. Porém, uma vez que as fontes retificadoras de potência podem gerar tensão contínua de maneira controlada a partir da rede alternada, pode-se considerar que, atualmente, a operação como gerador fica limitada aos instantes de frenagem e reversão de um motor. (SIEMENS, 2006).

2.4 Regeneração de energia

Diante das novas expectativas, atrelada a uma forte tendência de tecnologias cada vez mais sustentáveis, empresas de diversas áreas vêm trabalhando em projetos voltados a regeneração de energia, alavancando estudos e pesquisas. (MARQUES, 2020).

Segundo Teixeira Júnior (2009), um sistema de regeneração de energia é um sistema que aproveita cada oportunidade quando o equipamento desacelera ou freia para recuperar a energia que seria desperdiçada, normalmente em forma de calor, armazenando-a para utilização em um outro momento.

Os conceitos de regeneração de energia podem facilmente ser aplicados em elevadores. Porém, neste tipo de aplicação não faz sentido o armazenamento para utilização futura, sendo mais coerente a realimentação da rede elétrica interna da edificação.

Em vez de desperdiçarem esta energia na forma de calor, realimentam a rede elétrica interna do edifício, onde pode ser reutilizada por outros elevadores, para a iluminação elétrica, para o ar condicionado, para os computadores e até por outros equipamentos que estiverem conectados à mesma rede elétrica do edifício. (OTIS, 2019, p.1)

Em elevadores a relé e AC2 a frenagem se dá por meio de sapatas ou discos de freio e toda a energia cinética gerada durante o deslocamento é desperdiçada, trocando calor com o ambiente. Já em elevadores com acionamento VVVF a frenagem é feita de maneira elétrica pelo inversor.

2.4.1 Tipos de frenagem elétrica

Motores elétricos podem ser freados por duas maneiras diferentes, de maneira mecânica ou por freios elétricos. Os sistemas de frenagem elétrica exigem menos frequência de manutenção, se comparado aos mecânicos. Além de serem mais eficientes e garantirem uma maior precisão durante a operação, a frenagem elétrica possibilita a regeneração de uma parte da energia a ser dissipada no processo. (WEG, 2020).

Os principais tipos de frenagem elétrica para motores de indução são: frenagem corrente contínua, frenagem contracorrente e frenagem regenerativa/dinâmica.

2.4.1.1 Frenagem corrente contínua

Na frenagem corrente contínua precisa-se criar a condição de um campo magnético estacionário e temporário no estator, através da introdução de corrente contínua nos enrolamentos de fases. Assim que o campo magnético atingir o secundário, induzirá corrente, elevando suas perdas consideravelmente. Este processo faz com que diminua a energia cinética armazenada e a velocidade do motor.

Existem várias maneiras de se executar a frenagem do motor pode ser freios mecânicos, pode-se usar frenagem por conta corrente, que consiste em uma inversão de fase no instante da parada, e um dos métodos mais utilizado que é a frenagem por corrente retificada, onde aplicamos corrente contínua nas bobinas oriunda de um transformador e uma ponte retificadora, com isso temos um campo magnético invariável formado em seu estator, ou seja, com polaridades definidas fazendo com que o rotor também tenha sua polaridade fixada ocorrendo assim à atração de pólos com isso consegue-se a frenagem. (ESQUEMAS ELETRONICOS, 2017).

2.4.1.2 Frenagem contracorrente

O sistema de frenagem por contracorrente se dá com a inversão momentânea da sequência de fases de um motor de indução trifásico. “Nesse tipo de frenagem aplicamos uma reversão momentânea ao motor, fazendo com que ele tenha tendência a reversão, mas antes que esta ocorra, a chave responsável pela reversão é desligada”. (VIEIRA, 2017).

Para que este sistema seja seguro, existe a necessidade de utilização de circuitos e dispositivos automáticos para controlar a parada, como detectores de paradas por fricção e ou centrífuga, relés temporizadores, equipamentos cronométricos, medidores de frequência e tensão do motor, entre outros.

O motor é isolado da rede elétrica enquanto ainda está em funcionamento e, em seguida, é reconectado ao contrário. Isto é um sistema de travagem muito eficiente com um binário, geralmente mais alto que o torque de partida, que deve ser parado cedo o suficiente para evitar que o motor inicie na direção oposta. Vários dispositivos automáticos são usados para controlar a parada assim que a velocidade é quase zero. (CRUSHTYMK, 2019, p.1).

Segundo Vieira (2017), os dispositivos do circuito de força devem suportar a corrente produzida pela reversão instantânea. O sistema deve estar dimensionado

para suportar as frenagens previstas durante o funcionamento em seu regime de trabalho.

2.4.1.3 Frenagem regenerativa/dinâmica

Conforme Oliveira (2013), a frenagem regenerativa tem como principal objetivo recuperar a maior parte possível da energia gerada durante a desaceleração de um equipamento. A energia recuperada pode ser novamente injetada na rede elétrica, ou armazenada para utilização posterior.

A frenagem regenerativa consiste em recuperar a energia dissipada no processo de frenagem de um veículo, sendo essa energia devolvida para a rede, armazenada em bancos de baterias, volantes de inércia ou em ultra capacitores. Essa tecnologia é uma evolução do processo de frenagem dinâmica, diferenciando-se, apenas, pelo reaproveitamento da energia gerada pela frenagem, uma vez que na frenagem dinâmica a energia gerada é dissipada em um banco de resistores. (CAVALCANTE, 2016, p.25).

A Web Drives (2019) diz que para ter um sistema de frenagem regenerativa, existe a necessidade de inversores de frequência no controle de velocidade de motores, ações do tipo: desacelerar, parar e mudar de rotação requer antes de tudo um mecanismo de frenagem eficiente. Frenagem, nada mais é do que a remoção da energia absorvida pelo motor durante o processo de aceleração.

Assim que o inversor começar a diminuir a velocidade do motor, por inércia imposta pela carga, o eixo tende a continuar na mesma rotação. Em função disto, o motor se comporta como um pequeno gerador devolvendo energia elétrica ao inversor. A magnitude desta energia é diretamente proporcional à derivada da desaceleração do eixo que, por sua vez, está intimamente ligada com a inércia e energia mecânica (cinética) armazenada pelo conjunto carga/motor. (WEB DRIVES, 2019, p. 1).

2.4.2 Frenagem regenerativa em elevadores de passageiros

Trata-se de um sistema que controla bidirecionalmente o fluxo de energia entre a rede elétrica e o motor do elevador. Ele reaproveita a energia devolvida pelo motor do elevador em vez de desperdiçá-la em forma de calor. (THYSSENKRUPP ELEVADORES, 2016).

Na prática, o prédio recebe parte da energia devolvida pelo motor de tração do elevador em duas ações: quando sobe com a cabina abaixo da metade da sua capacidade ou quando desce com acomodação superior a 50%. A

velocidade do elevador e a carga da cabina são os elementos que mais contribuem para a devolução de energia elétrica reaproveitável. Em média, os prédios com Sistema Regenerativo registram economia de até 35% em relação aos sistemas convencionais. (THYSSENKRUPP ELEVADORES, 2020e, p.1).

Segundo a Otis (2020) o sistema regenerativo em vez de desperdiçar na forma de calor, realimentam a rede elétrica interna do edifício, onde pode ser reutilizada por outros elevadores, para a iluminação elétrica, para o ar condicionado, para os computadores e até por outros equipamentos que estiverem conectados à mesma rede elétrica do edifício. Este sistema pode reduzir a utilização de energia elétrica em até 75%, em comparação aos não regenerativos.

Além disso, os elevadores equipados com o sistema regenerativo têm outros benefícios como: menor poluição do sistema de energia elétrica do edifício e ajudam a proteger os equipamentos eletrônicos mais sensíveis. O sistema regenerativo minimiza a distorção das correntes elétricas, fazendo com que a distorção harmônica total na velocidade e capacidade nominais seja normalmente igual a ou menor que 5%, enquanto os sistemas não regenerativos chegam a fornecer distorção harmônica total maior que 80%. (OTIS, 2020).

3 ESTUDO DE CASO DE UM ELEVADOR ANTES E DEPOIS DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA REGENERATIVO

Neste capítulo será apresentado o estudo de caso em um elevador de um condomínio comercial, coletando dados do consumo de energia elétrica antes e depois da instalação do sistema regenerativo de energia. A intenção é fazer um comparativo entre as tecnologias, por meio de testes de consumo de energia elétrica em ambas configurações (com e sem o sistema regenerativo instalado), nas mesmas condições de uso.

O estudo vai apresentar, ainda, os requisitos para definição do elevador a ser estudado e uma análise do fluxo de passageiros desse elevador. Além disso, serão extraídos os dados para a base da análise da viabilidade financeira desta instalação, que é o propósito deste trabalho.

3.1 Definição do elevador a ser testado

No melhor conhecimento do autor¹ na data atual, sistemas regenerativos de energia para elevadores não são comuns no estado de Santa Catarina. A título de exemplo, do fabricante Thyssenkrupp, apenas um condomínio em de Santa Catarina adquiriu esta tecnologia.

Desta forma, o condomínio em questão será o alvo deste estudo, servindo como laboratório para as medições e testes necessários. Esse condomínio está equipado com três elevadores de configurações técnicas idênticas, divididos em dois elevadores sociais, atendendo exclusivamente os visitantes e condôminos, e um elevador de serviço, utilizado para prestadores de serviço, manutenções e limpezas em geral.

Para este estudo foi utilizado um dos elevadores sociais, mas poderia ser qualquer um, pois o fluxo, neste caso, é muito parecido. As características técnicas do equipamento estão descritas na Tabela 5.

¹ Autor Geovane Costa da Rosa, com 14 anos de experiência no ramo de elevadores, trabalhados na empresa Thyssenkrupp.

Tabela 5 – Características técnicas do elevador

Tipo	Social
Capacidade	14 pessoas
Velocidade	210 m/mim
Máquina	D380M - Ímãs Permanentes
Percurso	63 m
Potência do motor	37,5 kW

Fonte: Elaboração própria (2021).

3.2 Metodologia aplicada

O condomínio comercial escolhido para o estudo de caso está localizado na Av. do Estado Dalmo Vieira, em Balneário Camboriú. Além do reduzido número de unidades com a referida tecnologia, outro fator importante desta escolha reside na possibilidade de fazer medições antes e depois da instalação do sistema regenerativo, uma vez que os equipamentos ainda não estavam ligados, podendo ser feitas as comparações entre as duas configurações de elevadores.

O teste a ser realizado consiste na medição da energia consumida pelo elevador, sem o sistema regenerativo instalado e com o sistema em pleno funcionamento, considerando as mesmas condições de uso para ambas medições. Desta forma, pode-se obter o percentual de redução no consumo de energia dos elevadores e viabilizar a análise financeira desta instalação.

Os passos seguintes foram a separação de materiais e equipamentos necessários para efetuar os testes e observar o tráfego de pessoas nos elevadores, a fim de estipular o número de viagens feitas pelo elevador.

Um ponto importante a salientar é que este procedimento só foi possível de ser feito pois houve o acompanhamento de um técnico da empresa responsável pela instalação e conservação dos elevadores do condomínio em questão. Por se tratar de trabalho em instalações elétricas, a empresa exige técnico treinado e habilitado em NR-10².

² NR-10 é uma norma regulamentadora que cuida da proteção dos trabalhadores que atuam com energia elétrica em suas atividades laborais.

3.2.1 Materiais utilizados no teste

Para executar o estudo de caso foram necessários diversos materiais, como ferramentas, equipamento eletrônico de medição de grandezas elétricas e equipamentos de proteção individual – EPIs.

3.2.1.1 Equipamentos de proteção individual - EPIs

Os EPIs são parte fundamental para aplicação deste estudo de caso, uma vez que todo o ambiente de teste se dá na casa de máquinas dos elevadores. Este local pode trazer muitos riscos de acidentes, principalmente para pessoas que não tem a vivência diária com estes equipamentos. A Figura 7 mostra os EPIs requisitados para este trabalho.

Figura 7 – EPIs necessários para a atividade



Fonte: Thyssenkrupp (2020).

Além dos EPIs acima, para esta atividade se torna necessário a utilização de um EPC – equipamento de proteção coletiva, conhecido como kit de bloqueio e travamento, apresentado na Figura 8. Este EPC é necessário para locais de trabalho onde há necessidade de executar ações com o quadro de força desligado, com risco de intervenção de outras pessoas. Este kit é composto de uma garra de travamento, um cadeado individual e uma etiqueta de identificação do técnico que está trabalhando no local.

Figura 8 – Kit de bloqueio e travamento



Fonte: Thyssenkrupp (2020).

3.2.1.2 Ferramental

As ferramentas necessárias para colocar o sistema regenerativo em funcionamento são poucas, uma vez que o equipamento já se encontrava previamente instalado no local, precisando apenas ser interligado com o quadro de comando do elevador, que já está em funcionamento, e acoplamento com a rede elétrica interna do condomínio. A lista de ferramentas pode ser vista na Tabela 6.

Tabela 6 – Ferramentas necessárias para os testes

DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA	QUANTIDADE
Alicate de bico	2
Alicate de corte	2
Chave canhão 13mm	1
Chave de borne	2
Chave de fenda média	2
Chave Philips	2
Chave de boca 14mm	1
Fita isolante	1
Lanterna ou luminária de cabeça	2
Multímetro	1
Teclado TLS (ferramenta específica da empresa)	1

Fonte: Elaboração própria (2021).

3.2.1.3 Analisador de qualidade de energia

O equipamento mais importante a ser utilizado neste estudo de caso é o analisador de qualidade de energia FLUKE 435 conforme Figura 9. Dentre os diversos

recursos do equipamento, para o caso atual destaca-se a avaliação do consumo de energia, com o qual é possível avaliar a redução no consumo de energia após a instalação de sistemas ou dispositivos que colaborem para eficiência energética.

O equipamento em questão foi cedido pela empresa responsável pela instalação e manutenção dos elevadores. O equipamento foi manuseado e instalado para fazer as medições pelo técnico da empresa, garantindo a integridade dos testes e resultados.

Figura 9 – Analisador de qualidade de energia FLUKE 435



Fonte: Thyssenkrupp (2020).

3.2.2 Análise do fluxo de passageiros

A análise do fluxo de passageiros se faz importante para determinar o tipo de teste a ser realizado e que representaria o mais próximo da realidade de operação do elevador.

O levantamento de dados poderia ser feito de maneira manual, acompanhando presencialmente o fluxo de entrada, saída e deslocamento de passageiros entre os andares da edificação. Porém, nos quadros de comando dos elevadores instalados neste condomínio estão contemplados programas que monitoram as rotinas do equipamento. Este programa registra uma série de dados da rotina do elevador, incluindo o número de partidas do equipamento e sua direção, se está subindo ou descendo.

O programa ainda pode, por meio de uma espécie de sistema de balança que existe no elevador, estimar a carga transportada em cada uma de suas partidas.

Estes dados podem ser extraídos por meio de uma ferramenta específica da fabricante do elevador, chamada teclado TLS.

Tendo as duas opções à disposição, optou-se por seguir com a coleta de dados por meio da extração das informações do programa instalado no elevador. Mesmo não sendo trivial, ainda representa forma mais fidedigna de demonstrar a operação do elevador, tendo em vista a dificuldade de permanecer 24 horas nas dependências do condomínio.

Desta forma, o procedimento a ser adotado foi o deslocamento até o condomínio e zerar as informações do programa, pois ele não traz estas informações por data. Passadas 24 horas, retorna-se ao condomínio e procede-se com a extração manual dos dados, cujos resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Fluxo de passageiros

DADOS DO ELEVADOR 135211		
Carga na Cabina	Viagens Subindo	Viagens Descendo
0	42	45
1	86	91
2	71	60
3	25	26
4	22	23
5	23	22
6	18	21
7	9	7
8	11	4
9	5	1
10	1	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0

Fonte: Elaboração própria (2021).

Nota-se um número elevado de viagens sem carga na cabina. Isso acontece pois muitas vezes o passageiro chama o elevador, com intenção de subir ou descer, e o elevador está parado no destino de sua última viagem, necessitando fazer uma viagem a vazio para atender a chamada solicitada.

As situações que mais ocorreram foram as de viagens com 1 ou 2 passageiros, tanto na subida quanto na descida. Por se tratar de um condomínio

comercial, isso pode ocorrer pelas inúmeras chegadas e saídas de clientes, em horários espaçados, para visitas e reuniões nos escritórios ali alocados.

Outra situação que chama a atenção é a inexistência de viagens com carga de 11, 12, 13 e 14 passageiros. Isso pode acontecer por um superdimensionamento do elevador no momento da compra ou pela baixa ocupação do condomínio. Outra questão a ser considerada é o atual momento de pandemia, que tem levado muitas empresas ao trabalho remoto.

A informação das quantidades de viagens, direção e carregamento da cabina são de extrema importância neste estudo de caso, visto que a regeneração de energia se dá em situações específicas.

3.2.3 Definição do teste a ser realizado

A definição do teste a ser realizado neste estudo de caso passou por análise de algumas variáveis. A primeira delas foi a disponibilidade do analisador de qualidade de energia, uma vez que o equipamento a ser utilizado seria emprestado da empresa responsável pela manutenção dos elevadores, a qual só permitiu o manuseio quando da presença de um dos seus técnicos qualificados.

Outra variável importante a ser levada em consideração é a disponibilidade de tempo de elevador inoperante, pois por se tratar de uma edificação já habitada, o período de teste não poderia atrapalhar a rotina do condomínio. Porém, para haver segurança para os usuários, o elevador deveria se manter inoperante para passageiros durante o período de teste.

A atribuição ou não de carga também foi outro fator preponderante para a escolha do teste a ser realizado. A regeneração de energia em elevadores se dá em situações específicas de carregamento da cabina. Segundo a Atlas Schindler (2020a), o contrapeso tem em média o mesmo peso da cabina acrescido de em torno de 50% da capacidade de carga, pode-se dizer que o teste com carga pode ser feito com o elevador em sentido de subida, sem passageiros dentro. Isso é equivalente ao elevador descendo com sua máxima capacidade nominal.

Levando em consideração os aspectos supracitados, foi combinado com o condomínio e com a empresa responsável pela manutenção dos elevadores, a disponibilidade de um período para execução dos testes. Sendo assim, a melhor opção de ensaio foi fazer a contabilização do consumo de energia do elevador antes

da instalação do sistema regenerativo e depois da instalação. O regime de funcionamento seria o mesmo nos dois testes, com o mesmo número de partidas e sentido destas partidas, simulando assim o elevador com e sem carga.

3.3 Realização dos testes

Após a definição do tipo de teste a ser realizado, restou então organizar a elaboração das duas etapas das medições de consumo do elevador. Em ambas as etapas, ficou definido a realização de medições para 20 viagens, sendo 10 de subida e 10 de descida, e também a medição separada de duas viagens, uma de subida e uma de descida, afim de se obter um panorama geral do consumo do elevador.

O teste foi realizado em apenas um elevador, podendo se estender o resultado aos demais elevadores, pois são contemplados com as mesmas configurações.

3.3.1 Ensaio sem sistema regenerativo

Com o curto tempo para realização de todas as medições, as primeiras a serem executadas foram com o elevador sem o sistema regenerativo. Logo na chegada ao condomínio o elevador foi desligado e partiu-se para a instalação do analisador de qualidade de energia no quadro de força, na saída da chave seccionadora, conforme Figura 10. Desta chave parte a energia elétrica para alimentar apenas o elevador a ser medido.

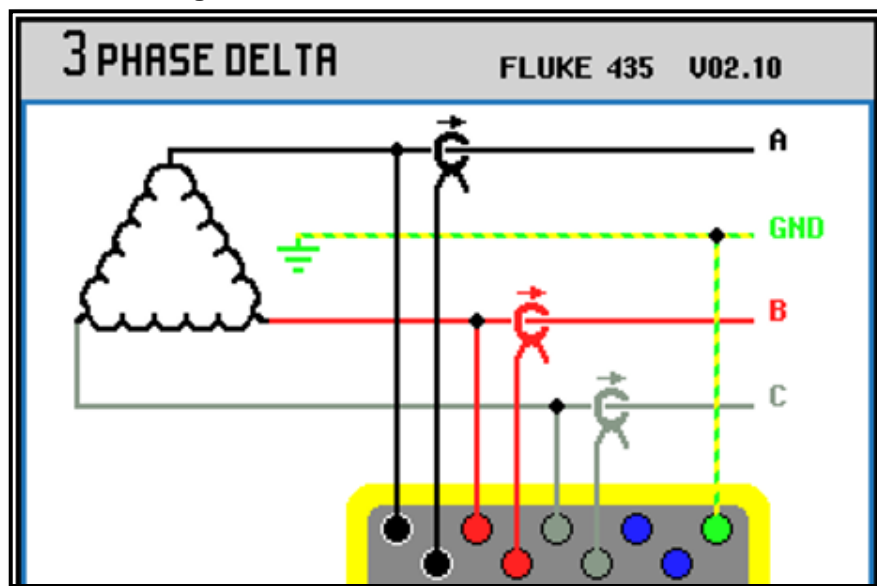
Figura 10 – Quadro de força com as pontas de prova



Fonte: Elaboração própria (2021).

A inserção das ponteiros de prova seguem a ordem determinada pelo analisador de qualidade de e energia FLUKE, onde deve-se sempre observar o sentido da corrente indicado pelas setas. Estas orientações podem ser vistas na Figura 11. Cabe salientar que os desenhos da Figura 11 são meramente ilustrativos, com a intenção de ajudar quem manuseia o equipamento. Ela não retrata a realidade do condomínio estudado aqui.

Figura 11 – Orientação para instalação do FLUKE



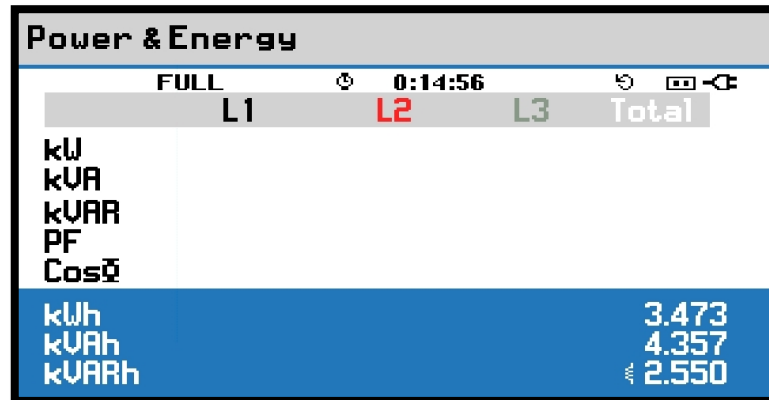
Fonte: Elaboração própria (2021).

Após todas as ligações realizadas, o FLUKE foi zerado e configurado para medir o consumo de energia elétrica do elevador em kWh. Uma vez realizados os procedimentos de instalação e verificação, procedeu-se então com o primeiro conjunto de testes.

Com a ajuda do teclado TLS, o técnico da empresa fixou 10 chamadas em cada extremo do percurso do elevador, primeiro e último andar atendido pelo equipamento, totalizando 20 partidas, sendo 10 de subida e 10 de descida.

Neste primeiro teste, não há regeneração de energia, portanto, quando o elevador fizer a viagem de subida com a cabina vazia, onde o contrapeso está mais pesado que a cabina, o motor passará a atuar como gerador. Neste caso toda a energia gerada será dispensada em forma de calor no banco de resistores. A Figura 12 mostra que o consumo de energia ao final das 20 viagens foi de 3,473 kWh.

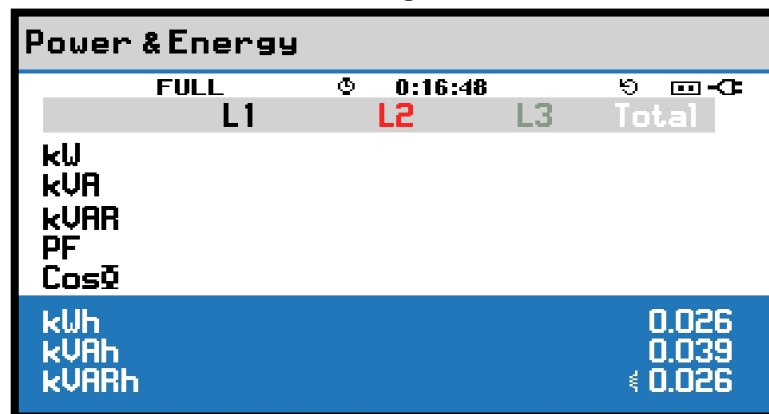
Figura 12 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) em 20 viagens sem o sistema de regeneração



Fonte: Elaboração própria (2021).

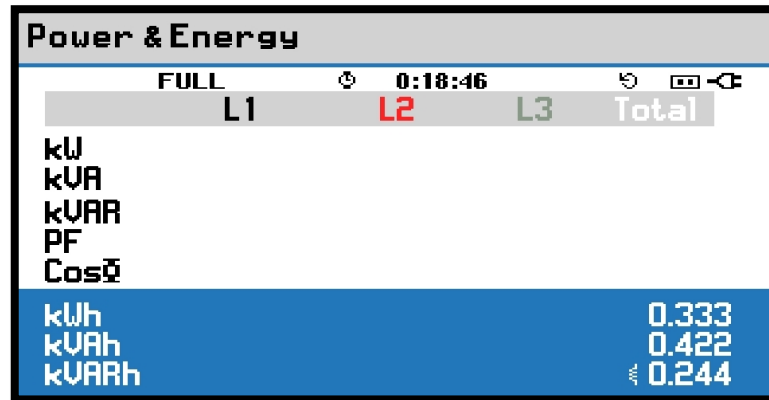
Após término da medição das 20 viagens, o FLUKE foi zerado novamente para medição do consumo de uma única viagem completa, com chamada fixada nos dois extremos, efetuando uma subida e uma descida. Neste teste o consumo na subida foi de 0,026 kWh e na descida foi de 0,333 kWh, conforme demonstrado na Figura 13 e Figura 14.

Figura 13 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) na subida sem sistema regenerativo



Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 14 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) na descida sem sistema regenerativo



Fonte: Elaboração própria (2021).

3.3.2 Ensaio com sistema regenerativo

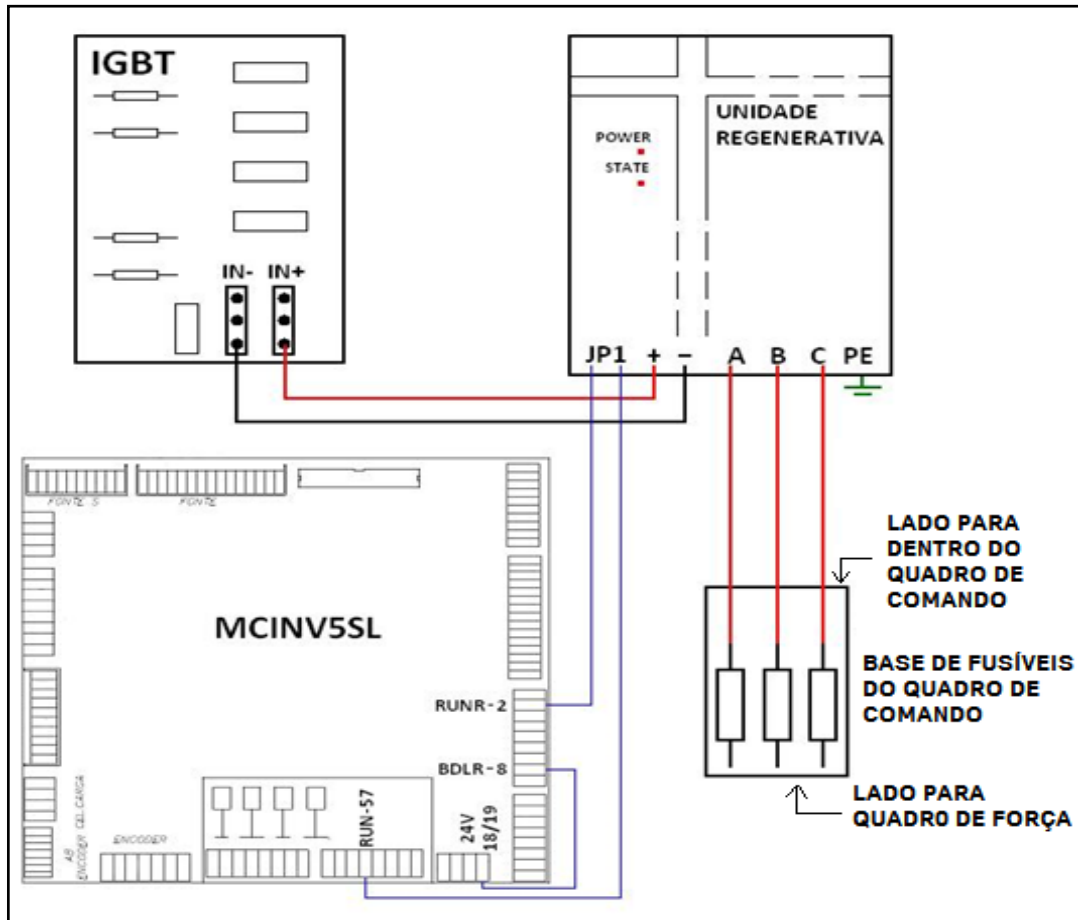
Encerradas as medições de consumo de energia elétrica do elevador sem o sistema regenerativo instalado, o mesmo foi novamente desligado. A empresa responsável pelo elevador efetuou então a instalação do sistema regenerativo.

Neste caso específico, a instalação do sistema regenerativo foi muito fácil e rápida, pois o sistema já estava fixado na casa de máquinas, necessitando apenas a execução de sua interligação com o quadro de comando do elevador e também o acoplamento na entrada de energia do quadro de comando, conforme mostrado no diagrama de ligação da Figura 15.

A Figura 15 mostra as placas MCINV5SL, que é o módulo controlador da unidade de potência (inversor ou IGBT) e o próprio inversor, que ambos ficam alocados no quadro de comando do elevador. Além da placa controladora da unidade regenerativa, que fica alocado no quadro do sistema regenerativo de energia.

O sistema regenerativo é ligado diretamente ao barramento CC do inversor, passando a ser acionado conforme comando do módulo MCINV5SL assim que o elevador passar à condição de gerador de energia. A outra ligação é feita diretamente à rede elétrica trifásica. No caso de regeneração de energia, o sistema drena corrente do barramento CC e injeta na rede trifásica alternada.

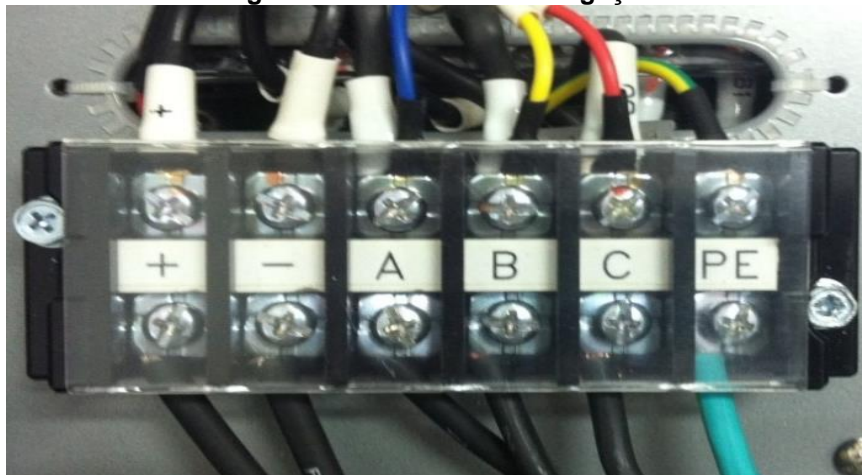
Figura 15 – Diagrama de ligação sistema regenerativo



Fonte: Thyssenkrupp (2020).

A Figura 16 mostra o ponto de interligação entre o quadro de comando do elevador, o sistema regenerativo e saída da energia regenerada.

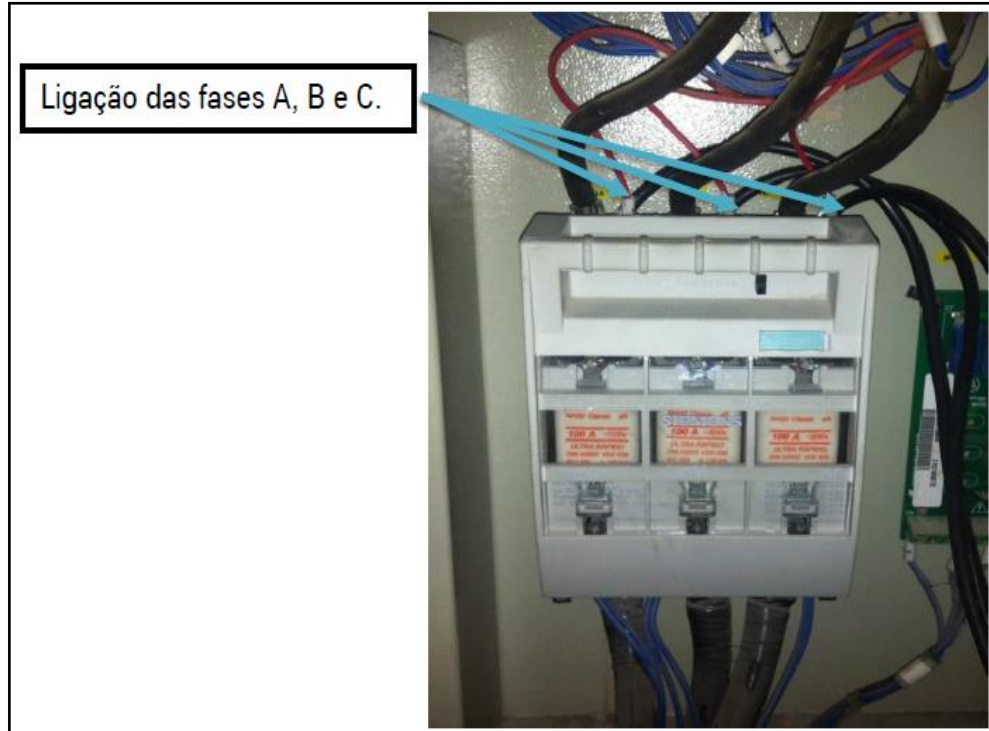
Figura 16 – Pontos de interligação



Fonte: Thyssenkrupp (2020).

As conexões dos terminais A, B e C com a base dos fusíveis podem ser vistas na Figura 17.

Figura 17 – Conexões dos terminais A, B e C



Fonte: Thyssenkrupp (2020).

Após a liberação do elevador por parte do técnico da empresa, O FLUKE é novamente zerado para dar início a segunda bateria de testes. As premissas para as novas medições são exatamente as mesmas das primeiras, medições de 20 viagens, sendo 10 de subida e 10 de descida. Assim como no caso anterior também foram realizadas duas medições separadas, uma de descida e uma de subida.

Novamente, com a ajuda do teclado TLS, o técnico da empresa fixou 10 chamadas em cada extremo do percurso do elevador, primeiro e último andar atendido pelo equipamento, totalizando 20 partidas, sendo 10 de subida e 10 de descida. A Figura 18 mostra que o consumo de energia ao final das 20 viagens foi de 2,176 kWh.

Figura 18 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) em 20 viagens com o sistema de regeneração

Power & Energy	
FULL	0:12:53
L1	L2
L3	Total
kW	
kVA	
kVAR	
PF	
Cos ϕ	
kWh	2.176
kVAh	5.400
kVARh	+0.090

Fonte: Elaboração própria (2021).

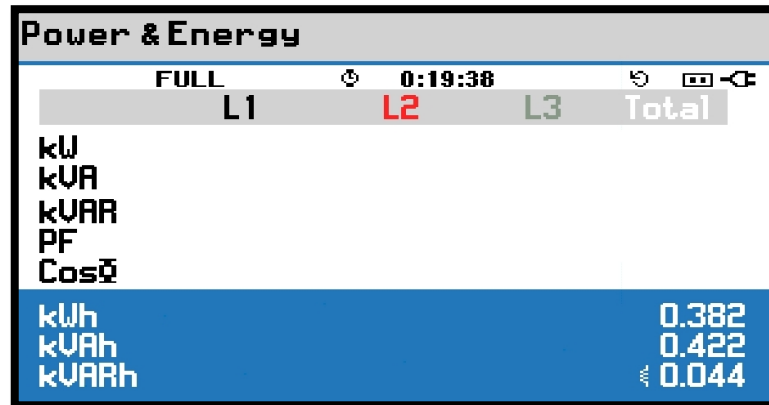
Após término da medição das 20 viagens, o FLUKE foi zerado novamente para medição do consumo de uma única viagem completa, com chamada fixada nos dois extremos, efetuando uma subida e uma descida. Neste teste o consumo na subida foi de -0,127 kWh e na descida foi de 0,382 kWh, conforme demonstrado na Figura 19 e Figura 20.

Figura 19 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) na subida com sistema regenerativo

Power & Energy	
FULL	0:15:31
L1	L2
L3	Total
kW	
kVA	
kVAR	
PF	
Cos ϕ	
kWh	-0.127
kVAh	0.196
kVARh	+0.019

Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 20 – Medição de energia Ativa (kWh), aparente (kVAh) e reativa (kVARh) na descida com sistema regenerativo



Fonte: Elaboração própria (2021).

Após o término das medições e dentro do prazo estipulado, o elevador foi novamente desligado para retirada do FLUKE e liberação a pleno funcionamento do equipamento, agora já contemplado com o sistema regenerativo de energia para elevadores.

3.4 Análise dos resultados

A análise dos resultados tem como objetivo principal dar subsídios para as discussões sobre a viabilidade financeira para instalação de sistemas regenerativos em elevadores.

3.4.1 Análise dos resultados do fluxo de passageiros

A análise do fluxo de passageiros é de suma importância para dar veracidade ao teste realizado. Levando em consideração que o contrapeso tem o peso total da cabina, acrescido de metade do peso de sua capacidade de carga, diferentes cenários ocorrem, conforme o sentido da viagem e número de passageiros.

Basicamente, no caso do elevador utilizado neste experimento, o sistema regenerativo de energia é capaz de regenerar quando o elevador estiver com sentido de subida, com carga de até 6 pessoas no interior desta cabina, ou no sentido de descida com carga igual ou superior a 8 passageiros. Lembrando que, para fins de cálculo de capacidade, é considerado 75 kg por pessoa.

A Tabela 8 mostra os dados com as possibilidades de regeneração de energia, levando em consideração o balanço de peso entre cabina, passageiros e contrapeso, evidenciando os pontos com máxima e mínima regeneração de energia.

Tabela 8 – Fluxo de passageiros e balanço de peso padrão (cabina + passageiros – contrapeso)

DADOS DO ELEVADOR 135211				
Carga na Cabina	Balanço de peso padrão (Cabina + Passageiros – Contrapeso) (Kg)	Possibilidade de Regeneração	Viagens Subindo	Viagens Descendo
0	-525	Subida (máxima regeneração)	42	45
1	-450	Subida	86	91
2	-375	Subida	71	60
3	-300	Subida	25	26
4	-225	Subida	22	23
5	-150	Subida	23	22
6	-75	Subida (mínima regeneração)	18	21
7	0	-	9	7
8	75	Descida (mínima regeneração)	11	4
9	150	Descida	5	1
10	225	Descida	1	0
11	300	Descida	0	0
12	375	Descida	0	0
13	450	Descida	0	0
14	525	Descida (máxima regeneração)	0	0
TOTAL DE PARTIDAS POR DIREÇÃO DA VIAGEM			313	300
TOTAL GERAL DE PARTIDAS			613	
PARTIDAS COM POTENCIAL DE REGENERAÇÃO			292	
% PARTIDAS COM POTENCIAL			47,63%	

Fonte: Elaboração própria (2021).

Desta forma, analisando o fluxo de pessoas descrito na Tabela 8, e somando as viagens com carga de 0 a 6 passageiros e as viagens com 8 passageiros ou mais, conclui-se que 47,63% das partidas tinham capacidade de regeneração de energia. Isto deu subsídio para elaborar o teste com 20 partidas, 10 subindo e 10 descendo, afim de retratar o mais próximo da realidade possível.

3.4.2 Análise dos resultados das medições realizadas.

Para um melhor entendimento da análise dos resultados dos testes realizados, cabe ressaltar algumas informações. Trata-se de um condomínio comercial enquadrado como grupo consumidor B, com tarifa convencional e classificação comercial. No mês de março de 2021 a tarifa de energia para fins de cálculo mensal era de R\$ 0,718514 por kWh consumido.

Dito isto, a medição feita para 20 viagens, sem o sistema de regeneração de energia, trouxe o valor de 3,473 kWh consumidos, contra 2,176 kWh consumidos nas mesmas 20 viagens após a instalação do sistema regenerativo. Isto representa 37,34% de redução no consumo de energia elétrica do elevador.

Levando em consideração a análise do fluxo de passageiros deste condomínio, pode-se estimar uma média de 650 viagens por dia, e considerar um regime de operação de 22 dias por mês, uma vez que se trata de um condomínio comercial e não tem fluxo aos finais de semana.

Assim, para fins de estimativa, isso implica numa redução de consumo de energia elétrica mensal de 927 kWh para apenas este elevador. Dessa forma, considerando a tarifa de R\$ 0,718514 por kWh consumido, estima-se que o condomínio poderia economizar aproximadamente R\$ 666,00 por mês, por elevador, com a instalação do sistema regenerativo.

3.4.3 Discussão da metodologia de testes.

É sabido que o teste retratou apenas a diferença entre ter ou não ter o sistema regenerativo de energia instalado em seu elevador, desprezando assim as chamadas intermediárias do percurso. Por um lado, essas chamadas podem regenerar menos energia que no teste. Por outro lado, elas também consomem menos energia elétrica.

Outro quesito que deve ser levado em consideração é a sazonalidade do momento atual. A pandemia da Covid-19 tem feito com que muitas empresas optem por trabalhos remotos, podendo afetar o fluxo de pessoas na edificação, uma vez que se trata de edifício comercial de escritórios.

Por fim, o teste se mostrou satisfatório, no que diz respeito à representatividade do fluxo de passageiros deste elevador, pois trouxe o número de

50% das partidas com capacidade de regenerar energia, muito próximo dos 47,63% das partidas com possibilidade de regeneração apuradas na análise de fluxo de passageiros.

4 ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA DE UM SISTEMA REGENERATIVO PARA ELEVADORES

A análise da viabilidade financeira visa estabelecer o *payback* do sistema regenerativo para elevadores. Na prática, isto significa determinar em quanto tempo o condomínio vai conseguir recuperar o valor investido para aquisição e instalação do sistema regenerativo.

Payback é um cálculo simples do tempo que levará para um investimento se pagar. O método *Payback* pode ser utilizado tanto por empreendedores iniciando um negócio quanto por gestores que querem implementar uma ideia e precisam saber o tempo de retorno do investimento. (CAMARGO, 2016, p. 1).

O *payback* pode ser calculado de forma simples ou de forma descontada. “Enquanto o simples é calculado sem considerar o valor do dinheiro no tempo, o descontado já inclui os valores descontados para o presente por meio de uma taxa de juros.” (CASTRO, 2020). Para esta análise será utilizado a forma descontada, pois com ela é possível fazer a devida correção monetária do valor investido.

O primeiro passo para execução deste estudo é fazer a cotação de uma aquisição de um sistema regenerativo idêntico ao instalado no estudo no condomínio do estudo de caso. Para isso, foi feito contato com um consultor comercial da empresa responsável pelos elevadores do condomínio do estudo de caso e solicitado um orçamento para tal instalação. O investimento para esta aquisição ficou em R\$ 47.528,88 e pode ser visto no ANEXO A.

Depois, como optou-se pela forma de *payback* descontado, foi a vez de estipular qual seria a taxa de juros a ser utilizada na simulação, também chamada de taxa mínima de atratividade – TMA. Neste caso, foi utilizada a taxa Selic - Sistema Especial de Liquidação e Custódia, também conhecida como taxa básica de juros da economia brasileira. O relatório Focus Banco Central do Brasil (2021) estima que a taxa Selic para o ano de 2021 deve ficar em 5% ao ano, conforme observa-se na figura 21.

Figura 21 – Relatório de mercado Focus

BANCO CENTRAL DO BRASIL		Focus Relatório de Mercado				
Expectativas de Mercado						
Mediana - Agregado	2021					
	Há 4 semanas	Há 1 semana	Hoje	Comp. semanal *	Resp. **	
IPCA (%)	3,82	4,60	4,71	▲ (11)		126
IPCA (atualizações últimos 5 dias úteis, %)	3,85	4,72	4,75	▲ (7)		53
PIB (% de crescimento)	3,29	3,23	3,22	▼ (3)		75
Taxa de câmbio - fim de período (R\$/US\$)	5,05	5,30	5,30	= (1)		115
Meta Taxa Selic - fim de período (% a.a.)	4,00	4,50	5,00	▲ (2)		120
IGP-M (%)	8,02	11,02	11,89	▲ (11)		81
Preços Administrados (%)	5,10	6,15	7,26	▲ (6)		36
Produção Industrial (% de crescimento)	5,18	4,69	5,10	▲ (3)		14
Conta Corrente (US\$ bilhões)	-16,00	-11,00	-11,50	▼ (1)		20
Balança Comercial (US\$ bilhões)	56,00	55,00	55,00	= (2)		19
Investimento Direto no País (US\$ bilhões)	60,00	52,50	55,00	▲ (1)		17
Dívida Líquida do Setor Público (% do PIB)	64,00	65,00	64,69	▼ (1)		18
Resultado Primário (% do PIB)	-2,80	-2,90	-3,00	▼ (2)		21
Resultado Nominal (% do PIB)	-7,00	-7,10	-7,10	= (1)		17

Fonte: Banco Central do Brasil (2021).

Visando uma análise mais completa, também será calculada a Taxa Interna de Retorno (TIR) sobre este investimento. Contudo, para se obter a TIR, é necessário estipular um prazo pelo qual vai se usufruir dos bens adquiridos pelo investimento inicial. A vida útil média do elevador apresenta-se como um indicativo adequado para representar tal prazo, a qual, na prática, é em torno dos 15 anos (THYSSENKRUPP, 2017b).

Cabe salientar que o sistema regenerativo utiliza em seu quadro os mesmos tipos de componentes encontrados nos quadros de comando dos elevadores, podendo assim estimar que o regenerativo tem aproximadamente a mesma vida útil do elevador.

Outra informação importante para o cálculo do *payback* é a economia ou incremento de receita gerado a partir do investimento feito. Para este caso será utilizado o valor aproximado de R\$ 666,00 de economia gerada por mês, após a instalação do sistema regenerativo. Isso corresponde a uma economia de aproximadamente R\$ 7.992,00 por ano.

Para complementar as informações dos custos envolvidos, a empresa responsável pela manutenção dos elevadores do condomínio estudado neste trabalho foi questionada sobre a existência de custos adicionais para manutenção do sistema

regenerativo. A mesma informou não existir tais custos e que o sistema entra na rotina normal de manutenções mensais.

A Tabela 9 mostra um compilado dos requisitos descritos acima e que são de suma importância para determinação do *payback*.

Tabela 9 – Requisitos para determinação do *payback*

Indicadores	Valores
Tipo de <i>payback</i>	Descontado
Investimento	R\$ 47.528,88
Economia anual	R\$ 7.992,00
TMA	5%
Vida útil (anos)	15

Fonte: Elaboração própria (2021).

De posse das informações supracitadas foi possível modelar o problema, em que a ferramenta Excel foi utilizada para organização dos dados e cálculo dos resultados. Os dados de entrada são o investimento de R\$ 47.528,88, a economia anual de R\$ 7.992,00, uma TMA de 5% e um prazo de 15 anos. Com estes dados é possível calcular o Valor Presente (VP), Valor Presente Acumulado e Valor Presente Líquido (VPL), dos quais chega-se ao *payback*. A Tabela 10 demonstra os resultados obtidos.

Tabela 10 – Resumo dos resultados obtidos

INVESTIMENTO	R\$ 47.528,88		
TMA (%)	5,00%		
PERIODO (ANOS)	FLUXO	VALOR PRESENTE	VP ACUMULADO
0	-R\$ 47.528,88	-R\$ 47.528,88	-R\$ 47.528,88
1	R\$ 7.992,00	R\$ 7.611,43	-R\$ 39.917,45
2	R\$ 7.992,00	R\$ 7.248,98	-R\$ 32.668,47
3	R\$ 7.992,00	R\$ 6.903,79	-R\$ 25.764,68
4	R\$ 7.992,00	R\$ 6.575,04	-R\$ 19.189,64
5	R\$ 7.992,00	R\$ 6.261,94	-R\$ 12.927,70
6	R\$ 7.992,00	R\$ 5.963,75	-R\$ 6.963,95
7	R\$ 7.992,00	R\$ 5.679,77	-R\$ 1.284,18
8	R\$ 7.992,00	R\$ 5.409,30	R\$ 4.125,12
9	R\$ 7.992,00	R\$ 5.151,71	R\$ 9.276,83
10	R\$ 7.992,00	R\$ 4.906,39	R\$ 14.183,23
11	R\$ 7.992,00	R\$ 4.672,76	R\$ 18.855,98
12	R\$ 7.992,00	R\$ 4.450,24	R\$ 23.306,23
13	R\$ 7.992,00	R\$ 4.238,33	R\$ 27.544,56
14	R\$ 7.992,00	R\$ 4.036,50	R\$ 31.581,06
15	R\$ 7.992,00	R\$ 3.844,29	R\$ 35.425,35
SOMA VPs	R\$ 82.954,23		
VPL	R\$ 35.425,35		
TIR (%)	14,65%		
TAXA DE LUCRATIVIDADE (%)	1,75%		
PAYBACK (ANOS)	7,24		

Fonte: Elaboração própria (2021).

Como resultado desta análise, feita para um período de 15 anos com um investimento de R\$ 47.528,88, foi obtida uma economia aproximada de 11.124 kWh/ano, representando uma queda estimada de 37,34% no consumo e de aproximadamente R\$ 7.992,00 por ano no custo com energia elétrica.

O cálculo do *payback* levou em consideração uma TMA de 5% ao ano, sendo necessários 7,24 anos para reaver o investimento de aquisição do sistema regenerativo. O valor presente líquido apresentado foi de R\$ 35.425,35 e a taxa interna de retorno foi de 14,65%, ficando maior que a taxa mínima de atratividade, apresentando desta forma que o projeto pode pagar o investimento realizado e ainda trazer ganho financeiro ao condomínio ao final dos 15 anos.

Alguns fatores podem melhorar ou piorar o retorno financeiro sobre o investimento feito pelo condomínio. Um destes fatores é a variação da taxa mínima de atratividade escolhida como parâmetro para o estudo. No caso do presente estudo foi determinada a taxa Selic como TMA, que nos últimos 15 anos passou por algumas

oscilações de seus índices, ficando entre 2% e 18%. Quanto menor essa taxa, mais rápido será o tempo de retorno do investimento.

Outro fato importante que pode interferir neste resultado é o custo da energia elétrica. Nos últimos anos nota-se algumas oscilações neste custo, na maioria dos anos ficando mais caro para o consumidor. Se este custo aumentar, o retorno sobre o investimento tende a ser maior, uma vez que o condomínio deixará de desembolsar mais dinheiro para pagar uma energia elétrica mais cara. Isso tende a deixar o tempo de retorno do investimento mais curto.

Existe ainda a possibilidade de redução no consumo de energia com climatização do recinto da casa de máquinas. Na experiência do autor, alguns modelos de elevadores trazem em seu projeto executivo a necessidade de instalação de ar condicionado em sua casa de máquinas, a fim de evitar superaquecimento de componentes eletroeletrônicos, que possam diminuir a vida útil dos equipamentos. Esta temperatura elevada na casa de máquinas se dá pela dissipação da energia não aproveitada em elevadores sem sistema regenerativo. Para isso, a energia é dissipada em forma de calor em um banco de resistores. Contudo, em elevadores com sistema regenerativo, essa perda de energia não acontece, uma vez que a energia passa a ser regenerada e devolvida para a rede interna do condomínio. Com isso, passa a não mais existir a necessidade de ar condicionado, desonerando o condomínio de um custo com energia elétrica deste equipamento ligado 24 horas por dia. Agrega-se a esta economia, também, a redução no custo de manutenção periódica deste ar condicionado, tornando o investimento ainda mais atrativo.

Por fim, salienta-se que este estudo foi realizado sob restrições impostas pelo condomínio e pela empresa responsável pelo elevador, podendo trazer melhores resultados quando da disponibilidade de testes em situações reais de uso. Não obstante, mesmo com as restrições, os resultados se mostraram satisfatórios e mostram uma boa atratividade financeira.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como finalidade o estudo teórico e prático sobre as condições gerais de instalação de um sistema de regeneração de energia em elevadores. O estudo de revisão contemplou aspectos evolutivos, tecnológicos e operacionais dos elevadores, partes constituintes e operação elementar. Foi apresentado o sistema regenerativo e como sua operação permite substancial redução de energia em sistemas de elevadores.

Para a validação prática dos benefícios do sistema regenerativo foram avaliadas as condições de uso e fluxo de passageiros de um elevador em um condomínio comercial, comparando o consumo de energia deste elevador com e sem o sistema regenerativo instalado. O conjunto de testes propostos, ainda que simples em função das limitações normativas da empresa fornecedora, permitiram concluir sobre condições operacionais diversas de sistemas de elevadores com e sem regeneração de energia.

Os resultados dos testes permitiram estimar a economia de energia anual para um cenário provável de uso. A viabilidade financeira de aquisição e instalação do sistema regenerativo pode ser quantificada e discutida.

Ao fim, a partir dos resultados obtidos e de um cenário hipotético, mas provável de contexto econômico, foi calculado o tempo de retorno de investimento, que nas condições de análise foi de pouco mais de sete anos, menos da metade da vida útil média de elevadores.

A partir dos resultados dos testes realizados, foi possível observar que o elevador equipado com o regenerador de energia, para as condições de estudo apresentadas, ficou aproximadamente 37,34% mais econômico no consumo de energia elétrica, quando comparado ao sistema convencional (sem regeneração), se mostrando uma aquisição vantajosa para o condomínio em questão.

Entretanto, é importante considerar que o teste ocorreu em um condomínio comercial, com um fluxo de passageiros acentuado. Fluxo esse mais elevado que em um condomínio residencial. Desta forma, sabe-se que em condomínios residenciais a redução de consumo vai existir, porém, o retorno sobre o investimento pode não ser tão atrativo.

Outro ponto positivo do sistema regenerativo testado é que ele devolve a energia diretamente para a rede interna do condomínio, podendo ser utilizada nas

demais cargas de uso comum, inclusive nos outros elevadores, dispensando assim burocracias com as concessionárias de energia.

Por último, a análise financeira desta aquisição mostrou a viabilidade de instalação do sistema regenerativo para o condomínio em questão, necessitando de uma melhor análise em condomínios com baixo número de andares e fluxo reduzido, onde o investimento pode demorar a retornar.

Para trabalhos futuros sugere-se um estudo focado em condomínios residenciais com baixa e média quantidade de andares, a fim de verificar a viabilidade do sistema regenerativo neste público alvo. Indica-se também a avaliação de desempenho do sistema regenerativo considerando uma metodologia mais detalhada de operação, como por exemplo monitorando o consumo de energia por mais tempo e, sobretudo, simulando um fluxo natural de pessoas no elevador.

Considerando a grande penetração de sistemas fotovoltaicos em condomínios residenciais e comerciais, sugere-se que arquiteturas elétricas híbridas (CC e CA) e complexas (com otimização dos sistemas de processamento de energia), sejam avaliadas com foco no aumento de eficiência energética global da instalação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 207** (1999). Elevadores elétricos de passageiros: requisitos de segurança para construção e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ATLAS SCHINDLER. **Manual de transporte vertical em edifícios elevadores de passageiros, escadas rolantes, obra civil e cálculo de tráfego**. 2020a. Disponível em: <http://www.schindler.com/content/dam/web/br/PDFs/NI/manual-transporte-vertical.pdf>. Acesso em 10 jul 2020.

ATLAS SCHINDLER. **Máquina de tração**. 2020b. Disponível em: www.atlas.schindler.com. Acesso em 10 jul 2020.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Focus - Relatório de Mercado**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus>. Acesso em 01 abr. 2021.

CAMARGO, Renata Freitas de. Como o método Payback pode ajudar na Análise do Tempo de Retorno do Investimento em Projeto. **Treasy**. 23 out. 2016. Disponível em: [https://www.treasy.com.br/blog/payback-tempo-de-retorno-do-investimentos/#:~:text=%C3%A0%20seus%20colegas\)-,O%20que%20%C3%A9%20Payback,tempo%20de%20retorno%20do%20investime nto](https://www.treasy.com.br/blog/payback-tempo-de-retorno-do-investimentos/#:~:text=%C3%A0%20seus%20colegas)-,O%20que%20%C3%A9%20Payback,tempo%20de%20retorno%20do%20investime nto). Acesso em 19 março 2021.

CASTRO, Laudifer Sfreddo de. Payback: como calcular o prazo de retorno de investimento. **Conta Azul Blog**, 29 dez.2020. Disponível em: <https://blog.contaazul.com/indicador-payback>. Acesso em 19 mar. 2021.

CAVALCANTE, Igor Vasconcelos. **Sistema de regeneração para elevadores**. 2016. Projeto de graduação. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Mecânica. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/16654/1/2016_IgorVasconcelosCavalcante_tcc.pdf. Acesso em: 02 ago. 2020.

CRUSHTYMK. Energia e poder para todos. **Diretrizes para a frenagem elétrica de motores assíncronos**. 2019. Disponível em: <https://crushtymks.com/pt/electric-motor/225-guidelines-to-electrical-braking-of-asynchronous-motors.html>. Acesso em: 02 ago. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-510/Resenha%20Mensal%20-%20Janeiro%202020_v4.pdf. Acesso em 08 abr. 2020.

ESQUEMAS ELETRÔNICOS. **Comando motor frenagem por corrente contínua com esquemas instalação**. 2017. Disponível em: <https://esquemaseletronicos.com.br/comando-motor-frenagem-por-corrente-continua/>. Acesso em: 02 ago. 2020.

FORTULAN, Carlos Alberto; PEDROSO, Marcos Paulo Gonçalves. **Projeto Mecânico: motores elétricos**. 2016. Slides da aula 07 do Curso de Engenharia Mecânica da USP. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3957285/mod_resource/content/0/aula7_Motores_eletricos_selecao.pdf. Acesso em: 02 ago. 2020.

MARQUES, Romulo. **Gastos de energia de elevadores: tudo que você precisa saber**. 2020. Disponível em: <https://meuelevador.com/gasto-de-energia-de-elevadores/>. Acesso em 7 jul 2020.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa** Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=elevador>. Acesso em 19 jul. 2020.

OLIVEIRA, Roberto André Henrique de. **Sistema de frenagem regenerativa com motor de indução linear do veículo maglev-cobra**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2013082901.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2020.

OTIS. **Vedação de máquina - VSP08: Garanta a vida útil de sua máquina de tração**. Catalogo vedação máquina de tração OTIS. 2019. Disponível em: www.otis.com. Acesso em 25 jul. 2020.

OTIS. **Drive ReGen: A escolha inteligente**. Catalogo drive ReGen OTIS. 2020. Disponível em: www.otis.com. Acesso em 25 jul. 2020.

PINHEIRO, Hélio. **Aula de motores trifásicos de CA**. 2007. Curso de Eletrotécnica do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/aula-de-motores-trifasicos-de-ca/view>. Acesso em: 02 ago. 2020.

SIEMENS. **Motores de corrente contínua: guia rápido motores CC**. Unidade Automação e Controle – Acionamentos e Motores Elétricos. Publicação técnica, 2006. Disponível em: www.siemens.com.br/motores. Acesso em 02 ago. 2020.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Motor CC: saiba como funciona e de que forma especificar**. 2017. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/motor-cc/>. Acesso em: 01 ago. 2020.

TEIXEIRA JÚNIOR, Américo. **KERS: O que é e como funciona?** 2009. Disponível em: <https://www.diariomotorsport.com.br/kers-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em 25 jul. 2020.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Sistema de acionamento VVVF**. 2013. Disponível em: <https://www.thyssenkruppelevadores.com.br/>. Acesso em 20 jul. 2020.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Elevador com máquinas com engrenagem: contrapeso ao fundo. Cabinas amazona. Dimensionamento.** 2015a. Disponível em: <https://www.thyssenkruppelevadores.com.br/pt-BR/downloads/catalogos/4/>. Acesso em 20 jul. 2020.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Reparos e serviços.** 2015b. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10445079-Reparos-e-servicos-thyssenkrupp-elevadores-thyssenkrupp-elevadores.html>. Acesso em 20 jul. 2020.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Sistema regenerativo de energia.** 2016. Disponível em: <https://www.thyssenkruppelevadores.com.br/>. Acesso em 20 jul. 2020.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Modernização: Máquinas de tração.** 2017. Disponível em: <http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/>. Acesso em 20 jul. 2020.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Thyssenkrupp é a primeira a transformar elevadores em unidades de energia net-zero.** 2017b. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xZPM3Gz43RwJ:https://www.thyssenkruppelevadores.com.pe/release/download/877/+&cd=8&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em 19 mar. 2021.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Como o elevador pode economizar energia?** 2020a. Disponível em: <http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/blog/como-o-elevador-pode-economizar-energia/>. Acesso em 20 jul. 2020.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Você sabe como o elevador funciona?** 2020b. Disponível em: <http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/blog/voce-sabe-como-o-elevador-funciona/>. Acesso em 20 jul. 2020.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **A evolução do elevador: do comando à relés ao sistema sem cabos.** 2020c. Disponível em: <http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/blog/evolucao-do-elevador-do-comando-reles-ao-sistema-sem-cabos/>. Acesso em 20 jul. 2020.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Modernização de elevadores.** 2020d. Disponível em: <http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/blog/modernizacao-de-elevadores/>. Acesso em 20 jul. 2020.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Eficiência energética em elevadores.** 2020e. Disponível em: <http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/blog/eficiencia-energetica-em-elevadores/>. Acesso em 20 jul. 2020.

VIEIRA, Felipe. **Como frear um motor elétrico.** 2017. Disponível em: <https://blogdaliga.com.br/para-voce-eletricista-como-frear-um-motor-eletrico/>. Acesso em: 17 jul. 2020.

WEB DRIVES. **Veja aqui o que é e como funciona a Frenagem em Inversores.** 2019. Disponível em: <https://webautomacaoindustrial.blogspot.com/2016/06/veja-aqui-o-que-e-e-como-funciona.html>. Acesso em: 02 ago. 2020.

WEG. **Soluções integradas para veículos elétricos**. 2020. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/solutions/electric-vehicles>. Acesso em: 02 ago. 2020.

ANEXOS

ANEXO A - orçamento para instalação de um sistema regenerativo de energia.



PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO PARCIAL

PROPOSTA Nº 211905516

Edifício Evolution Corporate
AV DO ESTADO DALMO VIEIRA, 0
BALNEARIO CAMBORIU, SC - 88330075

A/C Geovane

Prezado(a) Senhor(a),

A seguir, apresentamos nossa proposta técnica/comercial para sua apreciação e aprovação, sendo que desde já nos colocamos à sua inteira disposição para qualquer outro esclarecimento que entenda necessário.

Atenciosamente,

<p>DANIEL SCOTTA Comercial thyssenkrupp Elevadores E-mail: daniel.scotta@tkelevator.com Tel.: (47) 9 9211-9721</p>

BALNEARIO CAMBORIU, 12/03/2021

Modernização

-  Segurança
-  Performance
-  Economia
-  Design



A modernização thyssenkrupp oferece soluções que objetivam garantir maior segurança e economia aos seus clientes, através de produtos de desempenho técnico superior que asseguram elevado padrão de confiabilidade com design sofisticado.

I – COMPONENTES DA MODERNIZAÇÃO:

Venda e instalação de equipamento(s) conforme especificações técnicas a seguir descritas, visando à modernização dos equipamentos referidos no presente contrato.

CASA DE MÁQUINAS

Equipamentos: 135211

Serviços:

- Esse sistema reaproveita a energia devolvida pela máquina de tração do elevador devolvendo-a ao edifício, ao invés de desperdiçá-la em forma de calor. (Qtd: 1.0).



II – PRAZOS DE ENTREGA:

1- A CONTRATADA efetuará a entrega do(s) equipamento(s) modernizados conforme a agenda abaixo, respeitando as condições descritas posteriormente no contrato de Modernização.

Equipamento 135211 entregue modernizado em 97 dias contando a partir da data de assinatura do contrato.

III – PREÇO:

Valor total do orçamento: R\$ 47.528,88 (Quarenta e Sete Mil e Quinhentos e Vinte e Oito Reais e Oitenta e Oito Centavos), que será segregado em materiais e serviços, por ocasião da efetiva contratação.

IV – CONDIÇÕES DE PAGAMENTO:

Em 12 parcelas iguais de R\$ 0,00 ()

V – DISPOSIÇÕES GERAIS:

1 - Fica estabelecido entre as partes que a presente proposta configura-se uma proposta preliminar, devendo ser assinado instrumento definitivo contendo condições mais detalhadas e complementares.

2 - A presente proposta tem prazo validade de 30 (trinta) dias.