

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PAULO VINICIUS KIST BUCHNER

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ELEVADOR DO PRÉDIO
DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL**

Porto Alegre
2023

PAULO VINICIUS KIST BUCHNER

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ELEVADOR DO PRÉDIO
DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Buchner, Paulo Vinicius Kist
ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ELEVADOR DO
PRÉDIO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL / Paulo Vinicius Kist Buchner. --
2023.
40 f.
Orientador: Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Elétrica, Porto
Alegre, BR-RS, 2023.

1. Elevadores. 2. Eficiência Energética. 3.
Consumo. 4. Engenharia Elétrica. I. Loureiro, Luiz
Tiarajú dos Reis, orient.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PAULO VINICIUS KIST BUCHNER

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ELEVADOR DO PRÉDIO
DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL**

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich, UFRGS

Doutor pela Universidade Estadual de Campinas – Campinas, Brasil

Prof. Dr. Igor Pasa Wiltuschnig, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Porto Alegre, Abril de 2023.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família,
em especial, a minha mãe,
a pessoa mais importante da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio em todos momentos da minha vida.

Agradeço ao professor Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro pela orientação neste trabalho.

*As pessoas costumam dizer que a motivação não
dura sempre. Bem, nem o efeito do banho, por
isso recomenda-se diariamente.
(Zig Ziglar)*

RESUMO

Nos últimos anos, as universidades federais estão sofrendo com a diminuição de investimentos pelo governo federal. A restrição no orçamento das universidades tem afetado diretamente a Universidade Federal do Rio Grande do Sul que possui gastos altíssimos com energia elétrica, sendo esse gasto atrelado principalmente para a infraestrutura da universidade. Assim, o objetivo do presente estudo é encontrar o consumo, em reais, pelo elevador do prédio do curso de Engenharia Elétrica da UFRGS. O experimento utilizará medições subindo do térreo até o segundo andar do prédio do curso de Engenharia Elétrica. Por fim, o estudo servirá como base para realizar uma campanha de conscientização para os alunos, professores e funcionários que utilizam o edifício.

Palavras-chave: Consumo; Eficiência energética; Elevadores; Engenharia Elétrica.

ABSTRACT

In recent years, federal universities have been suffering from a decrease in investments by the federal government. The budget restrictions for universities have directly affected the Federal University of Rio Grande do Sul, which has high expenses with electricity, mainly related to the infrastructure and laboratory classes of the university. Thus, the objective of this study is to find the energy consumed, in Brazilian Reals, by the elevator in the building of the Electrical Engineering course at UFRGS. The experiment will use measurements with different collaborators going from the ground floor to the second floor of the Electrical Engineering building. Finally, the study will serve as a basis for a campaign to raise awareness among students, professors, and employees who use the building.

Keywords: Consumption; Energy efficiency; Elevators; Electrical Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número de consumidores, em milhões, de energia elétrica no Brasil, de 2006 a 2019.....	14
Figura 2 – Casa de máquinas.....	18
Figura 3 – Passadiço.....	19
Figura 4 – Componentes do Elevador.....	20
Figura 5 – Motor de Indução.....	22
Figura 6 – Motor com a localização das suas perdas.....	25
Figura 7 – Elevador do prédio do curso de engenharia elétrica da UFRGS.....	26
Figura 8 – Medidor Fluke 434-II.....	29
Figura 9 – Procedimento para coleta de dados.....	30
Figura 10 – Esquema de ligação do medidor de energia.....	30
Figura 11 – Menu de seleção.....	31
Figura 12 – Diagrama de medição de energia do elevador.....	32
Figura 13 – Energia média gasta no acréscimo de mais um colaborador.....	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Distribuição das perdas e como reduzi-las.....	25
Quadro 2 – Características do elevador.....	27
Quadro 3 – Dados da massa total e energia envolvida no experimento 1.....	33
Quadro 4 – Dados da massa total envolvida no experimento 2.....	33
Quadro 5 – Dados de energia de cada medição no experimento 2.....	33
Quadro 6 – Dados da massa total envolvida no experimento 3.....	34
Quadro 7 – Dados de energia de cada medição no experimento 3.....	34
Quadro 8 – Dados da massa total envolvida no experimento 4.....	34
Quadro 9 – Dados de energia de cada medição no experimento 4.....	34
Quadro 10 – Dados da massa total envolvida no experimento 5.....	35
Quadro 11 – Dados de energia de cada medição no experimento 5.....	35
Quadro 12 – Modo e frequência de utilização do elevador.....	35
Quadro 13 – Resumo Gasto energético (kWh).....	36
Quadro 14 – Análise de frequência de utilização por turno	37

LISTA DE ABREVIATURAS

UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO	14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
1.2 OBJETIVO	15
1.3 PROPOSTA DE SOLUÇÃO.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 ELEVADORES.....	17
2.2 COMPONENTES DE UM ELEVADOR	18
2.2.1 Casa de máquinas	18
2.2.2 Máquina de tração	18
2.2.3 Limitador de velocidade	18
2.2.4 Passadiço	19
2.2.5 Cabina	19
2.2.6 Contrapeso	19
2.2.7 Poço	20
2.3 MOTORES.....	20
2.3.1 Motores de Corrente Contínua	20
2.3.2 Motor de Indução	21
2.3.3 Motor Síncrono de Imãs Permanentes de Terras Raras	22
2.4 PERDAS	23
2.4.1 Perdas no ferro	23
2.4.2 Perda por atrito e ventilação	24
2.4.3 Perdas por Efeito Joule	24
3 METODOLOGIA	26
3.1 ELEVADOR E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	26
3.1.1 Breve história	26
3.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	26

3.3 METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS	27
3.4 EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO	28
3.4.1 Medidor Fluke	28
3.5 PROCEDIMENTO PARA COLETA DE DADOS	29
3.6 LOCAL DE MEDIÇÃO.....	31
3.7 CONEXÃO DO MEDIDOR NO CIRCUITO DO ELEVADOR	31
4. RESULTADOS	33
4.1 EXPERIMENTOS.....	33
4.1.1 Experimento 1: Elevador sem Colaborador	33
4.1.2 Experimento 2: Elevador com Um Colaborador.....	33
4.1.3 Experimento 3: Elevador com Dois Colaboradores.....	34
4.1.4 Experimento 4: Elevador com Três Colaboradores.....	34
4.1.5 Experimento 5. Elevador com Quatro Colaboradores.....	35
4.2 FREQUÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO ELEVADOR.....	35
5. ANÁLISE DE DADOS	36
5.1 ANÁLISE DE DADOS DOS EXPERIMENTOS	36
5.2 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO ELEVADOR.....	37
6 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS	40
APÊNDICE A – Análises do experimento 1 e 2.....	42
APÊNDICE B – Análises do experimento 3.....	43
APÊNDICE C – Análises do experimento 4.....	44
APÊNDICE D – Análises do experimento 5.....	45

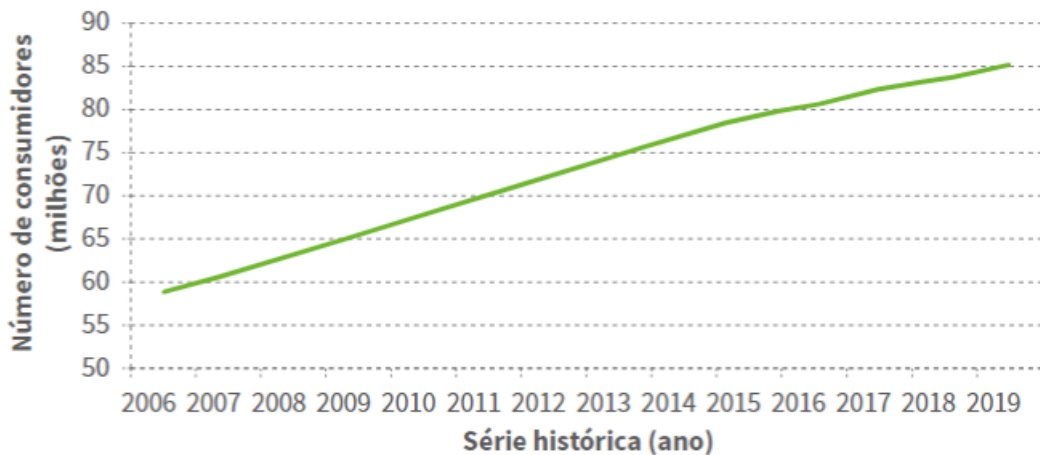
1 CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

É conhecido que há uma relação significativa entre a disponibilidade de energia e o desenvolvimento socioeconômico. O avanço tecnológico, o progresso industrial e a melhoria dos padrões de vida da sociedade estão intrinsecamente ligados ao aumento do consumo de energia (SIMABUKULO *et al*, 2016).

Portanto, de acordo com (LAMPIS *et al*, 2022), percebe-se que o número de consumidores no Brasil tem aumentado ao longo dos anos de maneira quase linear, sendo que esse número era de quase 60 milhões de pessoas em 2007, chegando a 85 milhões em 2019, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Número de consumidores, em milhões, de energia elétrica no Brasil, de 2006 a 2019



Fonte: LAMPIS *et al*, 2022.

No ano de 1990, o Brasil consumiu 217,7 TWh de energia elétrica; já no ano de 2019, consumiu 553,3 TWh. Quando se adentra nos setores responsáveis pelos maiores potenciais de consumo, o setor de serviços públicos e comercial apresentou um crescimento de 236%, enquanto o residencial cresceu 192% e o industrial com 74%, setores que alcançaram os maiores aumentos entre os anos de 1990 e 2019 (IEA, 2020).

Conforme o Plano Nacional de Energia – 2050 (BRASIL, 2020), avalia-se que

se tenha, no Brasil, um potencial de eficiência energética de 321 TWh, sendo esse valor correspondente a 17% do consumo total de energia elétrica até 2050. Tendo em vista que o segmento de edificações corresponde atualmente por aproximadamente 50% do consumo total de energia elétrica no Brasil, calcula-se que o potencial de eficiência energética no segmento de edificações seja cerca de 161 TWh até 2050.

Segundo a ABESCO (2018), cerca de 142820,69 GWh de energia, correspondente a 52,17 bilhões de reais, foram desperdiçados entre os anos de 2015 a 2017 devido ao uso de aparelhos ineficientes.

Atualmente, o estudo do gasto energético pelos elevadores é essencial quando se trata de tecnologias aplicadas ao transporte vertical. Estima-se que os elevadores correspondem por 5% a 15% da energia consumida pelos edifícios. (THYSSENKRUPP ELEVADORES, 2020, p.1)

Uma das instituições que depende fortemente da energia elétrica para o seu funcionamento é a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A UFRGS é composta por 5 grandes *Campi*, que circulam mais de 30.000 alunos e colaboradores, totalizando uma área de 22.704.212 m² (UFRGS, s.d.).

1.2 OBJETIVO

Realizar um estudo técnico do consumo de energia do elevador do prédio da Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

1.3 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Uma medida importante para aumentar a eficiência energética nas edificações é a análise e otimização do consumo de energia dos sistemas presentes, como os elevadores. No caso específico do prédio do curso de Engenharia Elétrica da UFRGS, seria valioso realizar um estudo detalhado sobre o consumo energético do elevador que percorre do térreo até o segundo andar. Essa avaliação permitiria identificar oportunidades de economia e propor soluções para reduzir o consumo de energia nesse trajeto.

Com base nos dados obtidos, seria possível implementar uma campanha de conscientização direcionada aos alunos, professores e funcionários que utilizam o edifício. Essa campanha teria como objetivo promover o uso consciente do elevador,

incentivando as pessoas a optarem por subir ou descer de escadas sempre que possível, reservando o uso do elevador somente para casos de real necessidade. Essa mudança de comportamento coletivo poderia resultar em uma significativa redução do consumo de energia elétrica no prédio.

Além disso, a conscientização sobre a importância da eficiência energética nas edificações poderia ser estendida a outras práticas diárias, como desligar luzes e equipamentos não utilizados, regular adequadamente o ar condicionado e adotar medidas de uso responsável da energia elétrica em geral. Essas ações individuais, somadas, podem ter um impacto significativo na diminuição dos gastos com energia elétrica na UFRGS.

Portanto, ao considerar o estudo e a conscientização sobre o consumo de energia do elevador e a implementação de medidas de eficiência energética em outros aspectos do edifício, a UFRGS estaria não apenas reduzindo seus gastos com energia elétrica, mas também demonstrando um compromisso com a sustentabilidade e o uso responsável dos recursos naturais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ELEVADORES

Os elevadores são um dos meios de transporte mais utilizados no mundo, além de serem os mais seguros. Esse dispositivo é responsável pela locomoção de pessoas para diferentes andares em curto espaço de tempo.

Pode-se classificar os elevadores entre hidráulicos e de tração.

Existem diversas normas técnicas brasileiras que regulamentam a fabricação, instalação e operação de elevadores de tração e elevadores hidráulicos, estabelecendo requisitos de segurança e desempenho. Alguns exemplos de normas brasileiras relacionadas a esses tipos de elevadores são:

- **ABNT NBR NM 207:** Esta norma estabelece os requisitos de segurança para elevadores elétricos de passageiros e elevadores de passageiros e carga, incluindo elevadores de tração. Ela aborda aspectos como capacidade de carga, velocidade, dimensionamento de componentes, sistemas de segurança, entre outros.
- **ABNT NBR NM 313:** Esta norma define os requisitos de segurança e desempenho para elevadores hidráulicos de passageiros e elevadores de carga hidráulicos. Ela especifica critérios relacionados a características técnicas, sistemas de segurança, controle, dimensionamento, manutenção, entre outros aspectos.
- **ABNT NBR NM 207-1:** Esta norma complementa a ABNT NBR NM 207 e aborda requisitos específicos para elevadores de passageiros elétricos de até 1.600 kg de capacidade. Ela engloba aspectos como projeto, instalação, manutenção, segurança e desempenho desses elevadores.
- **ABNT NBR 15597:** Esta norma trata de requisitos de segurança para elevadores de passageiros, elevadores de carga e elevadores de passageiros e carga. Ela aborda aspectos relacionados a projeto, fabricação, instalação, operação e manutenção desses tipos de elevadores.

Nos elevadores de tração, a cabina se desloca por meio dos cabos de tração ou correias em um sistema de polias.

Os elevadores de tração usam contrapesos para compensar o peso da cabina

e dos passageiros. Dessa maneira, o motor do elevador não necessita mover tanto peso, sendo assim, mais eficiente do que os elevadores hidráulicos (TROLLER, 2015).

2.2 COMPONENTES DE UM ELEVADOR

2.2.1 Casa de máquinas

O lugar em que se localiza os componentes e equipamentos que proporcionam o funcionamento e a deslocação do elevador, conforme a Figura 2. A casa de máquinas está normalmente situada na parte superior do edifício, porém, em alguns edifícios, ela acaba por estar fixada nos andares inferiores.

Nos últimos anos, os elevadores estão sendo fabricados sem a casa de máquinas, visto que a maior parte dos componentes está instalada no topo da cabina.

Figura 2 - Casa de máquinas.



Fonte: <<https://seteservic.com.br/conheca-as-partes-que-compoe-o-seu-elevador/>>.

2.2.2 Máquina de tração

O deslocamento do equipamento tanto para descida quanto para subida é ocasionado pela máquina de tração. Ela sustenta o peso da cabina, contendo a carga transportada e os passageiros. Inclusive, a máquina de tração suporta os cabos de aço, o contrapeso e as correntes de compensação.

2.2.3 Limitador de velocidade

O limitador de velocidade é um equipamento mecânico responsável pelo

monitoramento da velocidade do elevador enquanto estiver em operação. Tal equipamento é composto por cabo de aço, uma polia principal e uma polia tensora, o limitador de velocidade efetua uma frenagem repentina em caso de emergência.

2.2.4 Passadiço

É um local determinado para o contrapeso e a cabina do elevador se movimentarem. Trata-se de local é fechado e na sua parte frontal se localiza as portas dos andares, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Passadiço



Fonte: <<https://seteservic.com.br/conheca-as-partes-que-compoe-o-seu-elevador/>>.

2.2.5 Cabina

É um local destinado ao transporte de cargas e usuários.

2.2.6 Contrapeso

O contrapeso é um mecanismo de compensação utilizado para equilibrar a cabina do elevador. A movimentação realizada pelo contrapeso é inversa a da cabina, assim, quando o elevador sobe, o contrapeso desce, e quando o elevador desce, o contrapeso sobe.

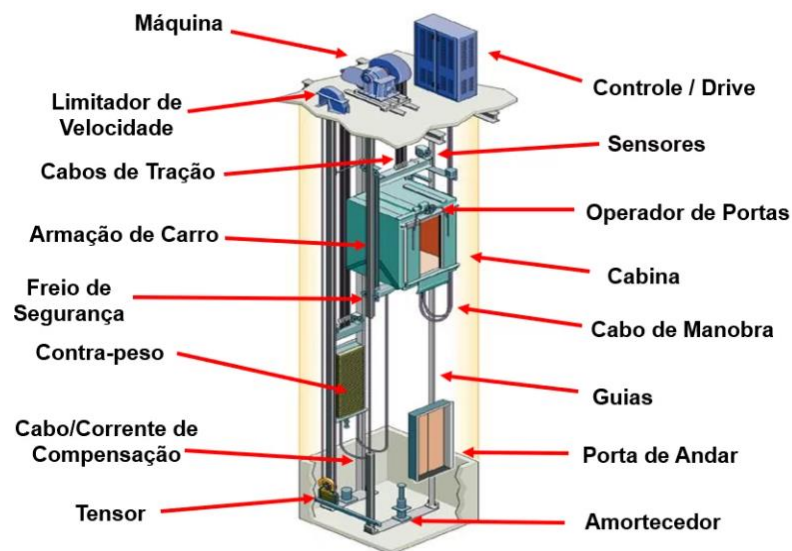
O contrapeso auxilia o motor para movimentar a cabina, contribuindo para reduzir a energia do motor na locomoção da cabina.

2.2.7 Poço

É o local destinado para a parte inferior da caixa de corrida. No poço, há diversos equipamentos e componentes de segurança instalados, como interruptores, polias, limites e para-choques.

Por fim, a Figura 4 mostra a maioria dos componentes que estão dentro do elevador.

Figura 4 - Componentes do Elevador



Fonte: Otis

2.3 MOTORES

2.3.1 Motores de Corrente Contínua

Os motores de corrente contínua, conhecidos também como motores CC, são utilizados em vários ramos da indústria. Porém, os motores CC vêm perdendo mercado ao longo dos anos, uma vez que, a evolução no estudo da corrente alternada, proporcionou a substituição dos motores CC por motores de indução ou motores síncronos acionados por inversores. Contudo, os motores de corrente contínua ainda são usados nas aplicações que demandam uma larga faixa de velocidades ou controle preciso de velocidade ou posição na saída do motor (GONÇALVES, 2013).

Um motor CC consiste em uma parte rotativa, conhecida como rotor, e uma parte estacionária, conhecida como estator. No rotor, há o enrolamento de armadura,

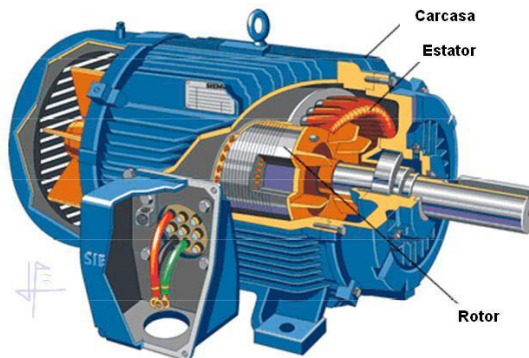
que consiste em várias bobinas conectadas entre si para formar um laço fechado. O estator é responsável por gerar um fluxo magnético que atravessa a armadura, por meio dos enrolamentos de campo ou ímãs permanentes. A partir dessa interação, é criado um campo de excitação com polos norte e sul. Esse processo é fundamental para o funcionamento adequado da máquina e pode ser entendido como a base do princípio de funcionamento dos motores elétricos. (CHAPMAN, 2013).

2.3.2 Motor de Indução

O motor de indução, conforme visto na Figura 5, é um motor assíncrono, oposto aos motores síncronos, devido a velocidade do rotor ser menor que a velocidade do campo girante. A diferença de rotação entre o campo magnético rotativo da armadura e o rotor faz com que sejam induzidas forças eletromotrizes no rotor curto-circuitado, havendo assim circulação de correntes no mesmo. Essas correntes produzem um campo magnético que interage com o campo magnético da armadura, resultando na rotação do rotor (FITZGERALD, 2014).

A corrente do rotor é determinada pela magnitude dessas forças eletromotrizes induzidas na impedância do rotor na frequência de escorregamento. O campo magnético gerado pela corrente do rotor gira na mesma velocidade que o campo magnético do estator, resultando em um conjugado de partida que tende a fazer com que o rotor gire na direção de rotação do campo magnético induzido pelo estator. Se o conjugado for suficiente para superar o conjugado resistente da carga no eixo, o motor atinge gradativamente a velocidade de operação. Porém, a velocidade não corresponde à velocidade síncrona, pois, neste caso, o campo magnético do rotor permanecerá inalterado em relação ao campo magnético do estator, e nenhuma indução de corrente ocorrerá, portanto, nenhum conjugado ocorrerá. (CHAPMAN, 2013).

Figura 5 - Motor de Indução



Fonte: <<https://www.eleetrovalmotores.com.br/motores-eletricos-inducao>>.

2.3.3 Motor Síncrono de Ímãs Permanentes de Terras Raras

Ímãs permanentes são capazes de manter o fluxo magnético por tempo elevado. Uma das principais aplicações desses ímãs de terras raras é para a construção do rotor de máquinas síncronas.

Pode-se utilizar motores síncronos de ímãs permanentes para qualquer aplicação que se utiliza motores de indução, devido a algumas limitações dos motores de indução. Os motores síncronos de ímãs permanentes são mais eficientes para uma maior faixa de velocidades. Geralmente se usa ímãs permanentes de terras raras em máquinas de pequeno porte, pois a possibilidade de controlar a corrente de campo é sacrificada para elevar a consistência e simplicidade do sistema. O verdadeiro ganho, porém, é que este método torna desnecessário o uso de sistemas de excitação, que aumentam drasticamente o preço desse tipo de máquina. Os ímãs permanentes de terras raras tem propriedades que possibilitam reduzir perdas e por consequência elevar o rendimento, permitindo a construção de motores de ímãs permanentes de terras raras pequenos em relação a outros tipos de motores com o mesmo propósito, como por exemplo os motores de indução, justificando uma vantagem em relação a esses tipos de motores. No entanto esses ímãs de terras raras possuem desvantagens, uma das principais seria que esses ímãs são extraídos da natureza e são relativamente limitados. Como alternativa para contornar os altos custos pode-se utilizar ímãs cerâmicos, possibilitando assim preços mais competitivos. A aplicabilidade dos motores de ímãs permanentes os torna uma solução simples e confiável quando se requer alta eficiência e um alto conjugado de partida (DOS

SANTOS, 2015).

2.4 PERDAS

No mundo ideal, os motores elétricos deveriam operar com 100% da sua capacidade, porém, na prática não funciona dessa maneira. O rendimento é a relação entre a potência fornecida e a potência recebida. Algumas perdas são analisadas a seguir.

2.4.1 Perdas no ferro

As perdas no ferro são em decorrência das correntes parasitas, além das perdas por histerese.

As perdas por correntes parasitas, igualmente conhecidas como correntes de Foucault, estão relacionadas às perdas de potências, visto que as correntes que circulam através dos percursos fechados dentro do corpo de um material ferromagnético acabam por provocar perdas indesejáveis por aquecimento (SANTOS, 2006).

Assim, através da Equação 1, calcula-se as perdas no ferro ocasionadas pelas correntes de Foucault.

$$P = \frac{K \cdot f^2 \cdot B^2 \cdot t^2 \cdot V}{\rho} \quad (1)$$

Em que:

P é a perda por corrente de Foucault (em watts),

K é uma constante dependente do material e das unidades de medida,

f é a frequência do campo magnético (em hertz),

B é a densidade de fluxo magnético (em teslas),

t é a espessura do material (em metros),

V é o volume do material (em metros cúbicos),

ρ é a resistividade elétrica do material (em ohms por metro).

Além das perdas por correntes parasitas, pode-se citar as perdas por histerese. A perda por histerese ocorre devido ao fato que se gasta energia para mudar a orientação magnética dos domínios magnéticos dos materiais da máquina que estão sob influência de um campo magnético. Essa perda está relacionada à área do laço de histerese na curva B x H do material (DA ROSA, 2010).

Conforme Equação 2, calcula-se as perdas por histerese.

$$P = K \cdot f \cdot B^\beta \cdot H^\alpha \cdot V \quad (2)$$

Em que:

P é a perda por histerese (em watts)

K é uma constante dependente do material

f é a frequência de magnetização (em hertz)

B é a densidade de fluxo magnético (em teslas)

H é a intensidade do campo magnético (em ampères por metro)

V é o volume do material (em metros cúbicos)

α e β são expoentes de perda, que dependem do material e da faixa de frequência

2.4.2 Perda por atrito e ventilação

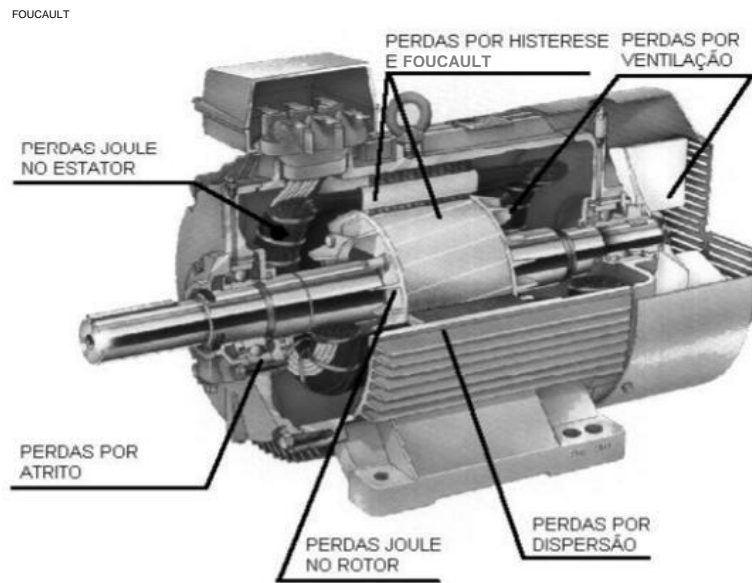
Segundo DA ROSA (2014), as perdas por atrito e ventilação estão relacionadas às perdas no sistema de transmissão e ventilação. Normalmente se constituem da menor parcela de perdas em motores. Podem ser também denominadas de perdas mecânicas.

2.4.3 Perdas por Efeito Joule

As perdas por Joule são o resultado do efeito joule nas resistências elétricas dos enrolamentos do estator e da gaiola do rotor (DA ROSA, 2010).

Conforme visto na Figura 6, pode-se visualizar algumas perdas situadas acima.

Figura 6 - Motor com a localização das suas perdas



Fonte: <<http://www.ifba.edu.br/PROFESSORES/castro/motores1.pdf>>.

Assim, conforme o Quadro 1, apresenta-se as os tipos de perdas e a contribuição de cada perda, assim como alternativas para redução.

Quadro 1 - Distribuição das perdas e como reduzi-las

Tipo de Perda	Percentual de Contribuição	Como Reduzir
Perdas no Ferro	15 a 25%	Alongamento do núcleo e pelo uso de laminação mais fina no núcleo.
Perdas Mecânicas	5 a 15%	Desenvolvimentos de ventiladores mais eficientes, mancais e rolamentos de baixo atrito.
Perdas Joule no Estator	25 a 40%	Aumentar a bitola dos condutores, melhoria do desenho das ranhuras para comportar maior inserção de cobre.
Perdas Joule no Rotor	15 a 25%	Aumento da quantidade de alumínio, aumento do tamanho das barras condutoras no rotor.

Fonte: VIEIRA, 2017.

3 METODOLOGIA

3.1 ELEVADOR E SUAS CARACTERÍSTICAS

3.1.1 Breve história

O elevador, localizado no prédio do curso de Engenharia Elétrica da UFRGS, é um equipamento muito antigo. O edifício, inaugurado em 1908, não contava com um elevador até meados de 1951, quando um novo pavimento foi construído e o elevador foi instalado. Devido à falta de informações da universidade, não há registros oficiais da data de inauguração do elevador, mas é presumido que tenha ocorrido entre os anos de 1951 e 1960.

Conforme visto na Figura 1, o elevador tem prestado serviços na universidade há mais de seis décadas.

Figura 7 - Elevador do prédio do curso de Engenharia Elétrica da UFRGS



Fonte: Elaboração própria.

3.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Devido à idade avançada do elevador presente no edifício do curso de Engenharia Elétrica, há uma falta de informações sobre seu funcionamento. No entanto, após contatar a empresa responsável pela manutenção, foram obtidas

informações relevantes sobre as características do elevador, as quais podem ser encontradas na Quadro 2.

Quadro 2 - Características do elevador

Dados do Elevador			
Prédio:	UFRGS - Engenharia Elétrica	Marca:	Atlas 6817
Cidade:	Porto Alegre	Capacidade:	8 pessoas
Bairro:	Centro	Capacidade:	560 kg

Fonte: Elaboração própria.

3.3 METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS

Este projeto visa analisar o desempenho do elevador do prédio de Engenharia Elétrica sob diferentes condições de ocupação. Para isso, serão realizados cinco experimentos, sendo que em cada experimento, o elevador irá dar uma volta completa, saindo do térreo até o segundo andar do prédio e, por fim, voltando ao térreo. A seguir, descreveremos o procedimento para a coleta de dados em cada experimento:

Experimento 1

- Configuração: Nenhum colaborador dentro do elevador.
- Coleta de Dados: Realizar uma única coleta de dados.
- Dados a serem coletados: Energia gasta em kWh.

Experimento 2

- Configuração: 1 colaborador dentro do elevador.
- Coleta de Dados: Realizar uma única coleta de dados.
- Dados a serem coletados: Energia gasta em kWh.

Experimento 3

- Configuração: 2 colaboradores dentro do elevador.
- Coleta de Dados: Realizar três coletas de dados.
- Dados a serem coletados: Energia gasta em kWh.

Experimento 4

- Configuração: 3 colaboradores dentro do elevador.

- Coleta de Dados: Realizar três coletas de dados.
- Dados a serem coletados: Energia gasta em kWh.

Experimento 5

- Configuração: 4 colaboradores dentro do elevador.
- Coleta de Dados: Realizar três coletas de dados.
- Dados a serem coletados: Energia gasta em kWh.

Considerações gerais

- Todos os colaboradores envolvidos nos experimentos serão informados sobre o objetivo e a relevância do estudo.
- As coletas de dados serão realizadas no mesmo dia.
- Serão utilizados instrumentos de medição apropriados para registrar a energia gasta.
- Os resultados de cada coleta de dados serão cuidadosamente documentados para permitir uma análise precisa posteriormente.

3.4 EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

3.4.1 Medidor Fluke

O Fluke 434-II é um analisador de qualidade de energia elétrica que oferece uma ampla gama de recursos e funcionalidades para a análise e solução de problemas de qualidade de energia em instalações elétricas industriais e comerciais.

Algumas das principais características deste equipamento incluem:

- **Medição de fator de potência:** É capaz de medir o fator de potência de um sistema elétrico e fornecer informações sobre a eficiência do sistema. Além disso, pode ajudar a identificar problemas de baixo fator de potência que possam estar causando sobrecarga em equipamentos elétricos.
- **Monitoramento de tensão:** É capaz de monitorar a tensão de um sistema elétrico e fornecer informações sobre flutuações e interrupções de tensão. Também é utilizado para identificar problemas de baixa tensão que possam estar afetando o desempenho de equipamentos elétricos.

- **Análise de desequilíbrio de tensão:** O Fluke 434-II pode ser utilizado para medição e análise do desequilíbrio de tensão em um sistema elétrico. Ele pode detectar a presença de desequilíbrios de tensão e fornecer informações sobre a magnitude e a fase de cada desequilíbrio.

Figura 8 - Medidor Fluke 434-II



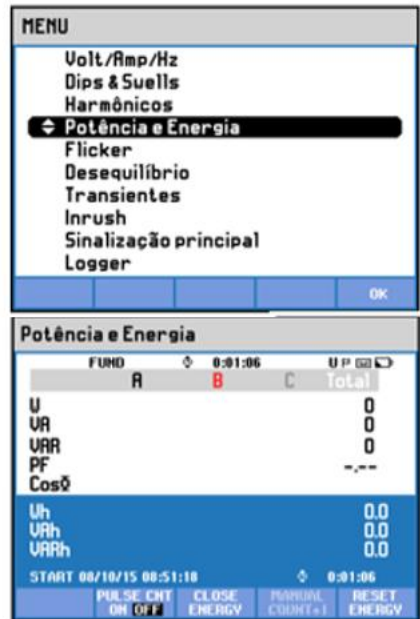
Fonte: Elaboração própria.

3.5 PROCEDIMENTO PARA COLETA DE DADOS

Na realização da coleta de dados, procurou-se realizar o experimento em uma sexta-feira, dia em que o prédio tem menos movimentação de alunos e colaboradores.

A Figura 9 apresenta o processo utilizado para efetuar medições durante o teste de percurso do elevador. Cabe o destaque para a presença de um técnico especializado em elevadores é obrigatória, devido aos riscos de choques elétricos e outras anomalias que podem ocorrer durante o monitoramento e a coleta de dados do elevador.

Figura 11 - Menu de seleção



Fonte: Fluke 434-II.

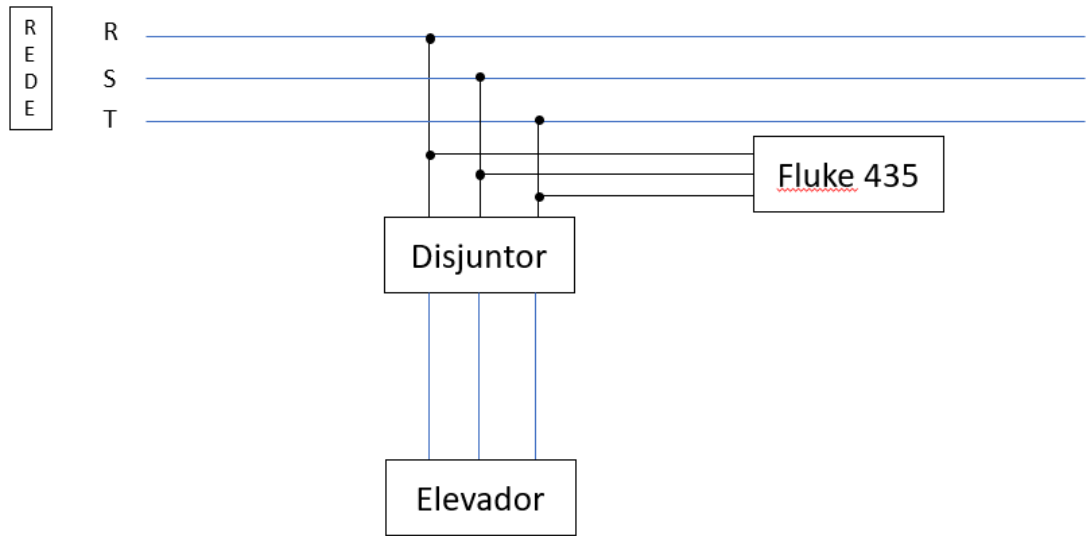
3.6 LOCAL DE MEDIÇÃO

A medição dos resultados aconteceu na casa de máquinas, situada no último pavimento do edifício. A equipe responsável contou com engenheiros e docentes da universidade.

3.7 CONEXÃO DO MEDIDOR NO CIRCUITO DO ELEVADOR

Na Figura 12, pode ser visto o diagrama utilizado para determinar os valores do consumo de energia em elevadores. O medidor é conectado tanto no disjuntor do elevador, quanto a rede elétrica.

Figura 12 - Diagrama de medição de energia do elevador



Fonte: Elaboração própria.

4. RESULTADOS

Abaixo, encontra-se os resultados obtidos para os cinco experimentos realizados.

4.1 EXPERIMENTOS

4.1.1 Experimento 1: Elevador sem Colaborador

Quadro 3 - Dados da massa total e energia envolvida no experimento 1

Experimento 1	Massa do Elevador em (kg)	Energia (kWh)
	560	0,252

Fonte: Elaboração própria.

4.1.2 Experimento 2: Elevador com Um Colaborador

Quadro 4 - Dados da massa total envolvida no experimento 2

Experimento 2	Massa do Elevador em (kg)	Massa do Colaborador 1 em (kg)
	560	71

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 5 - Dados de energia de cada medição no experimento 2

Experimento 2	Energia (kWh)
	0,273

Fonte: Elaboração própria.

4.1.3 Experimento 3: Elevador com Dois Colaboradores

Quadro 6 - Dados da massa total envolvida no experimento 3

Experimento 3	Massa do Elevador em (kg)	Massa do Colaborador 1 em (kg)	Massa do Colaborador 2 em (kg)
	560	71	94

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 7 - Dados de energia de cada medição no experimento 3

Experimento 3	Coleta de dados 1 (kWh)	Coleta de dados 2 (kWh)	Coleta de dados 3 (kWh)
	0,277	0,278	0,275

Fonte: Elaboração própria.

4.1.4 Experimento 4: Elevador com Três Colaboradores

Quadro 8 - Dados da massa total envolvida no experimento 4

Experimento 4	Massa do Elevador em (kg)	Massa do Colaborador 1 em (kg)	Massa do Colaborador 2 em (kg)	Massa do Colaborador 3 em (kg)
	560	71	94	70

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 9 - Dados de energia de cada medição no experimento 4

Experimento 4	Coleta de dados 1 (kWh)	Coleta de dados 2 (kWh)	Coleta de dados 3 (kWh)
	0,282	0,281	0,287

Fonte: Elaboração própria.

4.1.5 Experimento 5. Elevador com Quatro Colaboradores

Quadro 10 - Dados da massa total envolvida no experimento 5

Experimento 5	Massa do Elevador em (kg)	Massa do Colaborador 1 em (kg)	Massa do Colaborador 2 em (kg)	Massa do Colaborador 3 em (kg)	Massa do Colaborador 4 em (kg)
	560	71	94	70	91

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 11 - Dados de energia de cada medição no experimento 5.

Experimento 5	Coleta de dados 1 (kWh)	Coleta de dados 2 (kWh)	Coleta de dados 3 (kWh)
	0,289	0,291	0,292

Fonte: Elaboração própria.

4.2 FREQUÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO ELEVADOR

Para estimar em quais horários os alunos e colaboradores utilizam o elevador do prédio, realizou-se algumas aferições, conforme Quadro 12.

Quadro 12 - Modo e frequência de utilização do elevador

Dia	Horário	Pessoas que subiram de elevador	Pessoas que desceram de elevador	Total
27/03/2023	18h15 até 18h30	5	2	7
28/03/2023	8h15 até 8h30	9	6	15
28/03/2023	10h15 até 10h30	7	4	11
29/03/2023	13h15 até 13h30	3	2	5

Fonte: Elaboração própria.

5. ANÁLISE DE DADOS

5.1 ANÁLISE DE DADOS DOS EXPERIMENTOS

Quadro 13 - Resumo Gasto energético (kWh)

Experimento	1	2	3	4	5
Média	0,2520	0,2730	0,2767	0,2833	0,2907
Mediana	0,2520	0,2730	0,2730	0,2820	0,2910
Colaboradores	0	1	2	3	4

Fonte: Elaboração própria

Com os dados médios da energia gasta em cada experimento, pode-se obter uma média geral do valor gasto do elevador, sendo esse dado muito importante para experimentos futuros. Assim, chegamos a um gasto médio dos 5 experimentos.

$$\text{Gasto médio por viagem} = \frac{0,2520 + 0,2730 + 0,2767 + 0,2833 + 0,2907}{5} = 0,2751$$

Com a energia média por experimento obtida, junto do número de colaboradores por experimento, procura-se encontrar o coeficiente de correlação de Pearson, conforme Equação 3, para entender se o aumento no número de colaboradores está relacionado ao aumento da energia média gasta por experimento.

$$\rho = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sqrt{\text{var}(x)\text{var}(y)}} \quad (3)$$

Assim, calcula-se o coeficiente de correlação de Pearson para o número de colaboradores e a energia média gasta por experimento.

$$\rho = \frac{0,017533333}{\sqrt{2 \cdot 0,000170116}} = 0,950555497$$

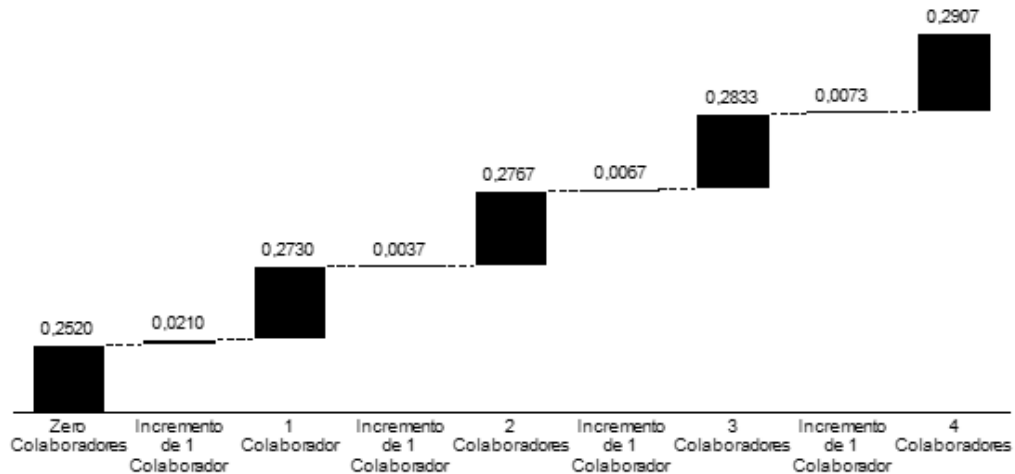
O resultado obtido é um coeficiente de correlação de Pearson de 0,9505.

Segundo a teoria do coeficiente de correlação de Pearson, se o resultado for maior ou igual a 0,90, indica que há uma correlação muito forte entre os dados (TRIOLLA, p. 236 – 238, 1999). Com isso, conclui-se que o aumento no número de colaboradores no elevador está relacionado ao aumento da energia média por

experimento.

Sabe-se que o aumento no número de colabores no elevador está relacionado ao aumento da energia média por experimento, consegue-se encontrar o incremento médio de 1 colaborador a cada experimento, conforme visto na Figura 13.

Figura 13 - Energia média gasta no acréscimo de mais um colaborador



Fonte: Elaboração própria.

5.2 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO ELEVADOR

Com os dados obtidos no Quadro 12, reorganizou-se as informações com o objetivo de analisar os períodos do dia em que há maior utilização do equipamento, conforme Quadro 14.

Quadro 14 - Análise de frequência de utilização por turno

Média	Colaboradores que subiram de elevador	Colaboradores que desceram de elevador	Total
Manhã	8	5	13
Tarde	5	2	7
Noite	3	2	5

Fonte: Elaboração própria.

Com isso, procura-se utilizar o conceito de moda estatística para entender melhor esses dados. A moda estatística é um conceito importante em estatística que representa o valor mais frequente em um conjunto de dados.

A moda também pode ser utilizada para representar dados em uma distribuição de frequência. Em uma distribuição de frequência, a moda é o valor com a maior

frequência absoluta ou relativa. A frequência absoluta é o número de vezes que um determinado valor aparece em um conjunto de dados, enquanto a frequência relativa é a proporção que um determinado valor representa em relação ao conjunto total de dados.

6 CONCLUSÃO

Por fim, este projeto demonstrou que a utilização do elevador do prédio da Engenharia Elétrica da UFRGS e o número de pessoas dentro em cada viagem são fatores críticos para determinar o gasto energético do sistema. Como era de se esperar, quanto maior a utilização do elevador e maior o número de pessoas dentro, maior é o gasto energético necessário para o seu funcionamento.

Junto disso, entende-se com os dados analisados que o período da manhã é o mais utilizado para a utilização do elevador, sendo que os alunos e colaboradores do prédio o utilizam com mais frequência para subir ao invés de descer com o equipamento.

Além disso, junto do custo de cada viagem, também devemos levar em conta o consumo de energia constante do elevador para avaliar seu impacto ambiental e os custos associados.

Em resumo, o estudo ressalta a importância de desenvolver e implementar estratégias eficientes de gerenciamento de energia para o elevador, a fim de reduzir o consumo de energia da UFRGS e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

Uma proposta de solução viável é a instalação de placas de fácil visualização ao redor da escada em que informem a quantidade de energia economizada pela utilização da escada ao invés do elevador.

Com base nos resultados deste estudo, recomenda-se que sejam realizados mais estudos para explorar outras maneiras de otimizar o consumo de energia do elevador, como a implementação de tecnologias de recuperação de energia.

REFERÊNCIAS

ABESCO, **Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Conservação de Energia. Brasil desperdiça meia Itaipu por ano.** Maio de 2018. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/novidade/brasil-desperdica-meia-itaipu-por-ano/>>. Acesso em 15 dez. 2022.

BARNES, M. ***Practical Variable Speed Drives and Power Electronics***. London: Elsevier, 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia horizonte 2050.** (PNE 2050). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

CHAPMAN, S. **Fundamentos de máquinas elétricas**, 5ª ed., 2013.

DA ROSA, Ricardo Schäffer. **Eficiência energética em elevadores e um estudo teórico prático do uso de uma unidade regenerativa de energia em elevadores comerciais.** PUCRS, 2010.

DOS SANTOS, Otavio. **Comparação entre motores de indução e motores de ímãs permanentes.** UFRGS, 2015. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/134905/000988250.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 27 dez. 2022.

FITZGERALD A. E.; KINGSLEY Jr.; **Máquinas elétricas**, 7ª ed., 2014.

GONÇALVES, Marcell Nunes. **Implementação de um driver para motor de corrente contínua.** UFRJ, 2013. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9736/1/monopoli10007417.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2022.

IEA. – International Energy Agency. **Key World Energy Statistics**, 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>>. Acesso em 06 out. 2022.

LAMPIS, Andrea et al. **Dossiê de Energia.** 2022. Abril de 2022. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/publications/portuguese/viewer/Dossier-de-Energia-2022.-Brasil-um-foco-no-setor-eletrico.pdf>>. Acesso em 01 jan. 2023.

SANTOS, LUCIANO. **Cálculo das Perdas Técnicas dos Transformadores de Distribuição, Operando em Ambiente Não-Senoidal.** UNESP, 2006. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/167-dissertacao_luciano_dos_santos.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2022.

SIMABUKULO, L. A. N. *et al.* **Energia, industrialização e modernidade – HISTÓRIA SOCIAL.** Disponível em: <<http://www.energiaesaneamento.org.br/media/63129/03.pdf>>. Acesso em 06 out. 2022.

THYSSENKRUPP ELEVADORES. **Como o elevador pode economizar energia?** 2020. Disponível em: <<https://blog.br.tkelevator.com/saiba-como-economizar-energia-com-o-elevador/>>. Acesso em 01 jan.2023.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística.** 7. ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, Editora S.A.,1999.

TROLLER, Eduardo. **Eficiência Energética em Elevadores.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Projeto de Diplomação), 2015.

UFRGS. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul.** Disponível em<<http://www.ufrgs.br/english/the-university/facts-and-figures>>. Acesso em 01 jan. 2023.

VIEIRA, Fábio de Araújo. **Eficiência energética em elevadores e um estudo teórico prático do uso de uma unidade regenerativa de energia em elevadores comerciais.** PUCRS, 2017.

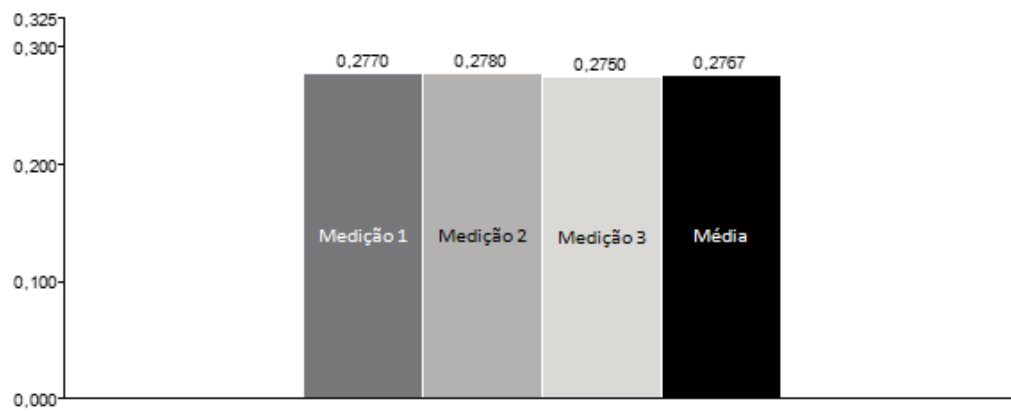
APÊNDICE A – Análises do experimento 1 e 2

Experimento 1
Média do Gasto Energético: 0,2520 kWh
Mediana do Gasto Energético: 0,2520 kWh
Desvio Padrão do Gasto Energético: 0 kWh
Colaboradores: 0

Experimento 2
Média do Gasto Energético: 0,2730 kWh
Mediana do Gasto Energético: 0,2730 kWh
Desvio Padrão do Gasto Energético: 0 kWh
Colaboradores: 1

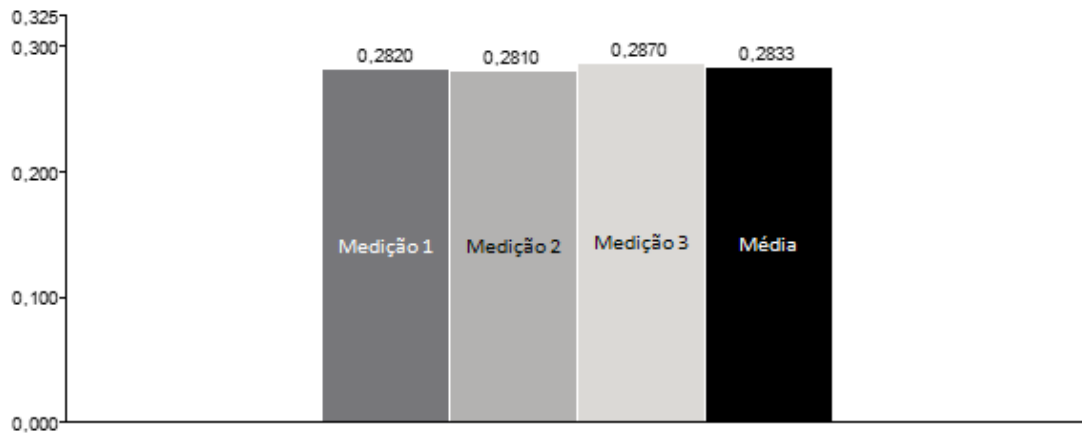
APÊNDICE B – Análises do experimento 3

Experimento 3
Média do Gasto Energético: 0,2767 kWh
Mediana do Gasto Energético: 0,2730 kWh
Desvio Padrão do Gasto Energético: 0,0013 kWh
Colaboradores: 2



APÊNDICE C – Análises do experimento 4

Experimento 4
Média do Gasto Energético: 0,2833 kWh
Mediana do Gasto Energético: 0,2820 kWh
Desvio Padrão do Gasto Energético: 0,0024 kWh
Colaboradores: 3



APÊNDICE D – Análises do experimento 5

Experimento 5
Média do Gasto Energético: 0,2907 kWh
Mediana do Gasto Energético: 0,2910 kWh
Desvio Padrão do Gasto Energético: 0,0012 kWh
Colaboradores: 3

