

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO**  
**INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

**ESTEVÃO ROSSIGNOL VIEIRA CARDOSO**  
**GUSTAVO LIMA DE MEDEIROS**

**REGENERAÇÃO DE ENERGIA POR MEIO DE ELEVADORES**

**SÃO PAULO**  
**2019**

**ESTEVÃO ROSSIGNOL VIEIRA CARDOSO  
GUSTAVO LIMA DE MEDEIROS**

**REGENERAÇÃO DE ENERGIA POR MEIO DE ELEVADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP).

Curso de Instalações Elétricas, voltado para às  
áreas de instalações: prediais, comerciais e industriais.

ORIENTADOR: Profº. Me. Helvio Fregolente Jr.

**SÃO PAULO  
2019**

## **AGRADECIMENTOS**

## **Resumo**

O trabalho apresenta o intuito de divulgar de maneira esclarecida o emprego do processo de regeneração de energia em sistemas de elevadores. Para este propósito, inicialmente são abordadas as partes constituintes tradicionais de um sistema de elevadores convencionais e suas principais características; são apresentados em seguida os diversos fatores a serem considerados, com base nas normas vigentes, para os dimensionamentos que variam de acordo com a estrutura e que serão relevantes para a determinação da viabilidade ou das diversas formas de se explorar o fenômeno regenerativo; também são explicados os sistemas responsáveis pela alimentação do sistema e suas formas de controle. Podem-se definir estes tópicos como a primeira parte do trabalho, em que o enfoque se dá mais no sistema em si do que na aplicação das técnicas e equipamentos responsáveis pela regeneração. Assim, a segunda parte trata justamente de explicar o fenômeno regenerativo, seus equipamentos necessários e suas formas de utilização em prol do próprio sistema de elevadores ou de outras áreas de uma estrutura. Por fim, a última parte pode ser definida como uma análise de viabilidade tecnológica junto com um exemplo de caso para demonstrar as características que propiciam sua implementação, bem como sua efetividade.

## **Abstract**

The paper presents the intention to disclose the use of energy regeneration process in elevator systems. For this purpose, the traditional constituent parts of a conventional elevator system and their main characteristics are initially addressed; The following are the various factors to be considered, based on current standards, for sizing that varies by structure and which will be relevant for determining the feasibility or the various ways of exploring the regenerative phenomenon; Also explained are the systems responsible for the system power and its forms of control. These topics can be defined as the first part of the work, where the focus is on the system itself rather than on the techniques and equipment responsible for regeneration. Thus, the second part is precisely to explain the regenerative phenomenon, its necessary equipment and its use in favor of the elevator system itself or other areas of a structure. Finally, the last part can be defined as a technological feasibility analysis along with a case example to demonstrate the characteristics that enable its implementation, as well as its effectiveness.

## Sumário

INTRODUÇÃO .....	8
1. Objetivo.....	10
2. Elevadores .....	11
2.1 Histórico de Normas.....	11
2.2 Componentes de um elevador .....	12
2.2.1 Cabina.....	12
2.2.2 Contrapeso .....	15
2.2.3 Caixa .....	16
2.2.4 Cabos .....	17
2.2.5 Polias .....	17
2.2.6 Casa de Máquinas .....	18
2.2.7 Limitador de Velocidade .....	19
2.2.8 Máquinas de Tração .....	20
2.2.9 Quadros de Comando .....	21
3 Motor .....	22
3.1.1 Corrente Alternada – uma velocidade .....	23
3.1.2 Corrente Alternada – duas velocidades .....	23
3.1.3 Por Moto geradores .....	24
3.1.4 Soft Starter e Inversor de Frequência .....	24
3.2 Dimensionamento de Motores .....	25
3.3 Cálculo de Tráfego.....	26
3.3.5 Intervalo de tráfego .....	29
3.4 Capacidade de passageiros .....	29
3.5 Paradas do elevador.....	30
3.6 Percurso do elevador .....	30
3.7 Velocidade do elevador (m/s) .....	31
3.8 Demais tempos a serem considerados .....	31
3.8.1 Aceleração e retardamento do elevador .....	31
3.8.2 Abertura e fechamento das portas .....	32
3.8.3 Entrada e saída dos passageiros .....	32
3.8.4 Soma parcial .....	33
3.8.5 Adicional de tempo .....	33
3.8.6 Soma total .....	33
3.8.7 Capacidade de transporte .....	33
3.8.8 Capacidade de tráfego .....	34

3.8.9 Intervalo de tráfego .....	34
3.8.10 Grau de serviço .....	35
4. O processo de regeneração.....	36
4.1 Regeneração em elevadores .....	37
4.2.1 Direcionamento à rede .....	41
4.2.2 Sincronismo .....	44
4.3 Drives regenerativos .....	45
4.4 Utilização da energia regenerada à rede .....	46
4.5 Sistema KERS .....	47
4.6 Métodos de utilização da energia regenerada .....	48
5. Armazenamento.....	50
5.1 Bateria .....	50
5.2 Flywheel .....	51
5.3 Inversor de frequência .....	52
5.4 Banco de Supercapacitores .....	53
6. Viabilidade.....	55
6.1 Transporte Público .....	55
6.2 Elevadores Externos .....	57
6.3 Elevadores .....	57
6.4 Exemplo de caso.....	58
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	62

## INDICE DE IMAGENS

**Figura 1:** <http://www.mmelevadores.com.br/produtos-e-acessorios/cabinas.html>

**Figura 2:** [https://fotos.habitissimo.com.br/foto/estrutura-e-contrapeso\\_1718092](https://fotos.habitissimo.com.br/foto/estrutura-e-contrapeso_1718092)

**Figura 3:** <https://www.schindler.com>

**Figura 4:** <https://www.schindler.com>

**Figura 5:** <https://www.aricabos.com.br/>

**Figura 6:** <https://www.atualizeelevadores.com.br>

**Figura 7:** <https://www.meuelevador.com/limitador-de-velocidade/>

**Figura 8:** <https://www.aricabos.com.br/>

**Figura 9:** <https://www.citisystems.com.br/motor-eletrico/>

**Figura 10:** <https://www.schindler.com>

**Figura 11:** <https://www.schindler.com>

**Figura 12:** <https://www.schindler.com>

**Figura 13:** <https://www.schindler.com>

**Figura 14:** <https://www.schindler.com>

**Figura 15:** Alouche, Peter; **A regeneração e a recuperação de energia por onduladores no metrô de São Paulo.**

**Figura 16:** ACQUAVIVA, Sebastiano. Energy Storage and Recovery System for Lift. Study Report on Application of Lift Regenerative Power. 2015.

**Figura 17:** <https://images.app.goo.gl/iXNv3noVdM32Yab6A>

**Figura 18:** <http://www.vsdrive.com/variable-speed-drive-for-ac-motor-speed-control.html>

**Figura 19:** <https://www.electrical4u.com/ward-leonard-method-of-speed-control/>

**Figura 20:** <https://www.indiamart.com/proddetail/scr-dc-drive-2189137630.html>

**Figura 21:** <http://claddaghelectronics.com/frequency-motor-drives/14-keb-combivert-r6.html>



**Figura 22:** <https://www.docsity.com/pt/sincronizacao-de-geradores/4701423/>

**Figura 23:** <http://www.aeamesp.org.br>

**Figura 24:** <http://www.autoracing.com.br/f1-como-funciona-o-kers/>

**Figura 25:** <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAFEEAG/sincronizacao-geradores>

**Figura 26:** <http://eletricaesusduvidas.blogspot.com/2010/10/harmonicass.html>

**Figura 27:** [https://pt.wikipedia.org/wiki/Bateria\\_chumbo-%C3%A1cido](https://pt.wikipedia.org/wiki/Bateria_chumbo-%C3%A1cido)

**Figura 28:** <https://en.wikipedia.org/wiki/Flywheel>

**Figura 29:**

[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022002000200012&lng=en&nrm=iso](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200012&lng=en&nrm=iso)

**Figura 30:** <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/52-artigos-diversos/8379-novasaplicacoes-para-super-capacitores-art1441>

**Figura 31:** <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/52-artigos-diversos/8379-novasaplicacoes-para-super-capacitores-art1441>

**Figura 32:** Alouche, Peter; **A regeneração e a recuperação de energia**

**Figura 33:** [https://en.wikipedia.org/wiki/Central\\_Government\\_Complex\\_\(Hong\\_Kong\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Central_Government_Complex_(Hong_Kong))

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Sobre o cálculo de limitação da área disponível para uso na cabina.....	7
Tabela 2: Cálculo do número de passageiros de acordo com área útil.....	8
Tabela 3: Velocidade nominal do motor (m/s) x capacidade de passageiros na cabina.....	19
Tabela 4: Determinação populacional de acordo com o ambiente.....	21
Tabela 5: Mínimo populacional a ser transportado em 5 minutos.....	22
Tabela 6: Intervalo de tráfego.....	23
Tabela 7: Lotação de pessoas - carga x área útil.....	25
Tabela 8: Percurso x velocidade.....	27
Tabela 9: Percurso x velocidade - edifícios não residenciais (recomendação).....	27
Tabela 10: Velocidade x tempo de parada.....	28
Tabela 11: Tempo de parada de acordo com o tipo de abertura.....	28
Tabela 12: Tamanho da abertura das portas x entrada e saída de um passageiro.....	29
Tabela 13: Níveis do grau de serviço.....	32
Tabela 14: Resultados de energia dos sistemas de elevadores do complexo.....	44

## Índice de Equações

Equação 1: Cálculo de paradas possíveis.....	26
Equação 2: Percurso total do elevador.....	26
Equação 3: Adicional de tempo.....	29
Equação 4: Tempo total da viagem.....	30
Equação 5: Capacidade de transporte.....	30
Equação 6: Capacidade de tráfego.....	31
Equação 7: Intervalo de tráfego.....	31
Equação 8: Grau de Serviço.....	32
Equação 9: Relação de forças sobre a cabina.....	35
Equação 10: Relação de forças sobre a cabina.....	35
Equação 11: Aceleração do sistema de elevador.....	35
Equação 12: Relação das potências (estável e dinâmica) do sistema.....	36

## INTRODUÇÃO

Não é de espanto algum o fato de vermos uma cidade calcada cada vez mais em construções verticais, e ainda por cima de alturas cada vez maiores. Segundo informações levantadas pelo site Infomoney (datada do ano de 2013), as cidades de Hong Kong, Nova York e São Paulo apresentam um somatório de arranha-céus que chegaria a um valor aproximado de mais de 19.746 edifícios – fala-se de um relatório de seis anos atrás e é bem provável que neste meio tempo tenha havido um aumento considerável deste número. Logicamente - levando em conta o cenário tecnológico atual -, é praticamente certo o fato de estas construções serem providas de um ou mais sistemas de elevadores.

Mas o conceito básico que rege os elevadores não é moderno – no sentido histórico, como costumeiramente se supõe. Estudiosos da Antiguidade supõem que os egípcios já utilizavam a ideia elevatória para o erguimento de blocos e de água proveniente do Rio Nilo, através de tração animal ou humana. A especulação tenta até explicar construções notáveis como, por exemplo, as pirâmides do Egito. Séculos à frente, por volta de I a.C, o arquiteto romano Vitruvius Pollio deixara seu legado para a história e para a engenharia mecânica através de seu livro “*De Architectura*”, comprovando o uso de elevadores em sua época a partir de cordas, roldanas e manivelas. Em 1823, pelos arquitetos Burton e Horner, foram inventados os elevadores através de um sistema de funcionamento a vapor e, posteriormente, uma vez disseminada o valor que estes mecanismos tinham, fora criado os elevadores hidráulicos.

Até hoje, os elevadores hidráulicos são tidos como opções, em casos específicos, para estruturas quando são levantados fatores de custo, manutenção e eficácia. Seu funcionamento se dá com o princípio instituído por Pascal e sua Mecânica de Fluídos, através de pistões hidráulicos. No século XIX, no entanto, a instalação deste sistema tornava-se inviável, pois quanto maiores fossem os edifícios a serem assessorados pelos elevadores, maiores teriam que ser os poços para garantir a altura de subida necessária (devido seu modo de operação). Além deste fator inconveniente, havia também questão de segurança: estes sistemas não previam o rompimento dos cabos por desgaste, o que poderia ocasionar em uma queda livre do sistema da cabina, ferindo e matando passageiros ou prejudicando a integridade de cargas a serem erguidas. Foi com a invenção de Elisha Otis, que

desenvolvera a solução para a insegurança dos elevadores - com a criação dos freios de segurança –, e a contribuições de Werner Von Siemens e Alexander Miles, respectivamente, inventor e aperfeiçoador do elevador elétrico, que se tornaram viáveis a aplicação dos elevadores de acordo com os avanços da engenharia civil e requerimentos modernos o qual propiciou a popularização destes nas construções atuais.

Apesar das inúmeras vantagens que os elevadores proporcionam como o transporte de materiais e locomoção de pessoas com menor esforço, o custo de instalação de um elevador ainda é bastante oneroso: elevadores instalados em prédios de vários andares custam em média R\$ 70.000 à R\$200.000 reais (meuelevador) - podendo ser ainda mais caros dependendo da estrutura – isto ainda sem contabilizar as manutenções devidas de periodicidade regular, que tornam todo esse serviço, a vista financeira, extremamente desestimulante. É com vista nesta problemática que trazemos como conteúdo de trabalho um modo de explorar energia proveniente do próprio sistema de elevadores para seu próprio uso posterior ou para emprego em demais setores de uma instalação elétrica.

O processo de regeneração de energia foi um fenômeno previsto por diversos estudiosos e contribuintes para avanço dos motores e geradores elétricos. Já utilizado em sistemas ferroviários e de carros de Fórmula 1, adquiriram certa consideração nos últimos tempos em sistemas de escadas rolantes e elevadores (o qual este último foi a escolha para a análise). Porém, trata-se de um emprego que impactaria positivamente em termos de economia de energia em várias instalações, mas que ainda não recebeu a notoriedade que lhe caberia.

## 1. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo principal revelar, bem como colocar em prática, uma alternativa a mais em matéria de economia de energia elétrica nas instalações elétricas, tanto de cunho residencial e comercial, quanto industrial.

Sabe-se que a regeneração de energia por meio dos elevadores não é nenhuma novidade no mundo acadêmico e prático, porém esse trabalho se propõe a alavancar ainda mais o assunto, enfatizando sua eficiência e impacto positivo em termos de economia nas contas dos detentores desse maquinário de transporte, oferecendo também propostas para a utilização dessa energia “regenerada”, independente da área de atuação.

Resumidamente explicando os preceitos deste trabalho, propomos duas ideias básicas de se aproveitar o sistema regenerativo: a primeira seria o redirecionamento da energia para a rede e, por fim, para utilização em outros sistemas; ou o armazenamento da energia regenerada para um posterior uso. Todas as proposições de destino para esta energia visam à economia de energia, impactando positivamente nas contas de energia das edificações que oferecem este serviço. A viabilidade também faz parte do escopo, visto que é preciso, antes de qualquer coisa, verificar a capacidade e se compensa tal empreendimento nas instalações – uma vez que cada qual é dotada de certas particularidades (ambientais, ferramentais etc.). Logo, o norteamento para uma análise prudente de acordo com alguns princípios comuns já expressos por meio de normatizações e orientações de fabricantes de equipamentos relacionados ao sistema.

O trabalho criado procura expor uma gama de informações relacionadas ao tema para ajudar no esclarecimento de eventuais dúvidas, aprimoramento de conceitos ou como uma leitura inicial orientadora para os estudiosos e profissionais da área que porventura voltem as suas atenções para o assunto.

## 2. Elevadores

Os elevadores, segundo a definição dada pela **NBR 5666/77** - que trata sobre os termos dos componentes para sua instalação - são tidos como: aparelhos estacionários providos de cabina que se movem aproximadamente na vertical entre guias, servindo a níveis distintos e destinados ao transporte de pessoas e carga.

Além deste conceito geral sobre o equipamento, a norma também diferencia e denomina os elevadores de acordo com as suas características e fins de utilidade. A terminologia os separa em:

- **Elevadores de Carga**, destinado ao transporte de carga;
- **Elevadores de Maca**, que possui dimensões para o transporte da maca;
- **Elevadores de Passageiros**, destinado ao transporte de pessoas;
- **Elevadores Panorâmicos**, com características próprias para a visualização externa;
- **Elevadores Residenciais**; destinada para o transporte de pessoas em um ambiente habitacional;

### 2.1 Histórico de Normas

**NBR 5666**: definidora dos termos envolventes em um sistema de elevadores. Atribui conceitos sobre as partes e procedimentos.

**NBR NM-207**: normatização atual que orienta sobre o dimensionamento e instalação dos elevadores de passageiros.

**NBR 14712**: diz respeito aos dimensionamentos, construções e instalações dos elevadores de carga, monta-carga e de maca.

**NBR 5665**: responsável por parametrizar o cálculo de tráfego – define as dimensões do sistema de elevadores de acordo com a construção a ser instaladas e seus potenciais passageiros.

**NBR 10982**: sobre os dispositivos de sinalização e comandos empregados nos elevadores; simbologia.

No que dizia respeito ao dimensionamento, construção, assim como a instalação dos elevadores de carga, monta-cargas e de maca, tratava-se da **NBR 7192/1988** a desempenhar as orientações e condições para tais fins. No entanto, com o advento da norma **NBR NM – 207**, que trata sobre os elevadores de passageiros, a **NBR 7192/88** foi cancelada pela **Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)** e passou-se a vigência para a **NBR 14712**, no qual houve uma série

de atualizações e reformulações que acompanhavam também as renovações ocorridas nas áreas de construções de edifícios e instalações elétricas.

É cabível ressaltar ainda a atuação de outras normas que caminham em consonância com a **NM – 207**, como: **NBR 10982**, a respeito dos dispositivos de sinalização e outros comandos, bem como a simbologia adotada nos elevadores de passageiros; **NBR 5665**, responsável por parametrizar o cálculo de tráfego; e a **NBR NM – 196**, que dimensiona as guias de passagem, o que diz respeito também sobre aspectos como: trilhos da cabina, vigas metálicas e o contra peso do elevador.

Não menos importantes e indispensavelmente complementares às já apresentadas acima, se destacam as normas: **ABNT NBR 16042**, sobre os requisitos de segurança para construção e instalação de elevadores sem casa de máquinas; **NBR 13994**, sobre o transporte de pessoas com deficiência; e a **ABNT NBR NM – 313**, o qual contém requisitos particulares sobre a acessibilidade das pessoas, incluindo deficientes.

## **2.2 Componentes de um elevador**

Os elevadores são constituídos por diversas partes que o formam como um todo. Baseando-se nas definições da **NBR 5666/77**, **NBR NM-207** dentre outras, serão apresentados os seus elementos, suas respectivas funcionalidades e determinações a fim de elucidar a respeito da sua operação que servirá para o entendimento de assuntos e de estudos posteriores a serem mostrados neste trabalho.

### **2.2.1 Cabina**

Recinto formado por paredes, teto e piso montados sobre a plataforma, destinado ao transporte de pessoas ou de carga. Suas dimensões e características, tanto internas quanto externas, podem ser das mais variadas formas, dependendo também de aspectos de sua ambientação, número de passageiros ou natureza de carga. Basicamente, consiste na montagem de duas longarinas fixadas em cabeçotes (superior e inferior) em uma armação feita de aço e sobre uma plataforma; à essa formação conjunta, denomina-se carro (SCHINDLER).

As cabinas devem obedecer a certos preceitos antes de serem colocadas à função, como:



- Devem ser totalmente fechadas por paredes, pisos e tetos não perfurados, sendo preservadas apenas as aberturas: de entradas de acesso; alçapões ou portas de emergência; aberturas para ventilação (NM 207:99);
- Sua altura interna livre mínima deve ser de 2,10m, sendo a altura livre mínima de entrada 2,00m (NM 207:99);
- Para evitar sobrecarga da cabina por pessoas, deve-se obedecer as regras da “tabela 1” apresentada pela NBR – NM 207;
- Agora, no que diz respeito ao número de passageiros, a obtenção do convencionado deve ser tida através: da formulação do valor de carga nominal sobre o numeral  $75 - \text{carga nominal} / 75$  – (arredondando, em caso de número quebrado, para o valor menor mais próximo) e de acordo com a tabela 2 da mesma norma acima citada.

Cabe ressaltar ainda que existem outras pontos de regra a serem considerados nos elevadores, também de acordo com suas diferenciações previstas. É necessário se atentar sobre as especificidades das portas, paredes, tetos e de outros componentes; seus materiais, iluminações e medidas protetivas visando a integridade da máquina e das pessoas, etc.



Figura 1: Cabina (M&M Elevadores)

Tabela 1: sobre o cálculo de limitação da área disponível para uso na cabina (NM 207:99)

Tabla 1 / Tabela 1

<b>Carga nominal, (masa)/</b> <b>Carga nominal, (massa)</b>	<b>Superficie útil máx. de cabina/ Área máxima da cabina</b>	<b>Carga nominal, (masa)/</b> <b>Carga nominal, (massa)</b>	<b>Superficie útil máx. de cabina/ Área máxima da cabina</b>
kg	m <sup>2</sup>	kg	m <sup>2</sup>
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 <sup>a)</sup>	5,00
975	2,35		
a) Por encima de 2 500 kg, añadir 0,16 m <sup>2</sup> por cada 100 kg más./ Acima de 2500 kg acrescenta 0,16 m <sup>2</sup> 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.			

Tabela 2: cálculo do número de passageiros de acordo com área útil (NM 207:99)

Tabla 2 / Tabela 2

<b>Número de pasajeros/ Número de passageiros</b>	<b>Superficie útil mín. de cabina/ Área útil mínima</b>	<b>Número de pasajeros/ Número de passageiros</b>	<b>Superficie útil mín. de cabina/ Área útil mínima</b>
-	m <sup>2</sup>	-	m <sup>2</sup>
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 m <sup>2</sup> por cada pasajero más./ Acima de 20 passageiros acrescenta 0,115 m <sup>2</sup> para cada passageiro adicional.			

### 2.2.2 Contrapeso

Segundo a **NBR 5666/77**, o contrapeso é um conjunto de partes: armação, pesos e acessórios destinados a contrabalançar o peso do carro e parte da carga nominal. Em resumo, quando o elevador sobe, o contrapeso se move para baixo e vice-versa.

A armação consiste em um componente destinado ao abrigo dos pesos. Nesta parte ainda podem ser encontrados freios de segurança, responsáveis pela parada do contrapeso, que geralmente podem vir a atuar de maneira instantânea ou progressiva.

Outro elemento a ser encontrado entre as partes constituintes do contrapeso seria o para-choque, o qual seu serviço é justamente proteger esse conteúdo, amortecendo o impacto na ocasião de um eventual choque. São estabelecidas distâncias específicas para garantir o seu correto funcionamento, bem como a integridade de todo maquinário.

Os pesos que compõem o contrapeso são do valor do elevador, acrescidos de 40 a 50% a sua capacidade de carga (Schindler). Isso define um bom equilíbrio do sistema, até mesmo uma economia por parte do motor, pois caso o elevador esteja com uma capacidade de carga de valor zero ou inferior a metade, não haverá maiores exigências para tracioná-lo para cima.



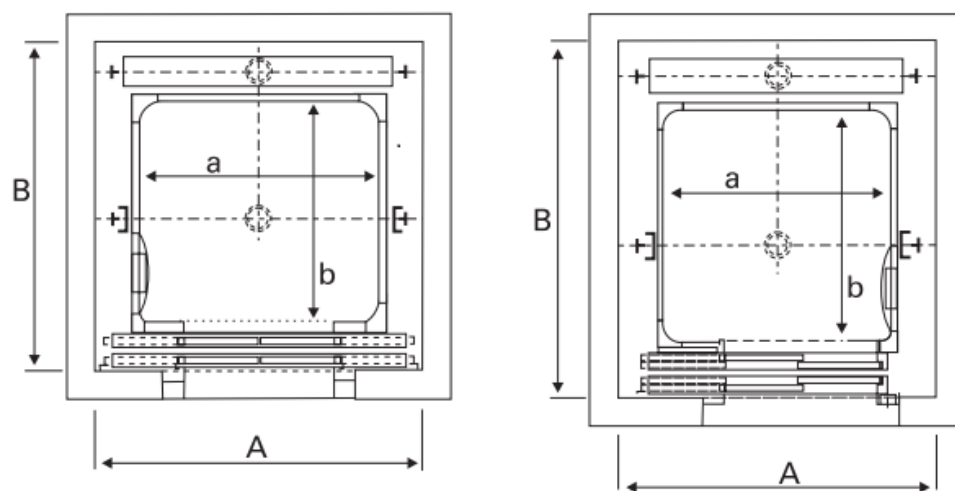
Figura 2: Contrapeso (Litoral Elevadores)

### 2.2.3 Caixa

A caixa é o que compreende toda a área onde se locomovem o carro e o contrapeso. De acordo com a **NBR – 5666**, trata-se de um “recinto formado por paredes verticais, fundo do poço e teto, onde se movimentam o carro e o contrapeso, se houver”.

Este espaço, por abranger quase todos os elementos do elevador, exige uma regulamentação exigente, elucidada pela **NBR NM-207**, que dimensiona: seu fechamento; portas - que abrangem desde as de emergência às portinholas de inspeção; suas paredes, pisos e tetos, bem como suas resistências mecânicas; alarmes e iluminações; ventilação; suas devidas proteções e proibições, etc.

O dimensionamento das Caixas dos elevadores é em função da capacidade, da velocidade, do tipo de portas e da localização do contrapeso (Schindler).



Figuras 3 e 4 (respectivamente): sobre o dimensionamento das paredes da caixa, de acordo com a cabina (Schindler).

## 2.2.4 Cabos

Todo o sistema elevatório funciona a partir da tensão de cabos. Estes podem ser divididos em: cabos de tração, responsáveis pelo deslocamento da caixa; cabos de compensação, que contrabalanceiam o exercício dos cabos de tração; e o cabo limitador de velocidade, responsável por movimentar o limitador de velocidade e acionar o freio de segurança (NBR – 5666).

A NM – 207 estabelece que os cabos e contrapesos do sistema devem ser suspensos por cabos de aço, correspondendo ainda aos seguintes parâmetros:

- diâmetro nominal de, pelo menos, 8mm.
- tensão de ruptura: de 1570 N/mm<sup>2</sup> ou 1770 N/mm<sup>2</sup> para cabos de tensão única; de 1370 N/mm<sup>2</sup> para os arames externos e 1770 N/mm<sup>2</sup> para os arames internos, para cabos de tensão dupla.
- Obediência às demais normatizações internacionais (que tratam sobre construção, alongamento, ovalização, flexibilidade, ensaios etc.) como: ISO 3018:2017; ISO 7500-1; ISO 17558; ISO 17893 e as ASME A.17 - 1,2 e 3.

## 2.2.5 Polias

As polias, responsáveis pela manobra do sistema elevatório através dos cabos, são divididas de acordo com a sua função (NBR 5666):

**Polia de compensação:** polia geralmente colocada no poço, destinada a manter tensos os cabos de compensação.

**Polia de desvio:** Polia destinada a mudar a direção dos cabos de tração.

**Polia secundária:** Polia localizada junto a máquina com a finalidade de permitir a dupla passagem de cabo pela polia de tração.

**Polia de suspensão:** Polia colocada nas armações do carro e do contrapeso para vinculá-las aos cabos de tração.

**Polia de tração:** Polia, parte da máquina, dotada de ranhuras próprias para os cabos de tração por meio dos quais é feito o movimento do carro e do contrapeso.

Prevê-se ainda um recinto destinado para o abrigo das polias (de uma parcela das citadas), ambiente que podem ser instalados os limitadores de velocidade e o equipamento elétrico. A casa de polias ainda deverá ser construída sobre a caixa - quando a casa de máquinas estiver

localizada em outro recinto que o teto da caixa, mesmo assim, de maneira obrigatória, a casa de polias deve ser instalada acima do carro e contrapeso.

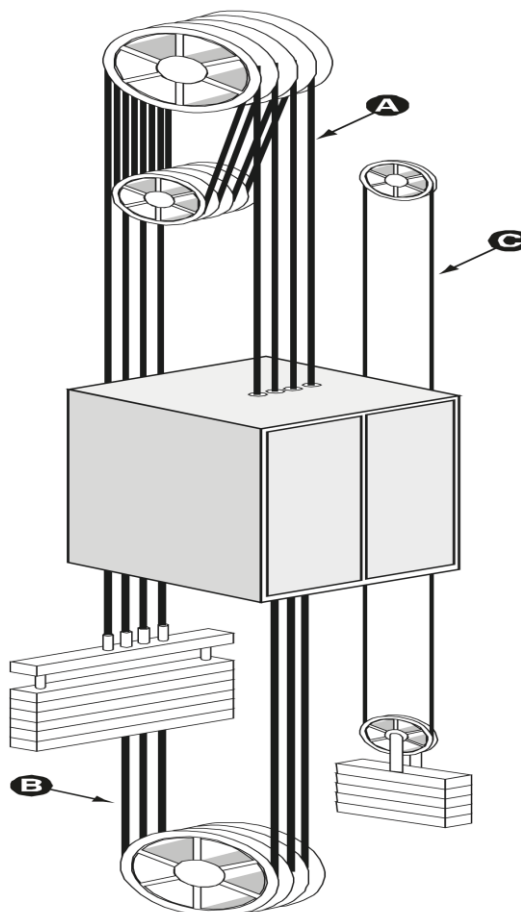


Figura 5: Disposição dos cabos de tração (A); compensação (B); limitador de velocidade (C) no sistema, assim como de suas respectivas polias (Ari Cabos)

### 2.2.6 Casa de Máquinas

Compreende-se como o recinto onde estão instalados as máquinas e os equipamentos relacionados com elas (NM – 207). Dentre as partes que estão nessa área: máquina de tração (polias, cabos e motores); painel de controle; e o limitador de velocidade.



Figura 6: Retrato de uma Casa de Máquinas (Atualize Elevadores)

Apesar de este local variar em dimensão de acordo com o tamanho do prédio e sua aplicabilidade, a área da casa de máquinas deve ser sempre o dobro da área da caixa.

### 2.2.7 Limitador de Velocidade

O limitador de velocidade é um dispositivo de segurança responsável por acionar a parada do elevador no caso deste atingir um valor de velocidade pré-determinado, ou até mesmo para a mobilização dos freios de segurança, caso necessário. Para descrever o cenário, se houver falha ou ruptura dos cabos de suspensão do elevador, os freios deverão ser acionados pelo limitador de velocidade sendo que, para freios de segurança destinados unicamente à caixa ou contrapeso, cada um deverá obedecer a um limitador de velocidade diferente do outro.

O seu funcionamento se dá de maneira mecânica, onde o cabo de aço do limitador fica ligado diretamente à cabina e, ao detectar uma alteração significativa de sua velocidade de operação, o movimento desta que é transferido para a polia limitadora, ocasiona na atuação.



Figura 7: Limitador de Velocidade (Meu Elevador)

O desarme do limitador de velocidade para acionamento o freio de segurança do carro deve ocorrer a uma velocidade pelo menos igual a 115% da velocidade nominal (NM – 207). Vale ressaltar que o tempo de resposta do limitador deve ser suficientemente curto para que não se atinja uma velocidade da cabina alta e potencialmente danosa aos passageiros em caso de parada brusca.

### 2.2.8 Máquinas de Tração

As máquinas de tração são um conjunto de componentes responsáveis pela movimentação e sustentação do sistema de elevadores e são compostas, geralmente, pelo motor, freio, polias, cabos de aço e engrenagens. A partir da variação do desempenho do motor com o controle da corrente elétrica que o alimenta, é definida a velocidade em que a cabina, ou o contrapeso, desce ou sobe na caixa. Para a parada completa é feito o acionamento do freio.



Figura 8: Maquinário de Tração (Ari Cabos)



### 2.2.9 Quadros de Comando



Figura 9: Quadro de Comando de um Elevador (EFALIFT).

O quadro de comando do elevador é o componente responsável tanto pela parte lógica (controle de chamadas dos pavimentos, por exemplo) quanto da parte relacionada à potência do sistema. Este último setor seria o determinante dos níveis de tensão e corrente apropriados para uma boa operação da máquina de tração.

### 3 Motor

Este é o elemento principal para os sistemas de elevadores funcionarem de fato, pois é a partir dele que é fornecida a energia mecânica necessária para a tração sobre a cabina e o contrapeso.

Os motores das máquinas de tração dos elevadores podem ser acionados através de corrente alternada (CA) ou de corrente contínua (CC - fornecida por conversores estáticos que substituem os motores geradores), sendo a energia elétrica fornecida pela rede do edifício (Schindler).



Figura 9: Motores CC x Motores CA (Citi Systems)

Existe uma variada gama de motores elétricos e de valores nominais de potência distintos, mas que influirão no desempenho da movimentação do sistema bem como em sua velocidade. A escolha do motor mais apropriado estaria inerentemente relacionada às dimensões da cabina e do tipo de carga (passageiros ou outros pesos) que este seria destinado a transportar.

Segundo as definições da NBR-5666, existem diversas maneiras de se acionar o funcionamento do sistema:

**Acionamento Duplo:** O acionamento do sistema pode ocorrer tanto através de motores C.C quanto de motores C.A. Sendo assim, a alimentação pode ser a tensão constante ou variável.

**Acionamento Simples:** O acionamento do sistema acontece ou através de motores C.C ou por meio de motores C.A. Neste caso, exclui-se uma das possibilidades de alimentação e consequentemente o tipo de motor.

As formas de acionamento dependem da tecnologia do motor a ser empregado e podem ser listadas da seguinte forma (de acordo com o Manual do Transporte Vertical – Schindler):

### 3.1.1 Corrente Alternada – uma velocidade

O motor situado inicialmente a uma velocidade de valor “0” acaba saltando a uma velocidade nominal pré-estabelecida. Por esta alteração de estado brusca, sua aplicação para o transporte de passageiros hoje se tornou obsoleta, sendo aplicada mais regularmente para o transporte de cargas. Além disso, existe o problema da incompatibilidade com sistemas eletrônicos modernos, como os microprocessadores.

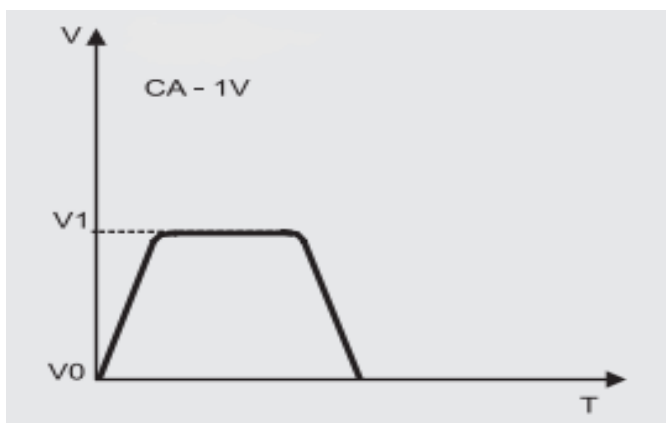


Figura 10: Representação Gráfica “corrente alternada – uma velocidade” (Schindler)

### 3.1.2 Corrente Alternada – duas velocidades

O processo de partida é o mesmo do método anterior, porém, em sua parada, a velocidade do motor é reduzida  $\frac{1}{4}$  do valor da velocidade nominal.

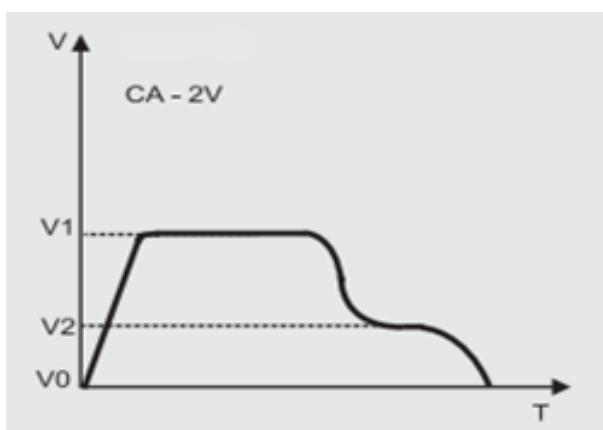


Figura 11: Representação Gráfica “corrente alternada – duas velocidades” (Schindler)

### 3.1.3 Por Moto geradores

Nesta forma de acionamento a aceleração e a desaceleração são controladas através de moto geradores, que propiciam uma variação de tensão ao motor.

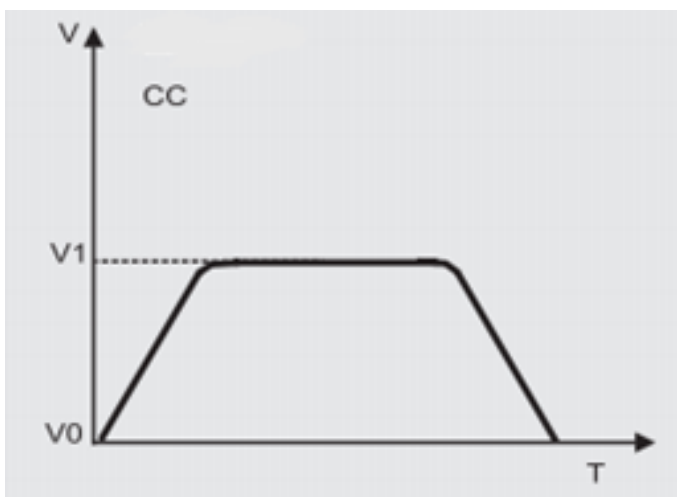


Figura 12: Representação Gráfica “por moto geradores” (Schindler)

### 3.1.4 Soft Starter e Inversor de Frequência

A partir destes equipamentos, é possível propiciar uma partida e parada ainda mais suave em relação à “partida alternada – uma e duas velocidades”. Há ainda a possibilidade de se integrar modernos softwares e hardwares de comando, controle de velocidade e despacho, possibilitando uma precisão de regulação maior. Esta é a tecnologia mais utilizada em edifícios de pequeno, médio e grande porte, mais se ajustam bem às demandas de qualquer intensidade de tráfego.

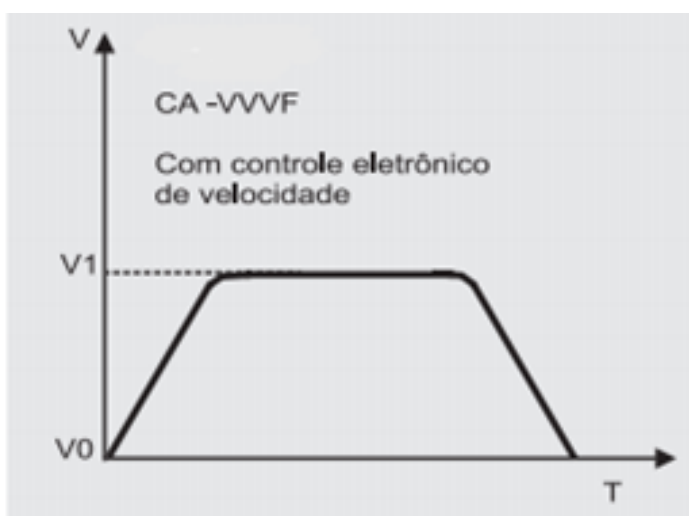


Figura 13: Representação Gráfica “Soft Starter e Inversor de Frequência” (Schindler)



### 3.3 Cálculo de Tráfego

A determinação da velocidade, bem como da capacidade de passageiros em um determinado edifício dependerá do Cálculo de Tráfego - a **NBR-5665** é aquela que fixa as condições para sua realização.

Trata-se de uma exigência em diversos lugares a sua apresentação como atestado de que os elevadores estão de acordo com as normas técnicas vigentes. O mesmo vale para os edifícios que apenas posteriormente decidirem a instalação de elevadores.

Além de um simples requerimento normativo, o cálculo de tráfego ajuda a proporcionar, de acordo com cada edifício, o tipo mais adequado de elevador para ser instalado da maneira mais econômica e segura possível.

Para a realização do cálculo, deverão ser obtidas as seguintes informações (Schindler):

- População do prédio
- Número de paradas dos elevadores
- Percurso dos elevadores
- Tipos de portas dos elevadores
- Capacidade das cabinas
- Velocidade dos elevadores
- Quantidade de elevadores

#### 3.3.1 Roteiro: cálculo de tráfego

Para elucidar o processo, adotam-se os seguintes passos:

#### 3.3.2 Determinação populacional

A população de um edifício é determinada de acordo com o ambiente e as seguintes relações proporcionadas pela NBR – 5665:

Tabela 4: Determinação populacional de acordo com ambiente (NBR- 5665).

<b>Ambiente</b>	<b>Nº de pessoas</b>
escritórios de uma única entidade	1 pessoa por 7,00m <sup>2</sup> de sala
escritórios em geral e consultórios	1 pessoa por 7,00m <sup>2</sup> de sala
apartamentos	2 pessoas por 1 dormitório; 4 pessoas por 2 dormitórios; 5 pessoas por 3 dormitórios; 6 pessoas por 4 dormitórios ou mais; e 1 pessoa por dormitório de serviçal
hotéis	2 pessoas por dormitório
hospitais	2,5 pessoas por leito
restaurantes	1 pessoa p/1,50m <sup>2</sup> de salão de refeições
escolas	1 pessoa por 2,00m <sup>2</sup>
salas de aula	1 pessoa por 2,00m <sup>2</sup>
salas de administração	1 pessoa por 7,00m <sup>2</sup> .
edifícios-garagem com rampas sem manobristas	edifícios-garagem com rampas sem manobristas
lojas e centros comerciais	1 pessoa por 4,00m <sup>2</sup> de loja

Ainda é possível computar metade da população de um pavimento imediatamente acima/ou abaixo em relação ao pavimento de acesso, desde que estejam a uma distância máxima de 5m deste.

Não são consideradas as áreas destinadas à circulação, halls, sanitários, elevadores, etc. Sendo a população já considerada nas áreas da tabela acima.

### 3.3.3 Relação e população total

Analisando o prédio por inteiro, faz-se a relação utilizando a tabela acima e adquire-se o valor da população total.

### 3.3.4 Capacidade mínima a ser transportada em 5 minutos

A NBR – 5665 estabelece uma capacidade mínima de pessoas (em porcentagem) a serem transportados em um período mínimo de 5 minutos:

Tabela 5: Mínimo populacional (%) a ser transportado em 5 minutos (NBR – 5665).

<b>Ambiente</b>	<b>Capacidade Mínima populacional (%)</b>
escritórios de uma única entidade	15
escritórios em geral e consultórios	12
apartamentos	10
hotéis	10
hospitais: quando houver tubos de queda para roupa e lixo e monta-carga para o serviço de nutrição	8
hospitais: quando não houver essas condições	12
restaurantes	6
escolas	20
edifícios-garagem com rampas sem manobristas	10
lojas e centros comerciais	10

Em um edifício que abrange diversas áreas diferentes, devem-se considerar as porcentagens conforme cada parte.

Esta forma de determinação foi baseada em cálculos experimentais. Sabe-se que, dependendo do horário, apresenta-se maior demanda dos serviços do elevador (horário de pico – ou hora do rush). Esta relação considera, justamente, este período tido como crítico.

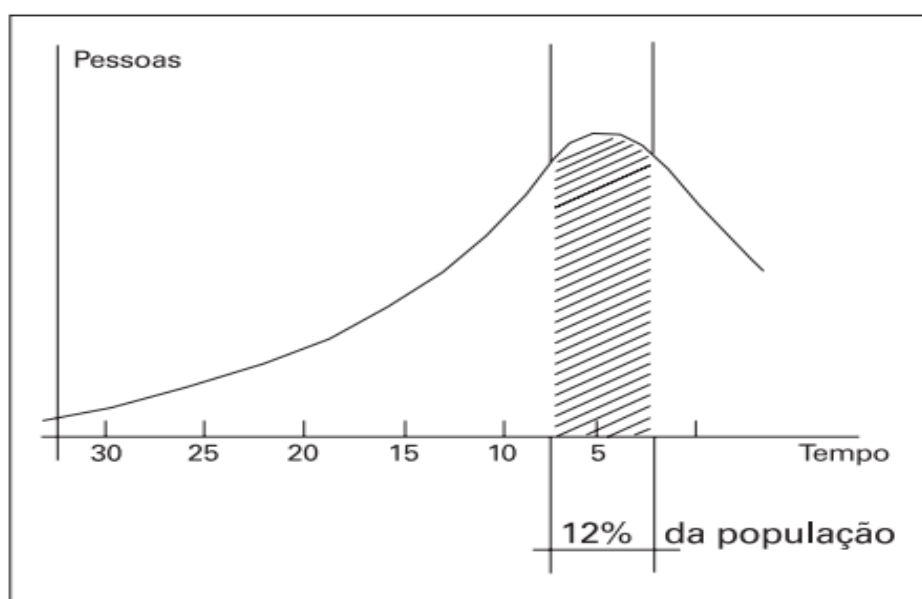


Figura 14: Representação gráfica do tráfego de pessoas x tempo e seu período crítico (Schindler).



### 3.3.5 Intervalo de tráfego

A norma estabelece ainda uma faixa de tempo o qual o passageiro deveria aguardar pela chegada do elevador. Este intervalo de espera varia de acordo com a finalidade do prédio e o número de elevadores instalados.

Tabela 6: Intervalo de tráfego (Schindler).

Intervalo de Tráfego		
Número de elevadores	Finalidade do prédio	Intervalo de tráfego máximo (s)
1	Geral (exceto apartamentos)	80
2	Geral (exceto apartamentos)	60
3	Geral (exceto apartamentos)	50
4 ou mais	Escritórios de uma única entidade	40
	Escritórios em geral e consultórios	40
	Hospitais	45
	Hotéis	45
	Escolas	45
	Lojas	45
	Garagens	45
	Restaurantes	45

### 3.4 Capacidade de passageiros

É tida como o valor da lotação da cabina em função da sua área útil. Para fins de determinação, assume-se que a razão de peso de um passageiro seria de 75 kg.

Tabela 7: Lotação de pessoas – carga (kg) x Área útil ( $m^2$ )

Lotação (A) Pessoas	Carga (B) kg	Área útil em $m^2$		
		Mínimo	Médio	Máximo
6	450	1,170	1,235	1,300
7	525	1,310	1,380	1,450
8	600	1,450	1,525	1,600
9	675	1,590	1,670	1,750
10	750	1,730	1,815	1,900
11	825	1,870	1,960	2,050
12	900	2,010	2,105	2,200
13	975	2,150	2,250	2,350
14	1050	2,290	2,395	2,500
15	1125	2,430	2,540	2,650
16	1200	2,570	2,685	2,800
17	1275	2,710	2,830	2,950
18	1350	2,850	2,975	3,100
19	1425	2,990	3,120	3,250
20	1500	3,130	3,265	3,400
21	1575	3,245	3,382	3,520
22	1650	3,360	3,500	3,640
23	1725	3,475	3,618	3,760
24	1800	3,590	3,735	3,880
25	1875	3,705	3,852	4,000
26	1950	3,820	3,970	4,120

(A) = Inclusive ascensorista  
(B) = Para outras cargas a área útil da cabina é determinada por extrapolação linear

Nota de relevância é que este cálculo presume que o valor da carga (passageiros) aumente de forma gradual e que este seja distribuído uniformemente. Para os demais valores de carga – que excederem os padrões previstos na tabela, estes estimados levarão em consideração um aumento linear da área a ser dimensionada. A lotação de pessoas também prevê o ascensorista dentre estas, caso haja algum para o controle do transporte.

### 3.5 Paradas do elevador

As paradas compreendem os setores de uma edificação em que será prevista o serviço de transporte do elevador (térreo, andares de um prédio, estacionamento-subsolo, mezanino etc.)

Existe o cálculo de paradas possíveis em que um elevador poderá fazer de acordo com a capacidade estipulada de pessoas da cabina e o número de pavimentos a serem atendidos:

$$N = P - (P - 1) \cdot \frac{(P - 2)^c}{P - 1}$$

Equação 1: Cálculo de paradas possíveis

Onde:

N: número de paradas possíveis;

P: número de paradas do elevador;

c: lotação da cabina (exclui-se o ascensorista);

### 3.6 Percurso do elevador

O percurso de um elevador é dado em metros (m) e é definido como a distância entre o primeiro até o último piso acabado que o elevador atende. Desta forma, não está incluso o poço nem o espaço além do último chão de parada.

Pode-se definir o percurso total do elevador aquele que se desloca do primeiro ao último piso de atendimento sem nenhuma parada nos pavimentos intermediários. É representado pela seguinte formulação:

$$T1 = \frac{2S}{v}$$

Equação 2: percurso total do elevador (Schindler).

Onde:

T1: percurso total (s);

S: percurso em metros (primeiro ao último piso de atendimento);

v: velocidade do elevador (m/s);

### 3.7 Velocidade do elevador (m/s)

Precisando ainda mais a relação já expressa na tabela 3 (relação: velocidade x capacidade de pessoas na cabina), a velocidade do elevador é estabelecida pela altura do prédio de forma convencional pelas tabelas a seguir:

Tabela 8: percurso (m) x velocidade (m/s) – edifícios residenciais (Schindler).

Percurso (m)	Velocidade (m/s)
até 29	de 0,75 a 1,00
de 30 a 44	de 1,00 a 1,50
de 45 a 59	de 1,25 a 2,00
de 60 a 74	de 1,75 a 2,50
de 75 a 90	de 2,50 a 3,50

Tabela 9: percurso (m) x velocidade (m/s) – edifícios não residenciais (recomendação) (Schindler).

Percurso (m)	Velocidade (m/s)
até 17	de 0,50 a 1,00
de 18 a 29	de 1,00 a 1,75
de 30 a 44	de 1,75 a 2,50
de 45 a 59	de 2,50 a 3,50
de 60 a 74	de 3,50 a 4,00
de 75 a 89	de 4,00 a 5,00
de 90 a 150	de 5,00 a 6,00
acima de 150	de 6,00 a 8,00

### 3.8 Demais tempos a serem considerados

#### 3.8.1 Aceleração e retardamento do elevador

A aceleração e desaceleração dos elevadores requerem um valor de tempo a ser gasto entre suas viagens. Estes valores de tempo, tidos em segundos, podem ser definidos de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 10: velocidade (m/s) x tempo de parada (s) (Schindler).

Velocidade (m/s)	Tempo por parada
0,75	2,5
1,00	3,0
1,25	3,0
1,50	3,5
1,75	4,0
2,00	4,5
2,50	5,5
acima de 2,50	6,0

### 3.8.2 Abertura e fechamento das portas

Deve-se considerar também o período de abertura e fechamento das portas para a entrada e saída dos usuários do elevador. Este tempo é parametrizado de acordo com o tipo de aberturas das portas, tidos como:

- **Abertura Central (AC):** abertura das portas despona e termina (no fechamento) no meio da entrada.
- **Abertura Lateral (AL):** abertura e fechamento acontecem do movimento de uma lateral à outra do espaço da entrada.
- **Eixo vertical (EV):** menos empregadas atualmente, são aberturas realizadas de forma manual, semelhante a portas comuns. Estas intermediam o passageiro da entrada do elevador e a abertura da cabina.

Para cada tipo é determinado um valor de tempo:

Tabela 11: Tempo de parada de acordo com o tipo de abertura (Schindler).

Tipo de Porta	Tempo por parada
Abertura Central (AC)	3,9
Abertura Lateral (AL)	5,5
Eixo Vertical (EV)*	6,0

As aberturas lateral e central acontecem de forma automática, em conjunção com a porta da própria cabina. Já as aberturas das portas de eixo vertical são feitas pelo próprio usuário após a abertura da entrada da cabina.

### 3.8.3 Entrada e saída dos passageiros

Tempo médio estipulado para definir a entrada e saída de um passageiro de acordo com o tamanho da abertura das portas:

Tabela 12: tamanho da abertura das portas x entrada e saída de um passageiro (s)(Schindler).

Abertura da Porta	Tempo por passageiro
menor que 1,10m	2,4
maior ou igual a 1,10m	2,0

#### 3.8.4 Soma parcial

É feito o somatório dos seguintes itens (Schindler):

- Percurso total;
- Aceleração e retardamento;
- Abertura e fechamento das portas;
- Entrada e saída dos passageiros.

#### 3.8.5 Adicional de tempo

Para fins do cálculo de tráfego, adiciona-se ainda 10% do valor de soma do tempo de abertura e fechamento das portas e da entrada e saída dos passageiros.

Este incremento de tempo tem por consideração os diversos motivos que pode fazer o tempo estimado pelas definições anteriores prolongar ainda mais devido a passageiros desatentos, desorientados, com dificuldades de mobilidade, etc.

$$0,1 \cdot (T3 + T4) = \text{Adicional de tempo.}$$

Equação 3: adicional de tempo (Schindler).

#### 3.8.6 Soma total

É o tempo total da viagem; somatório da soma parcial e do adicional de tempo:

$$\text{Soma parcial} + \text{Adicional de tempo} = \text{Tempo total da viagem}$$

Equação 4: Tempo total da viagem (Schindler).

#### 3.8.7 Capacidade de transporte

É o número de pessoas que podem ser transportadas por um elevador no tempo de 300 segundos (5 minutos):

$$X = \frac{300 \cdot C}{T}$$

Equação 5: capacidade de transporte (Schindler).

Onde:

X: Capacidade de transporte;

C: Capacidade da cabina (sem o ascensorista);

T: Tempo total da viagem.

### 3.8.8 Capacidade de tráfego

Caso o sistema seja composto por mais de um elevador, faz-se o somatório da capacidade de transporte de cada um, em que se define a capacidade de tráfego:

$$\text{Capacidade de Tráfego} = \sum \text{Capacidades de transporte}$$

Equação 6: capacidade de tráfego (Schindler).

O valor encontrado deve ser maior do que a capacidade mínima de transporte em 5 minutos – de acordo com o ambiente – expresso anteriormente. O cálculo precisará ser feito caso o valor seja inferior a este requisito mínimo.

### 3.8.9 Intervalo de tráfego

Intervalo de tempo em que um usuário deveria aguardar entre a partida e chegada de um elevador, levando em consideração o número de elevadores a disposição:

$$I = \frac{T}{n}$$

Equação 7: intervalo de tráfego (Schindler).

Onde:

I: intervalo de tráfego;

T: Tempo total de viagem;

n: número total de elevadores a disposição

### 3.8.10 Grau de serviço

Determinante do intervalo de tempo máximo em que o usuário deveria aguardar o elevador, levando em consideração sua satisfação com o atendimento. O grau de serviço é dado pela seguinte forma:

$$K = \frac{T}{4} + \frac{I}{2}$$

Equação 8: grau de serviço (Schindler).

Onde:

K: Grau de serviço;

T: Tempo total da viagem (s);

I: Intervalo de tráfego (s).

Os níveis de contentamento para com o serviço são orientados pela norma de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 13: níveis do grau de serviço (Schindler).

GRAU DE SERVIÇO = K =	Excelente	Bom	Regular	Inexistente
	45	55	65	

#### 4. O processo de regeneração

Como visto de maneira exemplificada, a regeneração de energia é uma prática já encontrada em maquinários distintos no âmbito tecnológico. Mostrando mais uma aplicação dos seus efeitos, em um sistema de transporte, temos a regeneração de energia por inversão no sistema metroviário de São Paulo – elucidado principalmente na obra de Peter Ludwig Arouche.

No caso da frenagem regenerativa: acontece a dissipação da energia cinética do carro (excluindo as perdas) de modo que esta é transformada eletricamente, sendo devolvida à fonte de alimentação (3º trilho).

O princípio regenerativo desta forma consiste também basicamente aproveitando o conjugado frenante do motor, transformando-os em gerador através dos seguintes tipos (Arouche):

**Tipo 1:** Reversão ou alteração do tipo de excitação frenagem do motor, por chaveamento;

**Tipo 2:** Utilização de técnica por controle a tiristores (chopper).

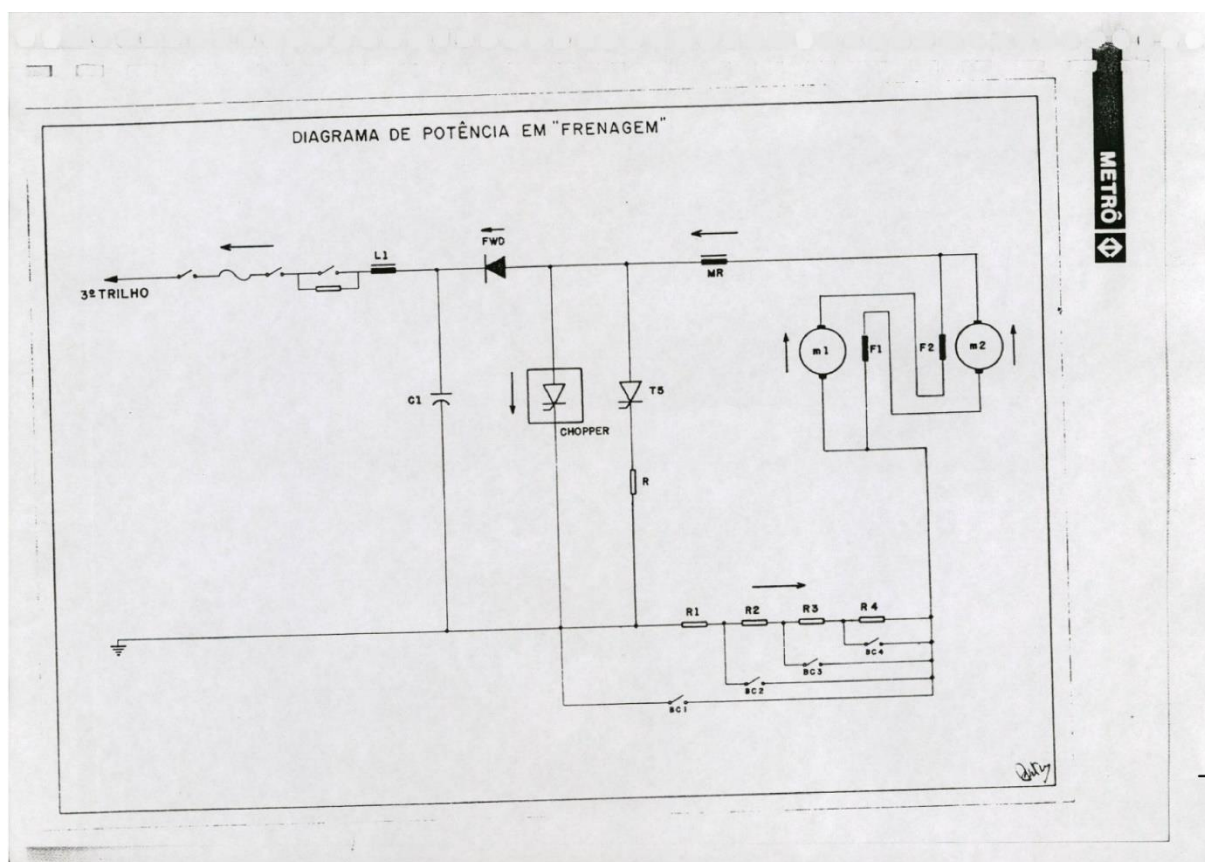


Figura 15: Diagrama de potência em frenagem



Segundo Arouche, ainda para o sistema metroviário, para que a frenagem elétrica possa ser fisicamente possível, seria necessário que a energia gerada no processo regenerativo seja consumida (armazenada):

Por dissipação interna: a possibilidade de armazenamento interno da energia possui aplicações limitadas em tração interna. Há a conversão da energia elétrica em cinética, armazenada por meio dos volantes de inércia e utilizada na partida do trem seguinte;

Por devolução à rede: onde a energia conseguida à custa da frenagem é devolvida ao terceiro trilho, comportando-se o trem como uma espécie de subestação móvel. Este processo pode acontecer se:

- Houver consumidor que absorva a energia fornecida;
- Haver uma tensão elétrica suficiente para vencer a impedância do circuito e a tensão em vazio dos grupos retificadores.

Estes conceitos não fogem do que é proposto para a aplicação nos sistemas de elevadores.

#### **4.1 Regeneração em elevadores**

Boa parte da energia é perdida no processo de desaceleração e parada. Apesar das variáveis formas de recuperação desta, em termos de custo e eficiência, a forma mais conveniente seria através do armazenamento e regeneração de energia.

O armazenamento de energia necessita de um equipamento que desempenhe tais funções de acordo com certos requisitos (Sebastiano Acquaviva):

- Alta eficiência;
- Bidirecionalismo;
- Vida longa;
- Tempo rápido de resposta.

(A partir do armazenamento de energia, adquire-se: alta eficiência; menor esforço; continuidade de energia - em ocasiões de apagões, por exemplo; etc.)

O processo de erguimento acontece com a conversão da energia elétrica em mecânica. Tal transformação ocorre entre uma série de etapas: aceleração, viagem, desaceleração e parada. Durante o processo, ocorrem os seguintes eventos gerais:

- Parte da energia requisitada é perdida na forma de calor. Por ser dissipada, não é possível recuperá-la posteriormente;
- Outra parte é transformada em energia cinética, sendo esta armazenável. Seu comportamento (energia cinética) se dá com o aumento de valor durante a aceleração, é constante durante a viagem e se reduz quando desacelera;
- Durante a subida, o elevador adquire certa energia potencial que atinge seu valor máximo no mais alto patamar; esta energia se reduz à medida que o elevador desce, atingindo o valor no patamar mais baixo.

A influência das energias potencial e cinética no sistema de regeneração culmina na seguinte divisão (Sebastiano Acquaviva):

- **Potência Estável:** surgida a partir da diferença da força - peso e contraposição entre a cabina e o contrapeso, além da velocidade; requerida para o surgimento da energia potencial – sem o contrapeso haveria maior requerimento de energia para subir a carga da cabina.

- **Potência Dinâmica:** necessário para o surgimento da energia cinética, dependente dos valores de massa do contrapeso e da cabina, além da velocidade – o sistema usual de elevadores (com contrapeso) requer maior energia para aceleração da cabina. A energia cinética atinge valores relevantes para regeneração em sistemas de longo percurso, alta velocidade e maiores pontos de parada.

Estas energias podem ser mostradas e equacionadas através do seguinte sistema (Sebastiano Acquaviva):

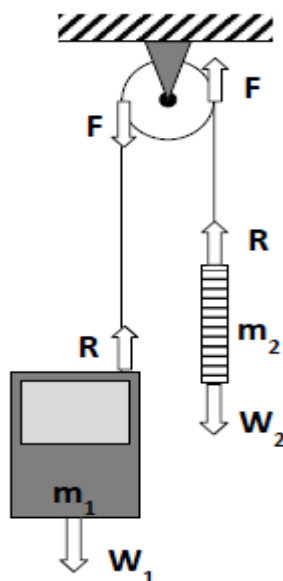


Figura 16: descrição das forças no sistema de elevadores (Sebastiano Acquaviva).

A partir da imagem, obtêm-se os seguintes dados:

**m1**: valor de massa da cabina;

**m2**: valor de massa do contrapeso;

**R**: representa a tração do cabo;

**W1**: força-peso da cabina;

**W2**: força-peso do contrapeso;

**F**: força aplicada para o movimento do sistema.

A leitura das forças no sistema acima indica as seguintes equações:

$$W1 - R + F = m1 \cdot a$$

Equação 9: relação de forças sobre a cabina (Sebastiano Acquaviva).

$$W2 - R + F = m2 \cdot a$$

Equação 10: relação de forças sobre a cabina (Sebastiano Acquaviva).

A aceleração do carro pode ser expressa pela equação abaixo:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{2F + W1 - W2}{m1 + m2}$$

Equação 11: aceleração no sistema de elevador (Sebastiano Acquaviva).

Onde:

**a**: aceleração no sistema;

**dv**: derivada da velocidade;

**dt**: derivada do tempo.

As potências apresentadas também são demonstradas por equação:

$$P = v \cdot (W1 - W2) + (m1 + m2) \cdot v \cdot \frac{dv}{dt}$$

Equação 12: relação das potências (estável e dinâmica) do sistema (Sebastiano Acquaviva).

Onde:

**v · (W1 – W2)**: potência estática;

**(m1 + m2) · v ·  $\frac{dv}{dt}$** : potência dinâmica.

Então, a partir desses conceitos, temos em geral o seguinte princípio regenerativo para os elevadores: comumente o contrapeso possui um valor de massa aproximadamente igual à metade do peso a mais em relação à cabina; quando esta sobe pela caixa com o seu peso mínimo (sem nenhum passageiro ou adicional de peso) a força-peso do contrapeso facilitaria o erguimento da cabina, exigindo menos esforço por parte do motor. No entanto, haveria uma maior utilização do freio para controle do contrapeso e é neste processo em que é possível regenerar energia e, posteriormente, regenerá-la.

O mesmo pode ser dito a respeito da cabina que se encontra no andar mais alto (a plena energia potencial) e com a sua capacidade máxima de peso prestes a descer. O peso do elevador seria maior do que de seu contrapeso, logo seu processo de descida seria feito sem grandes dificuldades por parte do motor, mas também haveria necessidade do controle de descida da cabina através da frenagem, assim, também a possibilidade de regeneração.

A explicação pode ser exemplificada por meio da imagem abaixo:

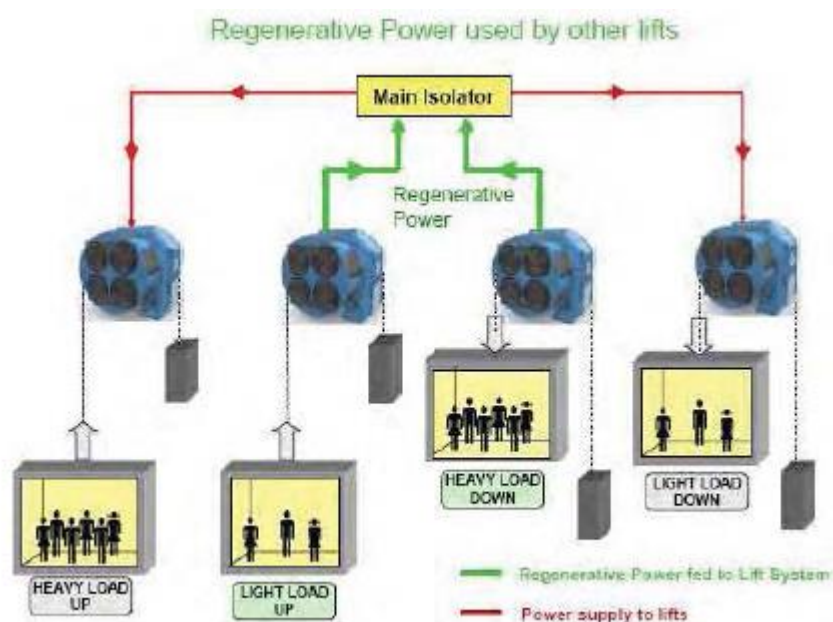


Figura 17: situações de favorecimento à regeneração em sistemas de elevadores – os fluxos esverdeados indicam as situações favoráveis à regeneração, enquanto os fluxos avermelhados mostram maior demanda de energia por parte do motor (EMSD).

A partir do processo de regeneração é possível tanto direcionar tal energia para a rede quanto armazená-la para uma posterior utilização.

#### 4.2.1 Direcionamento à rede

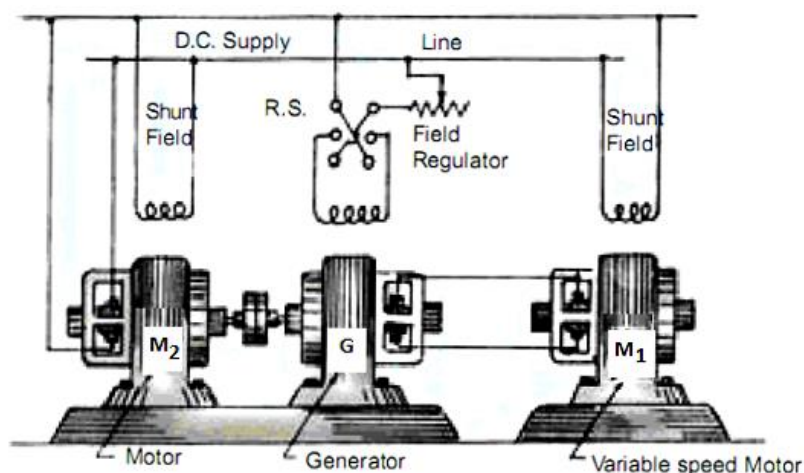
Com a consequente conversão de energia do motor elétrica/mecânica e tendo conhecimento de que os motores são plenamente capazes de funcionar como geradores, ocorre a possibilidade de a energia produzida fluir em sentidos contrários no mesmo circuito. Este fato pode ocorrer em motores C.A e C.C. A forma de se controlar o sistema de potência e lidar com tais efeitos foi e ainda é majoritariamente conduzida pelos dispositivos inversores de frequência.

Dentre estes equipamentos, estão as unidades de velocidade ajustável, também conhecidas como ASDs (Adjustable Speed Drives), que basicamente controlam a velocidade dos motores através da manipulação simultânea da tensão e frequência.



Figura 18: Unidade de velocidade ajustável – C.A (VSDRIVE).

Os motores C.C utilizados também podem controlar as velocidades dos elevadores através de sistemas como o Ward Leonard (MG set) ou por drives de controle que utilizam dispositivos SCR.



### WARD LEONARD SYSTEM OF SPEED CONTROL

Figura 19: Descrição do sistema Ward Leonard (Electrical4U)



Figura 20: SCR – DC Drive (IndiaMART).

Para todos os casos mostrados, há a presença de um mesmo princípio: quando é aplicada no motor uma tensão excedente ao valor da força contraeletromotriz - interior do mesmo -, cria-se aceleração para o torque necessário que movimenta o elevador; quando o valor de tensão é menor que tal força contraeletromotriz, o motor acaba atuando como um gerador.

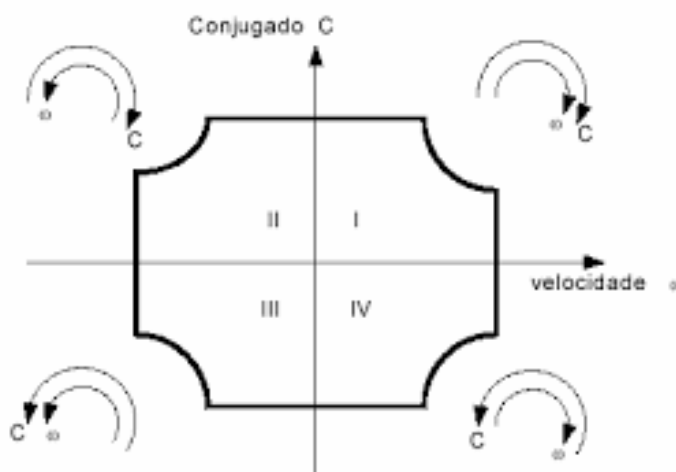


Figura 21: Quadrantes de funcionamento de um motor (AEAMESP).

A imagem acima mostra que o funcionamento do motor pode variar dentre estes quatro quadrantes. Quando o torque aplicado atua em sentido contrário à rotação do motor (quadrante II e IV), ocorre o processo regenerativo.

Explicando tal efeito nos ajustadores de velocidade em C.A, através da aplicação de determinados valores de tensão e frequência menores em relação à força contraeletromotriz do motor do elevador, ele atuará como um gerador e direcionará energia no sentido do inversor (de volta). Como método para diminuição de custos, boas partes destes inversores instalados possuem apenas um caminho para o motor, que serve estritamente para a transmissão da tensão controlada pelo inversor; esta tensão é armazenada em filtros capacitivos internos enquanto o sistema não for requisitado. Nota-se que o efeito da força contraeletromotriz não é aplacado e, para evitar que a energia retorne pelo caminho único e danifique os equipamentos, esta energia é desviada por um switch, que atua de forma temporária, para um banco de resistores.

Tal energia regenerada não é utilizada, e sim, desperdiçada nestes bancos resistivos. Estima-se que a perda de eficiência de um sistema de elevador sob este funcionamento é na faixa de 25-40% do consumo total de energia (Donald Vollrath, 2010). Como se este valor já não fosse o suficiente, esta energia sobre os resistores é convertida em calor, sendo necessária sua dissipação através de um sistema de ventilação.

Quanto aos inversores utilizados por motores C.C, estes são plenamente capazes de direcionar energia regenerada para a rede, porém, consequentemente,

apresentam aspectos negativos que tornam sua aplicação incogitável para este processo. Os drives SCR convertem tensão C.A em uma faixa de tensões C.C por um processo de retificação que é o controle de fase e também podem suprimir o problema de direção única através de uma “ponte de SCRs”, no entanto há a ocorrência de produção de harmônicas que podem ser extremamente danosas à rede devido aos ajustes de fase.

Os ajustadores de velocidades pelo método Ward Leonard (MG set) são capazes de direcionar energia à rede livre de harmônicas. A partir do momento em que o motor do elevador atua como gerador, a relação motor-gerador do sistema Ward Leonard é invertida: o gerador atua como motor e acaba transformando o motor C.A (seu precedente) em um gerador de indução. Porém, em termos de eficiência, o sistema Ward Leonard torna-se uma opção a ser descartada para a regeneração. Também se devem considerar os custos para sua manutenção e reposição de peças.

#### **4.2.2 Sincronismo**

O sincronismo de dois geradores com a rede é de fundamental importância, pois se não ocorrer o sincronismo, ocasionará em um curto-circuito que levará a danificar os motores e equipamentos do circuito elétrico.

No Brasil sabemos que para suprir a energia necessária de uma região, temos hidrelétricas interligadas, mas para que isso ocorra, todas deverão estar sincronizadas e possuir a mesma tensão gerada, isto é, deve gerar a mesma tensão com a mesma frequência e defasagem.

Na figura pode-se notar um exemplo de ligação de duas fontes de corrente alternada. Para que a chave seja fechada, para possibilitar que os dois geradores fiquem interligados, as lâmpadas deverão estar apagadas. Se as lâmpadas estiverem apagadas pode-se notar que as fases se encontram sob o mesmo nível de tensão, frequência, e conectadas a mesma fase. Se não houvesse sincronia, as lâmpadas acenderiam e apagariam dependendo da diferença de frequência.



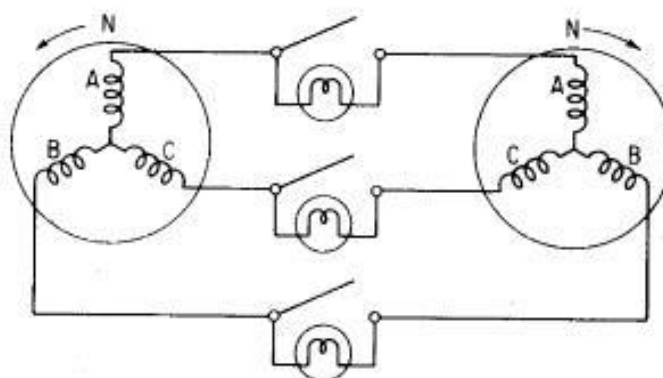


Figura 22: Lâmpadas para sincronismo

No caso do sistema de regeneração, ele será considerado um gerador, pois de fato estará gerando energia para o sistema, e obedecerá a tudo o especificado acima, quando a energia que ele estiver regenerando for enviada a rede. Para realizar-se a sincronização, deve-se possuir um sistema de controle individual para garantir o controle do nível de tensão e frequência gerada.

Quando o sistema de regeneração estiver sincronizado ele poderá se conectar a rede. A corrente absorvida pelo gerador deverá ser a menor possível, e quanto menor for esta corrente melhor será a qualidade da sincronia.

### 4.3 Drives regenerativos

Atualmente existem drives regenerativos que podem funcionar em conjunto com inversores de frequência convencionalmente utilizados para o controle do motor. Tais equipamentos funcionam como módulos aditivos atuando como um segundo inversor em sincronia com a frequência da linha. A energia regenerada é detectada por meio da detecção do aumento da tensão na parte de corrente contínua na linha e, através deste “excesso”, o drive reconhece e envia a energia para fora do sistema.



Figura 23: Módulo adicional regenerativo (KEB).

#### 4.4 Utilização da energia regenerada à rede

A energia obtida pode ser direcionada a outros setores e sistemas de uma instalação, como por exemplo: sistemas de ar-condicionado; iluminação e sistemas de ventilação. Ainda é possível aplicá-la para o funcionamento de outros maquinários. Também pode ser encaminhada para instalações vizinhas ou para suprir sistemas de utilização em comum (como em *shoppings centers*, por exemplo).

Independentemente da utilização, as instalações são providas de medidores de energia logo em suas entradas. O comportamento destes equipamentos diante do processo de regeneração e utilização em outras áreas poderá se dar com o regresso do ponteiro do medidor ou simplesmente com a desaceleração da medição do mesmo. Vale ressaltar que a energia regenerada, sendo devidamente tratada e regenerada, não causará distorções harmônicas prejudiciais a outros sistemas e maquinários da instalação.

O processo regenerativo ocorre em períodos determinados e tem uma duração curta de tempo, logo o direcionamento desta energia em outros sistemas da instalação não se dá de maneira constante. Tendo em mente esta observação, é prudente considerar que o sistema de regeneração em elevadores pode não ser economicamente viável em determinados prédios pois a energia regenerada dependerá da quantidade situações favoráveis ao seu surgimento.

Os sistemas regenerativos de elevadores tornam-se mais viáveis, portanto, nos prédios em que há maior requisição do serviço, velocidade e duração

da viagem, sendo que seu desempenho também pode variar de acordo com os dimensionamentos já descritos anteriormente.

#### 4.5 Sistema KERS

O sistema KERS, Kinetic Energy Recovering System (Sistema de recuperação de energia cinética), é utilizado nos carros do tipo fórmula 1, sistema este que armazena a energia, que seria perdida em forma de calor, para ser utilizada em outro momento na aceleração.



Figura 24: Sistema Kers empregado na Fórmula 1 (Magnetti Marelli)

O Funcionamento do Kers dá-se no seguinte, quando o carro começa a desacelerar, o sistema cria um torque resistente, que auxilia na frenagem, mas que tem como principal função guardar a energia que seria transformada em calor.

Na prática o sistema Kers, hidráulico, foi desenvolvido em 1998 pela McLaren, mas sua utilização foi proibida pela FIA. Em 2009 começou a ser utilizado com o sistema conseguindo gerar 70 cv em cerca de 7 segundos. Em 2011 o sistema era capaz de gerar 81,5 cv, o que representava cerca de 10% da potência do motor, e sua utilização dava-se principalmente em ultrapassagens, ou em pontos estratégicos da pista.

## **4.6 Métodos de utilização da energia regenerada**

Nos sistemas em que é utilizado o sistema de regeneração, há diversas maneiras de utilizar a energia regenerada, as quais iremos citar aqui.

### **4.6.1 Regeneração sem armazenamento**

Este método é empregado em sistemas em que possuem vários equipamentos que funcionam de forma assíncrona. Como exemplo, temos o metro da cidade de São Paulo, o qual possui várias composições, em um mesmo sistema. Enquanto uma composição começa a frenagem, para fazer sua parada, ela começa a regenerar, e a energia regenerada é enviada diretamente para a rede, não há nenhum armazenamento, a qual possui uma outra composição em alguma parte do sistema que utilizará esta energia em sua aceleração.

### **4.6.2 Regeneração para reduzir a corrente na partida**

Este método consiste da seguinte forma, quando o motor começa a frenagem, ele regenera a energia e a armazena, quando o motor precisar dar a partida, momento em que a corrente atinge valores até 7 vezes maiores que a de seu regime, o sistema utiliza a energia armazenada para assim diminuir sua corrente de partida. Nestes casos dependendo da quantidade de energia regenerada, e do caso, é possível que no dimensionamento dos sistemas de proteção, possa haver a redução dos sistemas ou dependendo da proteção, sua eliminação.

### **4.6.3 Regeneração para aumento da velocidade**

Este método foi o mais comum nos carros de fórmula 1, pois em determinadas situações da corrida para se realizar uma ultrapassagem, ou em pontos estratégicos do traçado, os carros utilizam o Kers, para adicionar 80cv, cerca de 10% da potência do motor, fazendo com que o sistema ganhe potência aumentando consideravelmente a velocidade fazendo com que o tempo de aceleração diminua.

#### 4.6.4 Regeneração para redução de consumo de energia

Muito utilizado em carros elétricos e híbridos, neste sistema quando o carro faz o processo de frenagem o sistema armazena esta energia em um banco de baterias, ou em um “flywheel” (volante de inércia), onde esta energia diminui o consumo aumentando a autonomia do carro elétrico (híbrido). No caso de carros que possuem o volante de inércia a energia é convertida, em energia mecânica, onde uma roda de fibra de carbono gira a uma velocidade de cerca de 60000 RPM no vácuo, diminuindo as perdas por atrito, e quando o carro acelera ou mantém a velocidade este sistema é acionado e a energia é transmitida por meio de uma transmissão especial, reduzindo o consumo em cerca de 25%. A grande vantagem do uso do “flywheel” em comparação as baterias é a baixa agressão ao meio ambiente, e a alta durabilidade do sistema, visto que as baterias possuem, em média, 1 a 2 anos, enquanto o sistema “flywheel” possui uma durabilidade média de 10 anos.

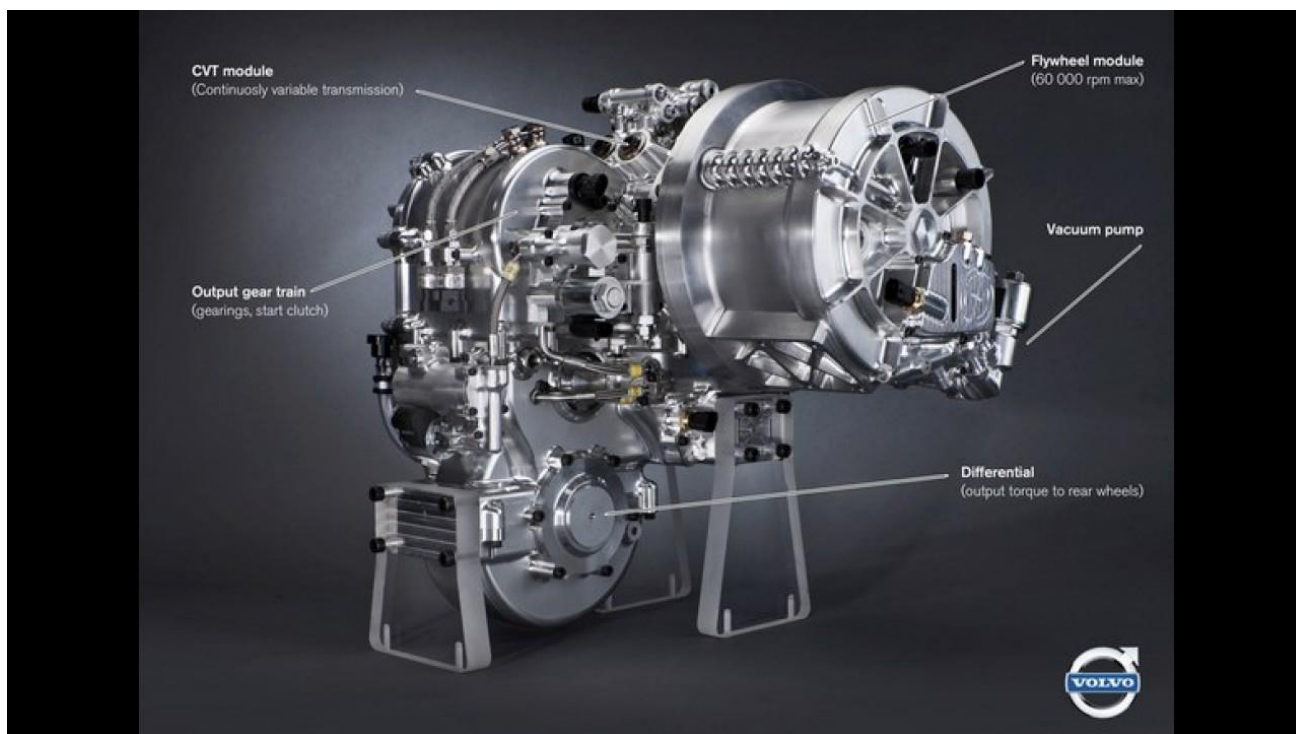


Figura 25: Sistema Kers da Volvo, com Flywheel integrado

## 5. Armazenamento

Para alguns casos o sistema de regeneração, necessitará de um sistema para armazenar a energia regenerada, para utilizá-la de novo no mesmo sistema. O sistema de armazenamento poderá variar muito, dependendo de cada caso, pois cada um possui características únicas, contando desde manutenção, até a forma como a energia pode ser transferida. Analisar-se-á o sistema mais usual, e outros que podem ser muito úteis e ter características muito importantes.

### 5.1 Bateria

Por ser o mais barato, ele é a forma mais utilizada em sistemas que precisem de um armazenamento de energia.



Figura 27: Bateria chumbo-ácido

“A bateria de chumbo-ácido é constituída de dois eletrodos; um de chumbo esponjoso e o outro de dióxido de chumbo em pó, ambos mergulhados em uma solução de ácido sulfúrico com densidade aproximada de 1,28g/mL dentro de uma malha de chumbo puro ou ligas de chumbo. ([https://pt.wikipedia.org/wiki/Bateria\\_chumbo-%C3%A1cido](https://pt.wikipedia.org/wiki/Bateria_chumbo-%C3%A1cido))

O grande problema das baterias, tem a ver com o seu descarte após seu uso, pois por se tratar de uma solução ácida, produz grandes danos ao solo. Outro problema das baterias, tem a ver com sua durabilidade, visto que se elas forem

carregadas e descarregadas constantemente, ela perderá seu potencial de armazenamento, visto que cada carga e descarga corroem as placas internas da bateria. As baterias utilizadas no carro, tem durabilidade de 5 anos em média. Se utilizadas nos elevadores para o sistema de regeneração, por se tratar de estarem em constante utilização, elas terão uma durabilidade estimada de 1 a 2 anos, fazendo com que seu custo-benefício seja muito baixo.

Outra característica que as baterias possuem, é que seu armazenamento, bem como a energia devolvida, é em CC, fazendo com que se precise de um sistema de conversão de energia alternada para contínua, e vice-versa. Seu custo barato, o torna ainda, como um dos meios mais usuais, mesmo com sua durabilidade baixa, comparada com outros meios de armazenamento.

## 5.2 Flywheel

Flywheel, ou volante de inércia, é um sistema de armazenamento mecânico, que consiste em converter a energia elétrica em energia cinética. O volante de inércia, basicamente, é uma roda, composta de materiais pesados, girando a uma velocidade altíssima em uma câmara a vácuo, para que as perdas de atrito sejam o quanto menores possíveis, transformando-se em uma bateria mecânica.



Figura 28: Volante de inércia empregado nos automóveis

A primeira vantagem, é que o volante de inércia, gera muito pouco impactos no meio-ambiente, visto que seus materiais, fibras de carbono, aço entre outros, geram muito menos impactos, quando comparadas as baterias. Outra vantagem importante, sua saída de tensão é em CC, porém poderá ser em CA, visto

que bastaria apenas acoplar no eixo do volante, um gerador CA, fazendo com que possa ser empregado no armazenamento de energia, tanto de motores CC como CA. Outra vantagem, sua vida útil gira em torno de 5 a 10 anos, sempre que este possuir uma manutenção preventiva adequada, sendo de grande vantagem quando comparada aos meios de armazenamento tradicionais.

### 5.3 Inversor de frequência

Os inversores geralmente utilizam dispositivos não lineares, como diodos e transistores, para a conversão dos sinais. Os retificadores geram uma corrente não senoidal que distorcem a tensão no sistema de alimentação. Os inversores são muito empregados em sistemas, que possuem motores nos quais precisa-se variar sua velocidade, visto que o inversor varia a velocidade do motor, alternando a frequência que o alimenta.

Uma das vantagens por se utilizar o inversor de frequência, é que há variação de velocidade do motor pela frequência. Outra grande vantagem da utilização deste, é a possibilidade de a saída do sinal ser tanto em CC, como em CA.

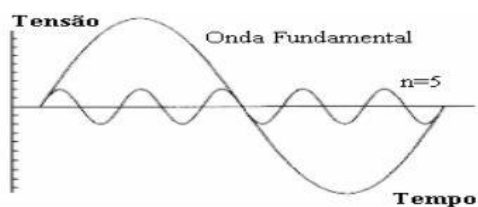


Figura 1: Onda fundamental com sua harmônica  $n=5$  abaixo



Figura 2: Onda resultante da soma da onda da tensão e da harmônica  $n=5$

Figura 29: Forma de onda CA distorcida

Uma das muitas desvantagens do inversor de frequência, como é vista na imagem acima, devido a utilizar de componentes não lineares, para a conversão de sinal CC para CA, é a geração de ondas secundárias de amplitude e período distintas



da onda fundamental da rede elétrica, chamadas de harmônicas. A onda harmônica somada a onda fundamental, gera distorções na rede elétrica, prejudicando a qualidade da energia, podendo prejudicar sistemas que possuem componentes eletrônicos, e queimando tais.

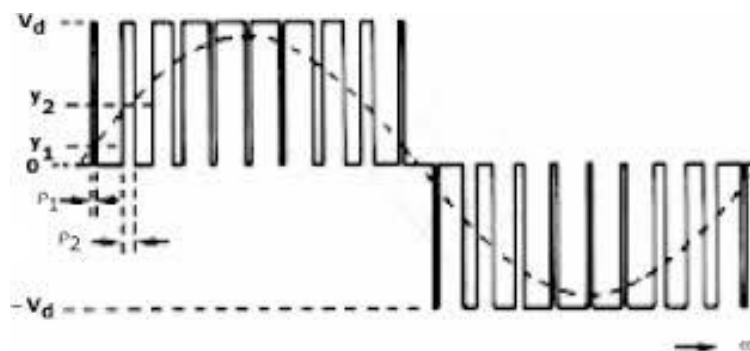


Fig. 4. Onda senoidal (PWM).

Figura 30: Onda senoidal, formada pelo inversor de frequência (PWM)

Outra grande desvantagem, é que seu fornecimento do sinal alternado, não é puro, devido a utilização de tiristores para a formação do sinal alternado, visto que sua onda senoidal, será formada por ondas menores, que diminuem a vida útil dos motores em que se utilizam deste componente.

#### 5.4 Banco de Supercapacitores

Os capacitores comuns, armazenam pouca energia e descarregam de forma rápida, porém os supercapacitores conseguem armazenar 100 vezes mais energia, menos que uma bateria de lítio. A saída do sistema de supercapacitores, da mesma forma como seria com os capacitores, são de CC, sendo muito uteis para sistemas de eletrônica.



Figura 31: supercapacitor de 1,5 F

Algumas de suas vantagens, quando comparadas a uma bateria de lítio são: possui um peso reduzido; possui uma durabilidade muito maior; O seu tempo de carga é muito menor; pode suportar temperaturas altas, o que para as baterias, gera uma degradação de sua vida útil, muito rapidamente.

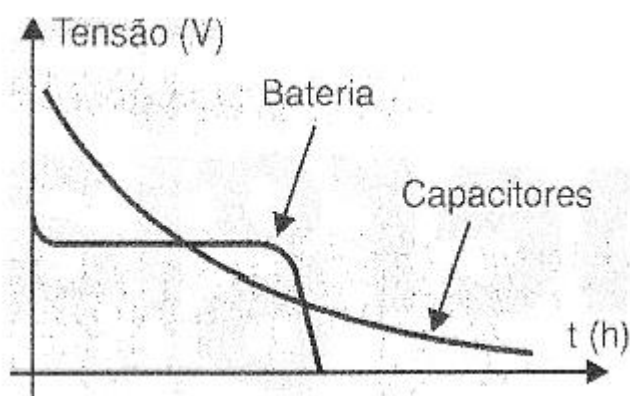


Figura 32: Curva de descarga de um capacitor e de uma bateria comum

Uma de suas desvantagens, devido a ser uma tecnologia que ainda está em desenvolvimento e ser muito recente no mercado, sua capacidade de armazenamento é muito baixa, comparada as baterias.

## **6. Viabilidade**

A viabilidade da implementação do sistema de regeneração de energia, dependerá para cada caso. Aqui será analisado um caso em que foi empregado, bem como possíveis implementações futuras, principalmente considerando outros modais, e será analisada especificamente no caso de elevadores, que terão algumas das principais variáveis estudadas e apresentas aqui nesta seção.

### **6.1 Transporte Público**

No sistema de transporte, hoje o único modal em que está implementado o sistema de regeneração, é o transporte metro ferroviário. Os dados obtidos e exibidos aqui, são referentes apenas ao Metropolitano de São Paulo, pois não se foi encontrado dados disponíveis pela Companhia de Trens de São Paulo (CPTM).

Atualmente o sistema de regeneração do metro de São Paulo, utiliza-se do sistema de frenagem regenerativa, e com a energia regenerada, envia-a a rede elétrica, para que outra composição possa utilizá-la na aceleração diminuindo a corrente de partida. Esse sistema é utilizado nos trens, exceto pela frota E, está que possui um sistema de armazenamento, que a partir da energia regenerada pela própria composição, a utiliza em sua partida diminuindo a corrente de pico, minimizando os gastos com energia elétrica e sistemas de proteção.

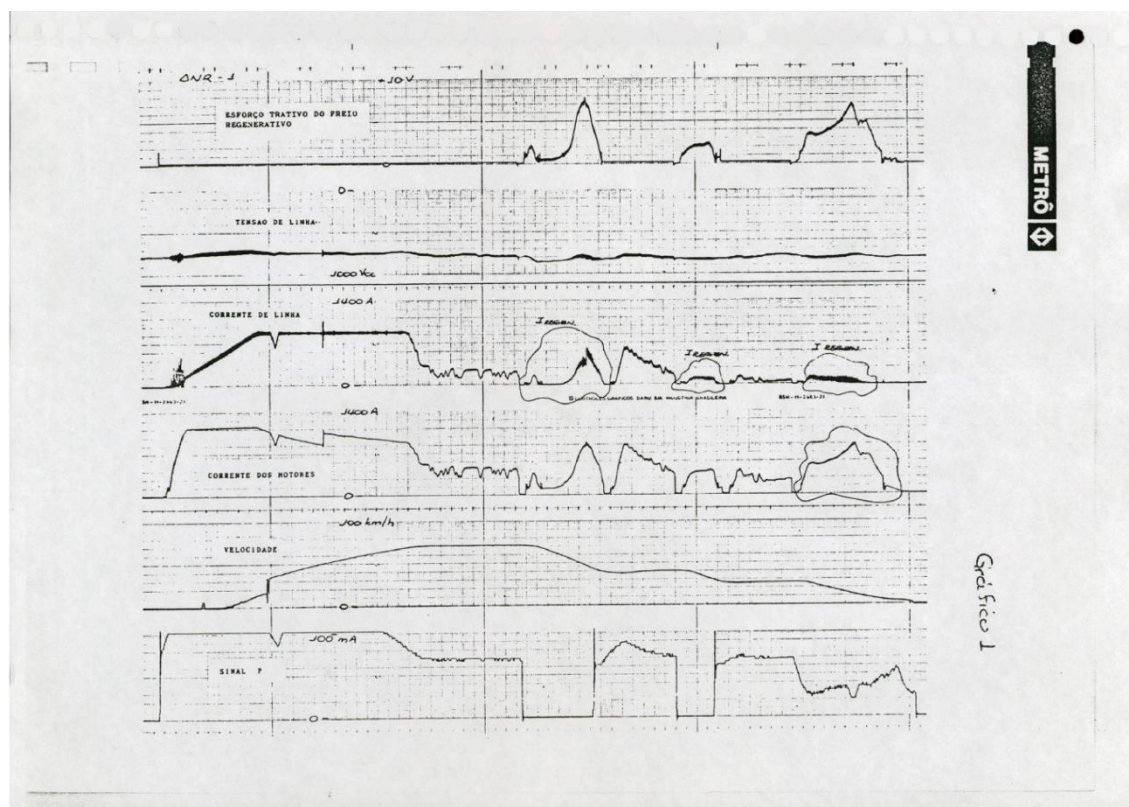


Figura 33: Gráfico do impacto do sistema de frenagem regenerativa do metro

Como pode-se ver na imagem acima, quando a composição começa a acelerar, a corrente dos motores cresce abruptamente, enquanto 8na linha ela aumenta gradativamente. Isto ocorre graças ao sistema de regeneração, visto que a energia armazenada é utilizada na partida da composição.

Pode-se ainda observar, que no momento da frenagem o sistema começa a regenerar energia, e a corrente de linha é menor que a do próprio motor da composição, demonstrando que a energia regenerada, está sendo empregada neste momento. Se observa, no terceiro círculo demarcado no gráfico, que a corrente de linha é muito menor que a corrente que o motor está utilizando, mostrando assim uma grande economia de energia, com o sistema de regeneração implementado.

No sistema de transporte sob trilhos, por ser um transporte coletivo de alta capacidade, cerca de 2000 pessoas por composição, é necessário de motores com alta potência, para que se possa vencer a inércia, bem como aguentar uma superlotação esporádica nos horários de pico. Neste caso a energia regenerada, ainda que baixa comparada com a consumida, vêm a atingir valores consideráveis, e que de certa forma são de grandes utilidades se reaplicadas.

Um modal que não utiliza deste sistema, mas que sua aplicação futura poderia ser vantajosa, seria nas frotas de ônibus a biodiesel e trólebus. Em uma

análise, o modal de ônibus pode utilizar de dois tipos de regeneração distintos, o de frenagem regenerativa, conhecido como MGU-T, e o sistema de aproveitamento de calor, embutido nos escapamentos, conhecido como MGU-H. A energia regenerada por não poder ser reaplicada diretamente no ônibus, por este usar um motor diesel, poderia ser armazenada durante as viagens, e no fim de seu itinerário, em um terminal preparado tecnicamente para isso, poderia descarregar esta energia, que poderia ser reutilizada de outra maneira.

## **6.2 Elevadores Externos**

Os novos prédios europeus possuem projetos de elevadores externos, que podem se mobilizar tanto verticalmente como horizontalmente, utilizando como forma de tração trilhos, ao invés de cabos que são o sistema mais usual, facilitando a implementação do sistema de regeneração, visto que possuem a mesmas características de um transporte sob trilhos.

A viabilidade para aplicação do sistema regenerativo, dependerá da capacidade dos elevadores e da quantidade de andares que o prédio possui. Por se tratar de prédios comerciais, os elevadores terão que ter uma capacidade maior que os elevadores de prédios habitacionais, por possuírem uma maior quantidade de pessoas nos andares, e também por não utilizar no sistema o contrapeso, o elevador necessitará de um motor de uma potência maior, quando comparada aos padrões, fazendo com que o sistema de regeneração recupere cada vez mais energia.

## **6.3 Elevadores**

Os elevadores padrões, possuem um sistema de tração por cabos, que são conectados a um contrapeso, desta forma o motor do elevador está consumindo uma energia considerável, mesmo quando vazio. Partindo deste pressuposto, a regeneração pode ser realizada em qualquer tipo de elevador, desde que este atenda a requisitos, que serão abordados aqui.

Com o sistema de regeneração a melhor forma de reutilizar a energia regenerada, será a armazenando e utilizando-a na partida do motor, pois este necessitará de uma corrente maior, para vencer a inércia, e com a energia regenerada, se poderá diminuir essa corrente, afetando o menos possível os outros

sistemas do prédio. Outra maneira de se utilizar a regeneração, seria a devolvendo a rede elétrica, mas devido a questões de sincronismo com a rede, para que o gerador não seja “motorizado”, entre outras questões, acaba-se tornando uma forma inviável, devido a estas complicações e possíveis custos altos de instalação.

Para este sistema ter sua instalação viável, o prédio deverá possuir mais que um elevador, e ter uma quantidade significativa de andares, pois se isso não ocorrer a energia regenerada será muito baixa e o custo-benefício será baixo demais.

Uma das empresas fabricantes de elevadores, ThyssenKrupp, já possui em seus projetos de elevadores prediais, um sistema de regeneração para os elevadores de sua linha, e para elevadores já previamente instalados, tanto os de baixa potência, 15 e 30KW, como para os de alta potência, 40 a 80KW, facilitando sua instalação e aumentando sua viabilidade.

#### 6.4 Exemplo de caso



Figura 34: Complexo Tamar Central Government Offices (Wikipédia)

O artigo “Study on Report of Lift Regenerative Power”, publicado no ano de 2015, trata de um complexo comercial chinês chamado Tamar Central Government Offices que recebeu a aplicação de um estudo sobre o desempenho dos drives regenerativos em seus sistemas de elevadores. A sua estrutura se dividia em zonas, sendo que cada era provida de um sistema de elevador diferente:

- Sistema Zona Alta na Asa Leste;
- Sistema Zona Baixa na Asa Leste;
- Sistema Zona Alta na Asa Oeste;
- Sistema Zona Baixa na Asa Oeste;
- Sistema Zona Alta - Baixa na Asa Leste;
- Sistema Zona Alta – Baixa na Asa Oeste;
- Sistema de Serviços Asa Leste;
- Sistema de Serviço Asa Oeste.

Sistemas de zonas baixas atenderiam um número menor de andares em relação aos sistemas de zonas altas, isto significa que a distância percorrida também era menor em relação a estes últimos.

Seus elevadores foram submetidos à pesquisa, levando em consideração a capacidade de carga dos mesmos 1.600 kg e que suas velocidades de viagem seriam distintas: 6 m/s; 5 m/s; 5 m/s; 2,5 m/s; 3 m/s; 3,5 m/s; 2,5 m/s; 1,75 m/s (respectivamente). A tabela demonstrada pelos pesquisadores mostra os seguintes resultados:

Tabela 14: Resultados de energia dos sistemas de elevadores do complexo (Study Report on Application of Lift Regenerative Power).

Lift No. (Speed)	Item	Energy from 16 Aug to 16 Dec 2013 (kWh)	% of Electricity Saving
East Wing High Zone (6 m/s)	Energy Consumed	45,913	25.7%
	Energy Regenerated	15,847	
East Wing Low Zone (5 m/s)	Energy Consumed	29,311	22.4%
	Energy Regenerated	8,459	
West Wing High Zone (5 m/s)	Energy Consumed	43,518	27.0%
	Energy Regenerated	16,072	
West Wing Low Zone (2.5 m/s)	Energy Consumed	24,640	18.9%
	Energy Regenerated	5,760	
East Wing Passenger (High + Low Zone) (3 m/s)	Energy Consumed	9,405	23.3%
	Energy Regenerated	2,852	
West Wing Passenger (High + Low Zone) (3.5 m/s)	Energy Consumed	16,181	26.4%
	Energy Regenerated	5,796	
East Wing Services (High + Low Zone) (2.5 m/s)	Energy Consumed	7,361	22.4%
	Energy Regenerated	2,120	
West Wing Services (1 to 3/F) (1.75 m/s)	Energy Consumed	2,505	17.1%
	Energy Regenerated	565	

Os resultados obtidos indicam que houve uma variação de valores de energia economizada entre os elevadores compreendida entre 17 e 27%, além disto, os dados mostram que a distância e velocidades aplicadas contribuem para um maior percentual de regeneração em relação à consumida.

Em geral, a fração correspondente à energia regenerada de um sistema de elevadores seria aproximadamente  $1/4$ . Quanto mais exercido for o processo de regeneração, ou seja, quanto mais forem requisitados os serviços do elevador que favoreça as situações apropriadas, maior será o custo-benefício.



## 7. Conclusão

O sistema de regeneração de energia, vêm a ser uma tecnologia em que os prédios podem e devem vir a adquirir, visto que sua instalação, geralmente em todos os casos, vem a ser de grandes benefícios na redução de custos e aumento da eficiência energética. Visto que esta tecnologia está sendo implementada em vários países desenvolvidos, é mais uma comprovação de que, este sistema deve ser analisado nos novos projetos de edifícios, bem como de edifícios já construídos, e sua implementação analisada seriamente.

Este trabalho vem a ser uma base de estudo, para a implementação do sistema de regeneração, visto que, os dados necessários para uma melhor análise de sua viabilidade, não foram adquiridos, devido a ser uma tecnologia que ainda não é empregada na maioria das construções, e pelas empresas que fornecem essa tecnologia, possuírem sigilo com relação a divulgação de seus dados. Mesmo assim este trabalho possui as necessárias condições para se fazer um embasamento na implementação do sistema.

Pode-se analisar também, que o sistema de regeneração de energia, não se restringe apenas a prédios, ou os demais meios locomotores em que já foram instalados, mas sua instalação pode ser em vários outros modais os quais apresentam viabilidade e grandes benefícios, e sempre aumentando a eficiência energética do sistema.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. <http://www.autoracing.com.br/f1-como-funciona-o-kers/>
2. [http://www.encyclopediaf1.com.br/por\\_dentro\\_da\\_f1/kers](http://www.encyclopediaf1.com.br/por_dentro_da_f1/kers)
3. <https://www.magnetimarelli.com/pt/node/4979>
4. <https://motor1.uol.com.br/news/114151/volvo-desenvolve-kers-e-pensa-em-compacto-eletrico-ou-hibrido/>
5. Franchi, Claiton Moro **Inversores de Frequência: Teoria e Aplicações – 2. ed.** – São Paulo: Érica, 2009.
6. [http://www.ipv.pt/millennium/arq8\\_fly.htm](http://www.ipv.pt/millennium/arq8_fly.htm)
7. Alouche, Peter; **A regeneração e a recuperação de energia por onduladores no metrô de São Paulo.**
8. ThyssenKrupp; **Sistema regenerativo de energia.**
9. <https://www.tecmundo.com.br/bateria/112770-supercapacitores-substituir-baterias-futuro.htm>
10. <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/8379-novasaplicacoes-para-super-capacitores-art1441>
11. <http://vipelevadores.com.br/arquivos/1385381507.pdf>
12. <http://www.crea-sc.org.br/portal/arquivosSGC/NBR%2013994.pdf>
13. <https://pt.scribd.com/doc/32976655/NBR-5666-TB-6-Elevadores-Eletricos>
14. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3108:ed-2:v1:en>
15. <https://www.asme.org/products/codes-standards/a172-2017-guide-inspection-elevators-escalators>
16. <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgmVIAD/nbr-14712-elevadores-eletricos-elevadores-carga-monta-cargas-elevadores-maca>
17. <https://www.schindler.com>
18. <http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/blog/voce-sabe-como-o-elevador-funciona/>
19. <https://www.meuelevador.com/limitador-de-velocidade/>
20. <https://www.mundodaeletrica.com.br/motor-eletrico-como-dimensionar/>
21. [http://www.dieletric.com.br/materia\\_completa.php?cd=010](http://www.dieletric.com.br/materia_completa.php?cd=010)

22. <https://www.citisystems.com.br/motor-eletrico/>
23. <https://www.saladaeletrica.com.br/qual-diferenca-entre-soft-starter-e-inversor-de-frequencia/>
24. [https://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/14573/1/INVERSO RES%20PARA%20APLICA%C3%87%C3%83O%20EM%20ELEVADORES%20PREDIAIS.pdf](https://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/14573/1/INVERSO%20RES%20PARA%20APLICA%C3%87%C3%83O%20EM%20ELEVADORES%20PREDIAIS.pdf)
25. <https://www.elevadoresmais.com.br/2016-04-11-19-14-56/downloads/9-normas-brasileiras-e-calculo-de-trafego/file>
26. <https://www.fau.usp.com.br>
27. VOLLRATH, Donald. Regenerative Elevator Drives: What, How and Why. ELEVATOR WORLD, 2010.
28. ACQUAVIVA, Sebastiano. Energy Storage and Recovery System for Lift. Study Report on Application of Lift Regenerative Power. 2015.