

SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO MOVIMENTO DA CABINA DO ELEVADOR

Marcio Fernando Maschio¹
Fabiano Faller²
Keila Daiane Ferrari Orso³

RESUMO

Para driblar as crises energéticas registradas nas últimas décadas, criar alternativas para geração de energia é fundamental. Evidencia-se a verticalização das cidades através da evolução da expansão urbana, o que faz com que o uso de elevadores seja crescente e insubstituível. É por isso que nesse estudo foi apresentada uma proposta para geração de energia elétrica através do movimento da cabina de um elevador, utilizando-se de um gerador mecânico. São produzidos 1320W desconsiderando as perdas, sendo que a demanda necessária para a alimentação da cabina é de 1100W. A taxa de retorno do investimento simples é de aproximadamente vinte e quatro meses.

Palavras-chave: Elevador. Geração energia elétrica. Tecnologia sustentável.

1 INTRODUÇÃO

A procura por tecnologias sustentáveis que possam reduzir o impacto do aumento desenfreado da energia elétrica é essencial perante a escassez energética no mundo. Em função do modelo energético adotado pelos países industrializados ser fundamentado no uso de recursos não renováveis, a crise energética é uma realidade que tende a se agravar. Nessa conjuntura, a busca por alternativas para não depender de recursos finitos é essencial e as energias renováveis aparecem como alternativa para diminuir os efeitos dessa crise. (GOLDEMBERG, 2003)

O crescimento urbano desorganizado é um dos motivos pelo agravamento da situação energética e a verticalização das cidades faz com que a instalação de elevadores seja essencial (PARENTE, 2007). Ademais, a produção de energia elétrica através do movimento da cabina de um elevador é muito atrativa, pois se trata do aumento da demanda energética para o equipamento de modo sustentável, uma vez que aproveitar-se-á o movimento já realizado pelo elevador, fornecendo energia elétrica para seu próprio consumo.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica - UCEFF. E-mail: mmaschio@tsur.com.br.

² Docente do curso de Engenharia Elétrica da UCEFF. E-mail: fabiano.faller@uceff.edu.br.

³ Docente do curso de Engenharia Mecânica da UCEFF. E-mail: keilaorso@hotmail.com.

Em virtude dessa busca, elevadores são fontes de energia exploráveis, visto que com crescente aumento de edifícios nas cidades são meios de transporte impossíveis de serem substituídos. E o estudo de aproveitamento do movimento que a cabina do elevador faz para gerar energia elétrica para seu consumo, torna-se lógico e promissor. Com base nesse cenário pergunta-se: **Qual a viabilidade da implementação dessa tecnologia em elevadores?**

Objetivando o desenvolvimento do trabalho, foram realizados estudos que permitiram compreender o funcionamento do processo de aproveitamento de energia através do movimento da cabina, com base em conceitos de eletricidade, eletromecânica e eletromagnetismo determinantes para o entendimento da conversão de energia mecânica em energia elétrica. O estudo permite averiguar o *payback*⁴ simples de investimento financeiro do projeto.

2 ELEVADORES

Por definição, elevadores são dispositivos usados no transporte vertical de qualquer tipo de carga, isto é, pessoas ou bens. Para o dimensionamento dos elevadores, diferentes estudos e cálculos devem ser realizados em função das características especificadas de cada projeto (BELLIS, 2010).

Segundo o site Theinventors (2017)⁵, em 235 a.C. Arquimedes criou um guindaste que funcionava com polias e cordas que eram enroladas em um tambor através de um sarilho de eixo vertical e alavancas. Já, em 200 a.C., o uso de sistemas de engrenagens tornou-se realidade na China, Egito e Grécia. Cem anos depois Vitruvius, arquiteto e engenheiro romano, criou o primeiro guincho manual, considerado o primeiro elevador de cargas.

Dal Monte (2000), afirma que devido a expansão do Império Romano, várias tecnologias difundiram-se entre os povos conquistados e o uso de elevadores primitivos acabou se tornando relativamente comum entre o alto clero. No ano de 64 a.C., Nero instalou um elevador em seu palácio imperial com características técnicas impressionantes: tração por cabo, cabina guiada por guias e percurso de 40 metros. O transporte vertical de cargas viabilizou em 100 d.C. a construção do mais antigo castelo do mundo em Godan, no Iêmem, com 20 andares.

⁴ *Payback* simples é o tempo que decorre entre o investimento inicial do projeto e o momento em que o fluxo de caixa se iguala ao valor do investimento, denominado de retorno do investimento.

⁵ BELLIS, M. History of the Elevator. **Theinventors**. Disponível em: <http://theinventors.org/library/inventors/blelevator.htm>. Acesso em 25 set. 2017.

Ainda de acordo com Dal Monte (2000), pela progressão dos avanços e novos inventos, em 1400 foram publicadas as invenções de Konrad Keiser referente ao elevador eólico com fins militares. Em 1411, há citação concernente ao teleférico para o uso ibérico. Já na Idade Moderna, o Papa Leão X que possuía limitações para locomover-se, instalou um equipamento em sua casa que ficaria conhecido como a “cadeira voadora”. Em 1567 na Alemanha, são utilizados elevadores manuais para o transporte de pessoas. O uso crescente dos elevadores pode ser verificado em 1590 na construção da maioria dos prédios.

A revolução industrial fez com que novas invenções surgissem como o elevador instalado no Palácio Imperial da Rússia em 1793, utilizando tecnologia de fuso. Com o advento da máquina à vapor em 1800, o motor a vapor começou a ser utilizado para içar o elevador. Em 1823, Briquet projeta e constrói o elevador hidráulico, utilizando um tanque móvel com água como contrapeso entre as massas. O primeiro acionamento mecânico foi criado em 1830 na Inglaterra, movido por máquinas a vapor e a abertura/fechamento das portas era todo manual, todavia era muito lento (cerca de 1 m/s) (MEZZARANO, 1999).

De acordo com Dal Monte (2000), em razão desse problema de velocidade, em 1853 o americano Elisha Graves Otis apresentou o primeiro elevador com freios de segurança e um sistema de tração movido por uma máquina à vapor com dois cilindros verticais. Quatro anos depois, é instalado o primeiro elevador para transporte de passageiros com capacidade de transportar 450 Kg e alcançar a velocidade de 0,2 m/s.

Após a criação da Cia Otis em 1889, surge o primeiro elevador elétrico de utilização comercial em Nova Iorque. Esse novo período que sucede ao primeiro elevador elétrico, a tecnologia dos elevadores passa a determinar a intensidade do crescimento da construção civil, com prédios cada vez maiores e mais altos. Os primeiros elevadores comerciais com portas automáticas foram instalados em 1950 no Texas, Estados Unidos.

2.1 FUNCIONAMENTO DOS ELEVADORES

O princípio básico é similar à máquina que foi inventada em 1853 pelo americano Elisha Graves Otis, quando o mesmo apresentou o primeiro elevador com freios de segurança e um sistema de tração movido por uma máquina a vapor com dois cilindros verticais. Basicamente pode-se separar um elevador convencional em quatro componentes principais: cabina, cabos de tração, contrapeso e máquina. A cabina fica conectada ao contrapeso através dos cabos de tração, sendo movida pelo motor (SCHINDLER, 2001).

Figura 1 - Elevador



Fonte: A corrente de compensação (2018).⁶

Segundo Dal Monte (2000), a cabina é montada sobre uma plataforma e fixada em cabeçotes. O contrapeso é constituído de uma estrutura metálica onde são fixados pesos de tal forma que o mesmo tenha peso total igual ao da cabina acrescido de 40 a 50% da capacidade nominal do equipamento. A cabina e o contrapeso deslizam pelas guias através das corredeiras. Ambos são presos por cabos de aço ou fitas de aço revestidas de poliuretano que passam por polias instaladas na casa de máquina ou na parte superior da caixa de corrida.

Através da máquina de tração que imprime rotação às polias, o movimento da cabina e contrapeso acontece. A redução e aceleração do conjunto ocorrem através de contactoras, em elevadores antigos e inversores de frequência, em equipamentos atualizados. O freio da máquina de tração é utilizado apenas para estacionamento, similar ao freio de mão em veículos automotores. Além disso, o equipamento é dotado de um freio de segurança para situações emergenciais (SCHINDLER, 2001).

2.2 ENERGIA ELÉTRICA

⁶Figura disponível no site:

<http://hapeelevadores.blogspot.com/2011/06/corrente-de-compensacao.html>. Acesso em 20 julho de 2018.

Por ser a modalidade de energia mais consumida no país, a energia elétrica se destaca no cenário nacional, todavia a taxa de investimento no setor não é proporcional ao incremento do consumo da mesma. A energia elétrica gerada é uma conversão da energia que está presente na natureza (sol, água, vento, calor do vapor, etc) em uma forma de energia adequada a nossa utilização.

Como é um dos alicerces da sociedade moderna Sebrae (2005), afirma que a energia elétrica se tornou vital para todos os meios de transformação existentes. Apesar de todo avanço tecnológico, continua-se dependente dos rios para a geração da mesma já que aproximadamente 84% da energia elétrica provêm de recursos hídricos.

2.2.1 Conceitos e princípios fundamentais de eletricidade e eletromagnetismo

Segundo Fitzgerald (1981), energia é a capacidade de realizar trabalho, e este pode ser analisado como uma transferência de energia. Apesar de energia e trabalho serem expressas nas mesmas unidades e serem confundidas, a potência difere-se por levar em conta o tempo gasto na realização do trabalho (GUSSOW, 2009).

Cabe ressaltar alguns conceitos referente à eletricidade, como por exemplo tensão elétrica, corrente elétrica, frequência elétrica, potência elétrica e campo elétrico. Tensão elétrica é a força capaz de mover elétrons ordenadamente em um condutor. De acordo com Van Valkenburg (1972), tensão elétrica é a pressão exercida em relação aos elétrons para que os mesmos se movimentem.

Gussow (2009), afirma que corrente elétrica é o movimento ou fluxo de elétrons. Para a produção de corrente, os elétrons devem se deslocar pela ação de uma diferença de potencial⁷. De acordo com Fitzgerald (1981), corrente elétrica é a taxa de passagem de carga. O deslocamento das cargas ou partículas eletricamente carregadas, para uma determinada direção, em um único sentido. Frequência elétrica é a grandeza que indica a quantidade de vezes que a tensão elétrica varia em um determinado intervalo de tempo. Van Valkenburg (1972), relaciona frequência à quantidade de ciclos que se repetem em um segundo. Para Gussow (2009), potência elétrica é o produto entre tensão e a corrente elétrica, ou seja, a capacidade que uma carga possui de produzir trabalho. Pode-se ainda associá-la a razão entre a tensão elétrica elevada ao quadrado pela resistência elétrica.

⁷ Diferença de potencial é o trabalho feito para que as cargas elétricas sejam deslocadas entre dois pontos.

Segundo Gussow (2009), campo elétrico é o campo determinado em todos os pontos do espaço sobre a interferência de uma carga geradora de intensidade, a qual toda ela fica sujeita a uma força de interação exercida pelo campo elétrico, que por sua vez poderá atrair ou repelir um corpo. De acordo com Van Valkenburg (1972), a propriedade que os corpos têm de atrair materiais ferrosos é chamada de magnetismo. Estes corpos são conhecidos como magnetos ou imãs. Imãs são capazes de atrair materiais magnéticos e são classificados como naturais – encontrados na natureza e compostos por minério de ferro, ou como artificiais – adquiriram suas propriedades magnéticas pela ação de um imã natural ou devido ao efeito magnético da eletricidade.

2.2.2 Obtenção de energia elétrica

A preocupação em se manter o equilíbrio entre crescente demanda de energia elétrica e como obtê-la sem degradar o meio ambiente é crescente. A necessidade de diminuir os impactos ambientais aliados à busca por sustentabilidade, no que tange a obtenção de energia, é polêmica e envolve diversos interesses econômicos, sociais, ambientais e até políticos. Pela grande quantidade de impactos ambientais provocados por ações antropogênicas, o desenvolvimento sustentável é uma necessidade irreversível.

De acordo com Goldemberg (2003), as agressões realizadas pelo Homem ao meio ambiente ocorreram no século XX após a Revolução Industrial, pelo fato do crescimento populacional e, conseqüentemente, do aumento no consumo. Como a preocupação após a Revolução Industrial era alcançar o crescimento econômico e tecnológico, a exploração descontrolada dos recursos naturais ocorreu sem preocupações e/ou sem analisar as conseqüências das mesmas.

Ainda segundo Goldemberg (2003), esses impactos ambientais podem ser locais (poluição urbana do ar e poluição do ar em ambientes fechados), regionais (chuva ácida) ou globais (efeito estufa, desmatamento, degradação costeira e marinha). Acrescentam-se ainda impactos ligados à poluição sonora e impacto sobre a flora e fauna. Constata-se então, a relação direta entre problemas socioeconômicos e de saúde com os impactos ambientais.

Vislumbrando esses problemas, o uso de recursos renováveis é uma forma de reduzir os impactos ambientais provocados pela obtenção de energia elétrica. Nessa busca, alguns aspectos devem ser considerados como a garantia de suprimento, adaptação do uso racional de recursos, custo mínimo, valor agregado a partir do uso e os custos reais de energia.

Segundo o Relatório Especial sobre Energias Renováveis e Mitigação de Mudanças do Clima (SRREN) divulgado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, até 2050 necessitaremos que pelo menos 50% da energia primária do mundo seja produzida através de fontes renováveis para conter o aquecimento global, atualmente esse número é 13%.

No que tange o uso racional de recursos, uma parcela significativa e que representa 15,3% da energia elétrica consumida no país (93,6 TWh) são as perdas, em sua grande parte ocorridas da transmissão das centrais de geração até o consumidor final. Além disso, o uso indiscriminado de equipamentos elétricos e seu baixo rendimento incrementam ainda mais essas perdas, Itaipú (2018).

Considerando esse cenário, deve-se avaliar o uso de geradores de energia elétrica que utilizam a energia mecânica pois seu impacto ambiental é insignificante, não geram poluição e sua manutenção é barata. O primeiro gerador elementar foi inventado pelo físico e químico inglês Michael Faraday em 1831. O gerador consistia de um eletroímã que se movimentava dentro de uma espira, produzindo o aparecimento de uma força eletromotriz, necessária ao surgimento de tensão elétrica. O conceito físico por detrás dessa conversão de energia é a variação de fluxo magnético, definindo assim gerador como máquinas que transformam energia mecânica em energia elétrica, Itaipú (2018).

Reis (2003) conceitua um gerador mecânico de energia elétrica todo dispositivo cuja destinação da produção dessa energia, seja obtida à custa de energia mecânica. Geradores mecânicos são os mais comuns e eficientes na obtenção de energia elétrica do mercado. A procedência dessa fonte de energia mecânica pode ser obtida das mais diversas formas: combustão, água, vento, etc. Com a função de transformar energia mecânica em energia elétrica, o Dínamo é um gerador de corrente contínua composto essencialmente por um ímã fixo em um eixo móvel, sendo que ao redor do mesmo há uma bobina, todavia não existe contato físico entre a bobina e o ímã. A principal desvantagem do dínamo é que se necessita uma velocidade mínima de rotação do motor para que ele possa produzir tensão suficiente para alimentar os circuitos (VILLATE, 2009),

Já, o funcionamento do alternador, se baseia no princípio da geração de tensão por indução eletromagnética, transformando energia mecânica em elétrica. Nele a corrente elétrica fluirá por um rotor, criando um campo magnético que induzirá a movimentação dos elétrons nas bobinas do estator, fornecendo corrente alternada (VILLATE, 2009).

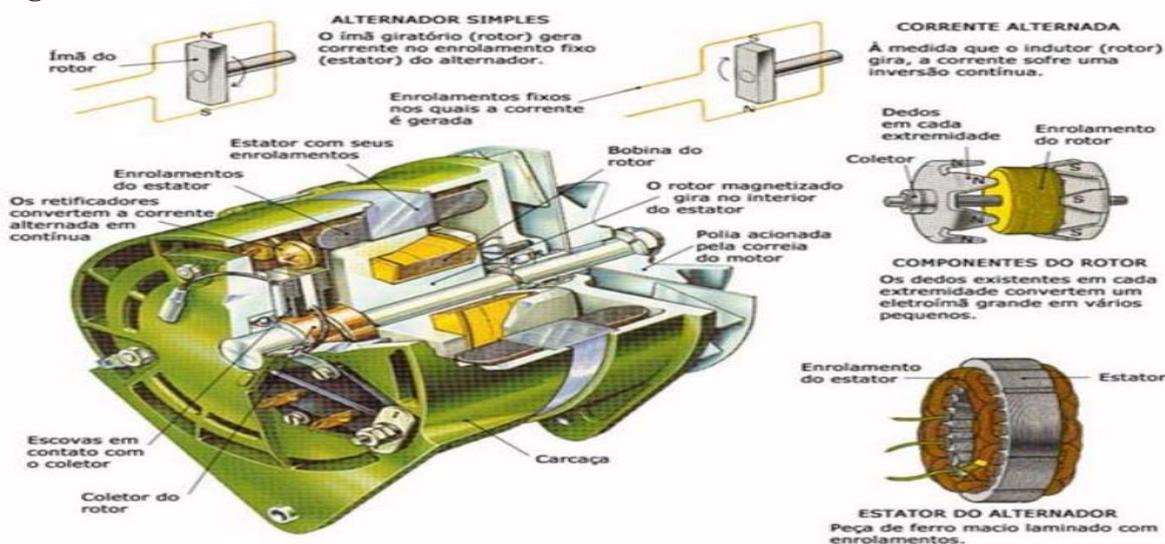
Segundo Martins (2013), o alternador é um gerador de corrente elétrica alternada, necessitando de um retificador de tensão para enviar ao sistema elétrico do conjunto a tensão

necessária para suprir sua demanda. Pode-se dividir o alternador nos seguintes componentes: carcaça, estator, rotor, anéis coletores, escovas, placa de diodos (retificador de tensão), polia e hélice de refrigeração.

A carcaça do alternador tem a função de proteger e dar suporte aos componentes internos. Normalmente é produzida de ligas leves e serve de mancal para o eixo do rotor, alojando o estator e a placa de diodos. Para Brunetti (2012), esta última necessita de refrigeração, motivo pelo qual é instalada uma hélice de refrigeração no mesmo eixo. Já o estator possui forma circular e ranhuras internas em todo seu perímetro. Entre as ranhuras ficam os fios de cobre esmaltado que formam a bobina do estator. Na bobina é induzida a corrente proveniente do rotor girando.

De acordo com Brunetti (2012), os anéis coletores possuem a função de guiar a corrente elétrica para a bobina de excitação montada no rotor. Pequenas peças feitas à base de carvão, as escovas alimentam os anéis coletores com a corrente, que através da placa de diodos regula a tensão, transformando a corrente alternada em corrente contínua. A polia que está montada na ponta do eixo do rotor do alternador, gira conforme a velocidade de rotação do motor. A Figura 1 ilustra o alternador, enfatizando seus principais componentes e ilustra seu funcionamento.

Figura 2 - Alternador



Fonte: Dentro do Alternador (2018).⁸

⁸ Figura retirada do site:

<http://4.bp.blogspot.com/7vJdU71Fq0c/UdUN5NvqbzI/AAAAAAAAAGk/wFUYK4Re9Eg/s604/DENTRO+D+O+ALTERNADOR.jpg>. Acesso em 29 abr. 2018.

Existem alguns fatores que influenciarão diretamente o desempenho do alternador como por exemplo a rotação, temperatura e fatores externos. O alternador deverá atingir o regime comum de rotações necessário para suprir a demanda, todavia quando trabalha em altas rotações tende a gerar vibração além de impor altas cargas centrifugas, fazendo que haja desgaste dos anéis coletores, rolamentos e escovas.

Além disso, a variação brusca de aceleração faz com que sejam gerados esforços sobre a correia de acionamento. Outros fatores como vibrações, poeira, contaminantes, altas temperaturas e umidade podem comprometer a vida útil do alternador (MARTINS, 2013).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica e um estudo de caso devido ao uso de prototipagem virtual do produto que teve como finalidade aproveitar o movimento da cabina do elevador para gerar energia elétrica. Além disso, foi utilizada a pesquisa exploratória pois teve como objetivo permitir maior proximidade com o problema, Marconi e Lakatos (2010)

Primeiramente foi analisada a correção da cabina do elevador para que se pudesse viabilizar a transmissão do movimento para o sistema de geração de energia elétrica. Para obter a rotação ideal do alternador, foi instalada uma polia no alternador criando uma relação mecânica de transmissão, podendo assim alcançar a rotação desejada. Foram calculadas as razões de transmissão através da Equação 1:

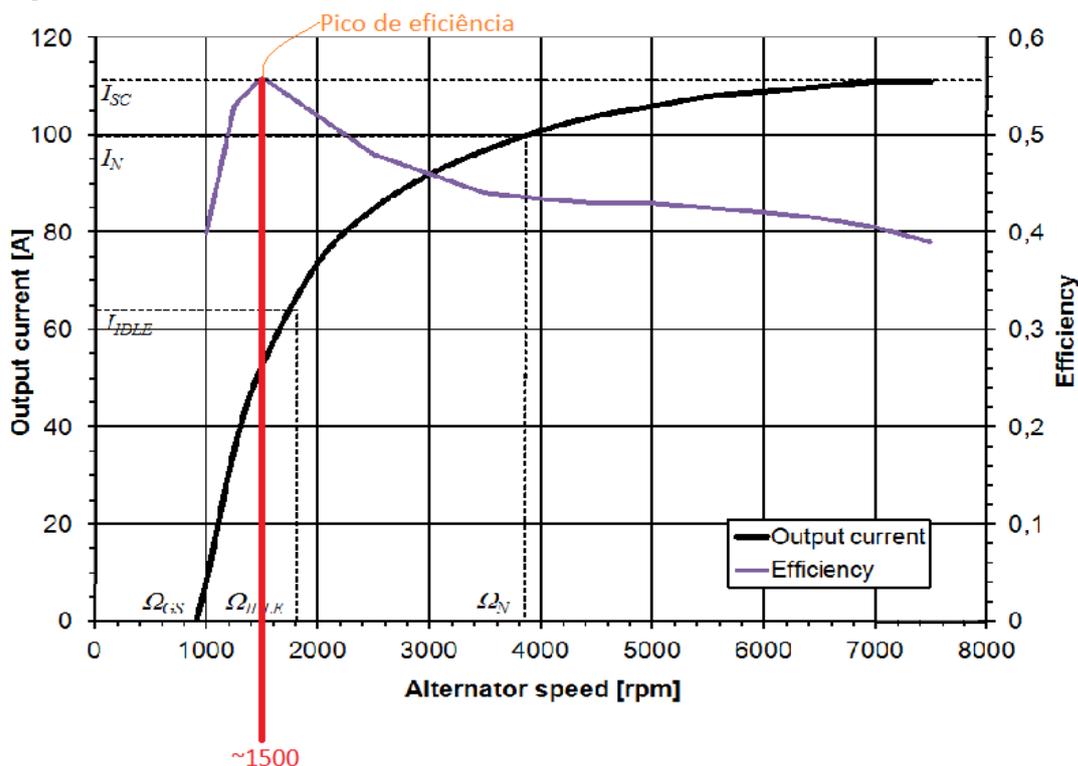
$$i = \frac{\text{Rotação da polia da correção}}{\text{Rotação desejado (gráfico)}} \quad (01)$$

Já, o diâmetro da polia do alternador foi encontrado do produto entre a relação citada anteriormente e o diâmetro da polia da correção, através da Equação 2:

$$\emptyset \text{ polia alternador} = \emptyset \text{ polia correção} * i \quad (02)$$

Através de pesquisa bibliográfica foi escolhido o alternador que se encaixava nos padrões de rotação da cabina, levando-se em consideração a curva de eficiência constante na Figura 3.

Figura 3 - Curva de eficiência do alternador ALT221



Fonte: Componentes e Funcionamento dos Alternadores para Motores de Automóveis (2018).⁹

A polia do alternador foi projetada em material polimérico com características de alta aderência, o que faz com a transmissão mecânica seja eficiente. A transferência desse movimento para o alternador foi realizada através do processo de contato entre os dois materiais poliméricos. A escolha deste material ocorreu em função da polia da corredeira do elevador ter sido projetada em material polimérico, ou seja, o material já possui sua eficácia comprovada em campo após vários anos de aplicação. Na Figura 4, têm-se a ficha técnica com as especificações do polímero.

Figura 4 - Especificação técnica do polímero

Revestimentos	Rodas	Indicado nos revestimentos de rodas de empilhadeira, polias e roletes de transmissão, rodízios e outros, devido a sua alta capacidade de suportar cargas, o baixo coeficiente de atrito que diminui o esforço de movimentação, a não desgastar a via de deslizamento e possuir vida superior a qualquer outro elastômero.

Fonte: Poliuretano – especificação técnica (2018).¹⁰

⁹ Disponível em:

<http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2015/07/componentes-e-funcionamento-dos-alternadores-para-motores-de-automoveis/>. Acesso em 15 abr. 2018

¹⁰ Disponível em:

A polia do alternador terá seu centro construído em aço e um revestimento em poliuretano para se ter uma boa condição de instalação sobre o eixo do alternador. O poliuretano utilizado para a polia do alternador terá o mesmo índice de dureza que a polia da corredeira da cabina (dureza 85 Shore), reduzindo o desgaste dos roletes e o ruído pelo atrito. Na Figura 5, são apresentadas as características técnicas do poliuretano.

Figura 5 - Índice de dureza dos roletes

Propriedades :												
Dureza Shore A	20	30	40	50	60	70	75	80	85	90	95	-
Dureza Shore D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	75
Módulos (psi) à 50% de alongamento	18	30	60	---	140	290	290	435	525	765	1.000	3.550
à 100% de alongamento	25	50	95	150	265	400	410	530	640	640	1.600	4.550
à 300% de alongamento	45	90	200	300	615	725	795	1.000	1.200	1.200	2.550	---
Alongamento %	525	650	600	590	460	615	580	650	660	550	650	270
Resistência à tração (psi)	80	300	1.500	3.500	4.500	6.500	5.700	6.500	6.500	6.500	6.500	8.500
Resistência ao rasgamento gabarito "C" (pli) tira (pli)	30 10	57 15	90 17	128 34	168 30	370 200	290 200	420 250	550 350	650 400	680 450	1.600 1.100
Módulo compressão (psi) 10% deflexão	---	---	---	---	100	200	260	300	485	635	860	---
5% deflexão	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2.025
Deformação permanente "B", % 22 h. a 158°F	6.0	4.0	2.0	1.7	3.2	25	23	25	28	28	26	33
Resistência ao impacto à 78°F, % (Bashore)	19	19	21	---	8	24	17	32	27	28	23	33

Fonte: Poliuretano – dureza Shore (2018).¹¹

Após essa etapa foi realizada uma análise quali-quantitativa através dos resultados obtidos nos cálculos e da bibliografia apresentada. Foram detalhados os consumos de energia dos componentes da cabina e o quanto o sistema tem possibilidade de gerar energia. Através da análise dos dados pode-se obter o tempo de retorno do investimento no projeto, conforme Tartuce (2006).

<http://www.plastireal.com.br/produtos/plasticos-engenharia/pu-poliuretano-chapas-buchas-tarugos>. Acesso em 06 mai. 2018.

¹¹ Disponível em:

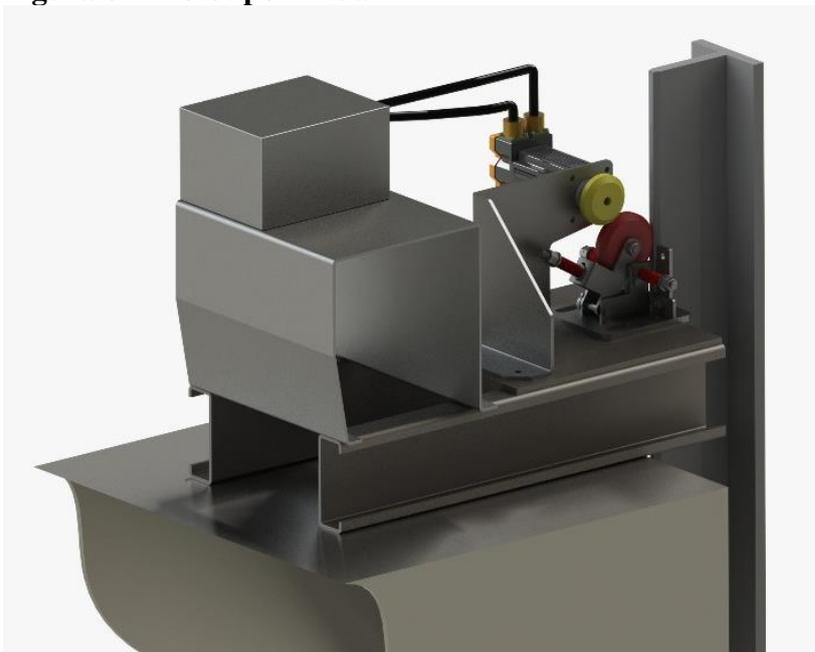
<http://www.plastireal.com.br/produtos/plasticos-engenharia/pu-poliuretano-chapas-buchas-tarugos>. Acesso em 06 mai. 2018.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da pesquisa bibliográfica, se objetivou a criação de um protótipo virtual que representa visualmente o produto em desenvolvimento identificando funcionalidades, aumentando a usabilidade, vislumbrando problemas e prevenindo falhas. A cada nova etapa de desenvolvimento do protótipo virtual, o mesmo se tornou mais complexo, incorporando características necessárias ao seu bom funcionamento e adaptabilidade.

Na fase de desenvolvimento do conceito, observou-se as funções e especificações do produto elencadas na pesquisa bibliográfica. Na fase de projeto, o intuito da prototipagem é analisar os aspectos físicos dos elementos funcionais do produto e de que forma eles interagem. Na etapa posterior, a prototipagem teve o intuito de averiguar as possibilidades de ajustes e refinamento do produto através de sucessivas alterações do modelo virtual, definidos na imagem do protótipo virtual da Figura 6.

Figura 6 - Protótipo virtual



Fonte: Extraído do aplicativo Solid Works (2018).

Com base nos dados da Figura 6, foi possível obter a potência que o sistema irá produzir e conseqüentemente avaliar a viabilidade do sistema. Para obtenção dessa grandeza elétrica foi utilizada a Equação 3: $P = I * V$ (03)

Onde:

P = Potência (Watts)

I = Corrente (A)
V = Tensão (Volts)

Como é conhecida a tensão nominal dos componentes elétricos sobre a cabina do elevador (12Vcc), foi possível relacionar a tensão a esta função matemática e calcular a potência elétrica. Para que a Equação 03 seja resolvida, a corrente elétrica do sistema teve que ser encontrada utilizando os dados mecânicos do sistema.

O fator avaliado foi a relação mecânica entre o deslocamento linear do elevador e a rotação do alternador. Relacionando estas duas informações no gráfico de eficiência do alternador, resultou na corrente elétrica do sistema. A relação mecânica entre o elevador e o alternador foi calculada pelo deslocamento linear do elevador e pelo diâmetro das polias. As polias terão a função de transformar o deslocamento linear da cabina em movimento rotacional pelo fato de estarem instaladas sobre a polia da corrediça de cabina, que tem contato com as guias do elevador e também com a polia do alternador.

É cónito que o deslocamento linear do elevador é de 150m/min, assim como o diâmetro da polia da corrediça que é de 105mm. Com estas informações foi possível dimensionar o diâmetro da polia do alternador deste sistema para que se obtenha o pico máximo de eficiência para o projeto. Para obter o perímetro da polia da corrediça de cabina, foi utilizada a Equação que 4:

$$P = d * \pi \quad (04)$$

Onde:
P=Perímetro (m)
d= diâmetro (m)
 $\pi = \text{Pi}$

Substituindo o diâmetro da polia na Equação (4), tem-se:

$$\begin{aligned} P &= d * \pi \\ P &= 0,105 * \pi \\ P &= 0,329 \text{ m} \end{aligned}$$

Através da relação entre o deslocamento do elevador a velocidade de 150m/min e o perímetro da polia da corrediça, será obtida a rotação da polia através da Equação 5:

$$RPM = \frac{\text{Deslocamento linear do elevador}}{\text{Perímetro da polia}} \quad (05)$$

Substituindo o valor do perímetro encontrado através da Equação 5, têm-se o valor da rotação na polia da corredeira em função do deslocamento da cabina do elevador.

$$RPM = \frac{150 \text{ m/min}}{0,329 \text{ m}}$$

$$RPM = 454,728 \text{ RPM}$$

Para obter a rotação ideal do alternador, foi instalada uma polia no alternador criando uma relação mecânica de transmissão, podendo assim alcançar a rotação desejada. Para calcular a relação mecânica (i) das polias será utilizada a Equação (1).

$$i = \frac{\text{Rotação da polia da corredeira}}{\text{Rotação desejado (gráfico)}} \quad (01)$$

A rotação da polia da corredeira foi calculada através da Equação (3) e a rotação desejada foi encontrada através da eficiência máxima do alternador, indicada no gráfico da Figura 3.

$$i = \frac{455,92}{1500}$$

$$i = 0,3031$$

A relação de transmissão obtida entre a rotação da polia da corredeira e a rotação ideal do alternador é de 0,3031. Como o diâmetro da polia da corredeira e também da relação mecânica do sistema é notório, poderá ser calculado o diâmetro da polia do alternador com o uso da Equação 2.

$$\emptyset \text{ polia alternador} = \emptyset \text{ polia corredeira} * i \quad (02)$$

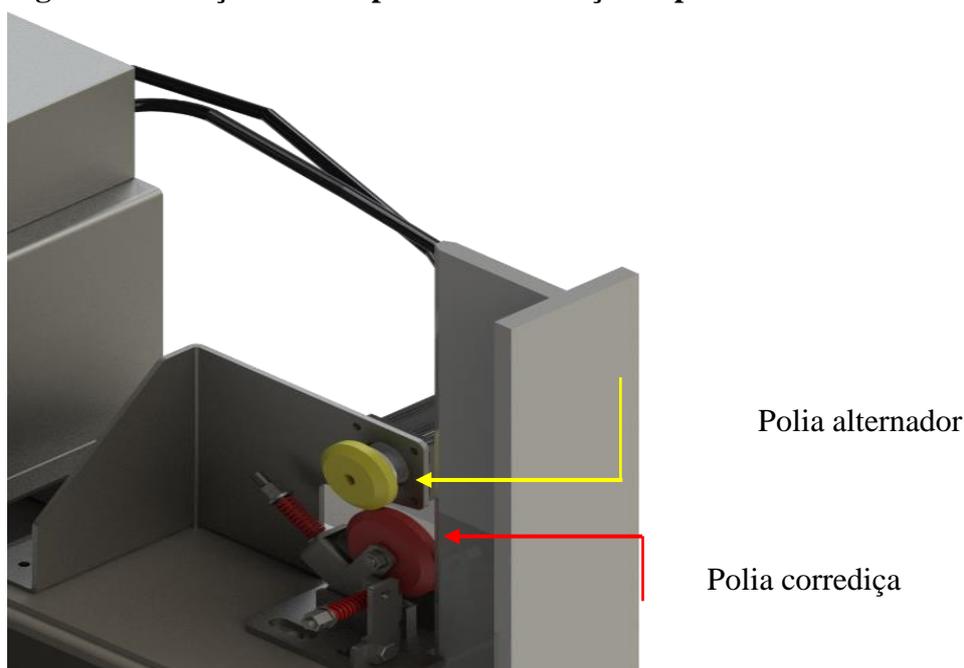
Substituindo o diâmetro da polia da corredeira, foi encontrado o diâmetro da polia do alternador através do uso da relação encontrada na Equação 01.

$$\emptyset \text{ polia alternador} = 105(\text{mm}) * 0,3031$$

$$\emptyset \text{ polia alternador} = 31,83 \text{ mm}$$

Aplicando as informações já conhecidas do sistema como o deslocamento linear da cabina do elevador, o diâmetro da polia da corredeira e da rotação ideal deste alternador, é possível obter o diâmetro da polia que deverá ser acoplada no alternador. A Figura 7 apresenta as polias da corredeira e do alternador.

Figura 7 - Relação entre a polia da corredeira e a polia do alternador



Fonte: Extraído do aplicativo Solid Works.

Com base nos cálculos apresentados anteriormente, foi possível obter a potência gerada no sistema durante o deslocamento da cabina do elevador em velocidade nominal, com o uso da Equação (03):

$$P = I * V$$

(3)

$$P = 110 * 12$$

$$P = 1,32 \text{ kW}$$

Desprezando as perdas mecânicas e considerando o pico máximo de eficiência do alternador, foi alcançada uma corrente elétrica de 110 amperes. Considerando a tensão desejada de 12 volts foi obtida a potência elétrica de 1,32 kW. O projeto foi desenvolvido para utilizar o ponto mais alto da curva de eficiência do alternador, sincronizando a velocidade nominal da cabina com a rotação ideal do alternador, através do dimensionamento mecânico do conjunto de polias.

Referente a viabilidade do projeto, foi utilizada a engenharia econômica que usa métodos de análise para facilitar a escolha da melhor alternativa de investimento. O método utilizado para avaliação e análise da viabilidade foi o *payback* simples, onde é considerado em quanto tempo se dará o retorno do investimento inicial (SILVA, 2005).

Para utilizar o método, necessitou-se de uma estimativa de custos de montagem do protótipo, contemplando a compra do alternador e confecção da base de fixação no cabeçote da cabina do elevador, assim como a confecção da polia do alternador. Dessa forma o Quadro 1 mostra.

Quadro 1 - Potência de alimentação dos componentes da cabina do elevador

Componente do protótipo	Custo de aquisição (R\$)
Alternador	1.189,36
Base de fixação	600,00
Diversos (fiação, parafusos, solda, etc)	50,00
Polia do alternador	350,00
TOTAL	2.189,36

Fonte: Dados da pesquisa (2018).¹²

Além disso, foi necessária a dedução de todos os componentes da cabina do elevador que poderiam ser beneficiados pela geração de energia do projeto, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Potência de alimentação dos componentes da cabina do elevador

Componente do elevador	Potência de alimentação (W)
Fonte da iluminação da cabina	50
Fonte da iluminação de emergência	276
Fonte da linha de segurança do elevador	150
Fonte de alimentação da régua de segurança eletrônica	394
Inversor de frequência	110
Motor operador de porta	120
TOTAL	1.100

Fonte: Dados da pesquisa (2018).¹³

Os componentes listados têm sua alimentação fornecida através da caixa de plugação que fica sobre a cabina. Dessa forma, a energia elétrica que será gerada, poderá alimentar diretamente todos esses componentes diretamente. Levando em consideração que um elevador tem uma estimativa de uso diário de aproximadamente 6 horas, chegou-se ao seguinte cálculo de consumo elétrico dos componentes que serão alimentados pelo sistema:

$$\text{Consumo diário} = 1,1 \text{ kW} * 6 \text{ horas} = 6,6 \text{ kW.dia}$$

$$\text{Consumo mensal} = 6,6 \text{ kW} * 30 \text{ dias} = 198 \text{ kW.mês}$$

¹² Estimativa de custo de aquisição dos componentes realizada através de pesquisa em lojas especializadas da cidade de Chapecó/SC.

¹³ Dados obtidos através da consulta da placa de identificação de cada um dos componentes do elevador.

Através de consulta ao site da Celesc, Companhia que detêm maior parte do controle acionário das empresas afins do setor elétrico do Estado de Santa Catarina, a tarifa convencional média da energia elétrica é de R\$0,45985/kWh¹⁴. Dessa forma pode ser quantificada a energia elétrica produzida mensalmente pelo sistema, em unidade monetária:

$$198 \text{ kW} * R\$0,45985 = R\$91,05/\text{mês}$$

Com o custo estimado de implementação do projeto e o valor que será economizado mensalmente, tem-se o *payback* simples:

$$\frac{R\$2.189,36}{R\$91,05/\text{mês}} = 24,05 \text{ meses}$$

Portanto, estima-se que serão necessários aproximadamente 24 meses para o retorno do investimento necessário para a implementação do projeto. Analisando que a vida útil de um elevador é de pelo menos 20 anos, o resultado obtido é plausível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto teve como foco aproveitar o movimento da cabina do elevador para gerar energia elétrica. Através da análise da correção da cabina do elevador foram calculadas as relações de transmissão, escolhido o material da polia do alternador e selecionado o alternador através de sua curva de eficiência para que o sistema chegasse a produção de 1,32kW. Por meio do estudo dos componentes instalados na cabina do elevador, concluiu-se que o sistema é suficiente para fornecer os 1.100W necessários para toda a demanda energética.

A análise financeira do sistema demonstrou que através de um *payback* de apenas 24 meses as receitas já recuperariam o capital investido, fazendo com o investimento seja atrativo. Em se tratando de uma tecnologia sustentável, com eficiência energética demonstrada e prazo de retorno de investimento curto, o projeto pode ser um *case* a ser implementado em larga escala, o que faria com que seus custos e, conseqüentemente o *payback*, fossem reduzidos.

¹⁴Dados obtidos através da consulta no site:

<http://celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>. Acesso em 01 jun. 2018

REFERÊNCIAS

BELLIS, M. **History of the Elevator**. Disponível em:

<<http://theinventors.org/library/inventors/blelevator.htm>>. Acesso em 25 set. 2017.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna – Volume 1**. São Paulo: Mauá, 2012.

DAL MONTE, Paulo Juarez. **Elevadores e escadas rolantes**. Rio de Janeiro: Dal Monte, 2000.

FITZGERALD, Arthur Eugene. **Engenharia Elétrica**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1981.

GOLDEMBERG, J.; DONDERO, J. D.. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 2003.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade básica**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ITAIPU BINACIONAL. **Geração**. Disponível em:

<<https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>>. Acesso em 15 abr. 2018.

LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. São Paulo: Publindústria, 2013.

MEZZARANO, Thaís G. G.. **Arquitetura um olhar vertical, O elevador definindo a paisagem urbana**. 1ª ed. São Paulo: Antonio Bellini Editora & Design, 1999.

PARENTE, Virginia. **O bom e o ruim do Plano Decenal 2007-2016**. São Paulo: Brasil Energia, 2007.

REIS, Lineu Belico dos. **Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais**. São Paulo: Ed Manoele, 2014.

SCHINDLER. **Manual de Transporte Vertical em Edifícios**. São Paulo: Pini, 2001.

SEBRAE. **Guia de eficiência energética nas MPME**. Brasília, 2005.

SILVA, Edson Cordeiro da. **Como administrar o fluxo de caixa das empresas**. São Paulo: Atlas, 2005.

TARTUCE, T. J. **Métodos de pesquisa**. Fortaleza: UNICE – Ensino Superior, 2006.

VAN VALKENBURG, Neville. **Eletricidade Básica**. Rio de Janeiro: Ed Livraria Freitas Bastos, 1972.

VILLATE, Jaime E.. **Física 2, Eletricidade e Magnetismo**. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2009.