

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

EDERVAN BARBOSA GARDINI

**PROJETO, DIMENSIONAMENTO E DESENVOLVIMENTO DA
AUTOMAÇÃO DE UMA PLATAFORMA ELEVATÓRIA EMBUTIDA NO
SOLO PARA USUÁRIOS DE CADEIRA DE RODAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

EDERVAN BARBOSA GARDINI

**PROJETO, DIMENSIONAMENTO E DESENVOLVIMENTO DA
AUTOMAÇÃO DE UMA PLATAFORMA ELEVATÓRIA EMBUTIDA NO
SOLO PARA USUÁRIOS DE CADEIRA DE RODAS**

Projeto de pesquisa e execução apresentado como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Cornélio Procópio (UTFPR-CP) como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Professor Dr. Romeu Rony
Cavalcante da Costa.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Cornélio Procópio
Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME
Coordenação de Tec. Manutenção Industrial - COMIN



PROJETO, DIMENSIONAMENTO E DESENVOLVIMENTO DA AUTOMAÇÃO DE UMA PLATAFORMA ELEVATÓRIA EMBUTIDA NO SOLO PARA USUÁRIOS DE CADEIRA DE RODAS

No dia de de, às h min, na sala do prédio do Câmpus da UTFPR, em Cornélio Procópio, reuniu-se a Comissão Examinadora composta pelo Professor Dr. Romeu Rony Cavalcante da Costa e os Professores Amauri Bravo Ferneda e José Aparecido Lopes Júnior, com o objetivo de proceder à arguição pública do **Trabalho de Conclusão de Curso** do aluno Edervan Barbosa Gardini. Tendo como Presidente da Banca e Orientador do aluno o Prof. Dr. Romeu Rony Cavalcante da Costa, o candidato foi apresentado e dissertou sobre o seu trabalho em 30 minutos. Em seguida foi arguido oralmente pelos componentes da Banca da Comissão Examinadora no tempo regulamentar exigido. Logo após, reuniu-se a Comissão Examinadora, tendo apresentado o conceito final: (aprovado, aprovado com restrições, reprovado) **COM nota**

Cornélio Procópio, de de

Prof. Amauri Bravo Ferneda

Banca 1 - (UTFPR-CP)

Prof. José Aparecido Lopes Júnior

Banca 2 - (UTFPR)

Prof. Dr. Romeu Rony Cavalcante da Costa

Orientador (UTFPR-CP)

Prof. Paulo Cezar Moselli

Coordenador do Departamento da Mecânica
(UTFPR-CP)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – câmpus Cornélio Procópio

Av. Alberto Carazzai, 1640 – CEP 86300-000 – Cornélio Procópio - PR

www.utfpr.edu.br/cornelioprocopio

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, pela família e pela saúde que me foi concedida, pois Deus foi meu ponto de equilíbrio e o ombro onde eu sempre pude me amparar nos momentos difíceis e também a quem agradei nos momentos de alegria.

Aos meus pais Antonio Gardini e Marilda Barbosa Gardini os quais são a minha referência e a quem eu sempre pude contar, onde eu sempre pude recorrer quando tive alguma dúvida ou estive para baixo e me ajudaram a dar a volta por cima.

À universidade, pelo suporte técnico e corpo docente que foram essenciais para a realização de um sonho, a oportunidade de concluir um curso superior.

Meu amigo, Eliezer Müller Lopes, pela dedicação na conclusão desse projeto, além de sua amizade e companheirismo.

Pelo Prof. Dr. Romeu Rony Cavalcante da Costa, por ter me orientado nesse trabalho de conclusão de curso e pela confiança que lhe foi depositada entregando em minhas mãos a responsabilidade de realizar esse trabalho.

A todos, amigos, colegas e parentes, que fizeram parte desse meu período de graduação, muitas pessoas foram fundamentais para que eu pudesse ser amparado, orientado e motivado a continuar até o fim dentro de todos os obstáculos que apareceram durante esse período.

RESUMO

GARDINI, Edervan Barbosa. **Projeto, dimensionamento e desenvolvimento da automação de uma plataforma elevatória embutida no solo para usuários de cadeira de rodas.** 2014. 52 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2014.

Este presente trabalho de conclusão de curso apresenta o desenvolvimento de produto, sendo elaborada através de uma literatura sobre o assunto e aplicação de ferramentas de dimensionamento que são apresentadas durante o curso de engenharia mecânica. O projeto trata de uma plataforma elevatória com a função de superar o desnível imposto pelo palco do anfiteatro. Esse projeto consiste na parte de automação da plataforma que implica em toda a movimentação do sistema e de sensoriamento para garantir o conforto e a segurança do usuário. O trabalho foi apoiado por normas nacionais. Este estudo mostra que a aplicação de metodologias de desenvolvimento de produtos é importante no processo da busca para que se tenha otimizada a solução.

Palavras-chave: (acessibilidade, desenvolvimento de produtos, sistema pantográfico, parafuso de potência, fuso com esfera, automação).

Abstract

GARDINI, Edervan Barbosa. **Projeto, dimensionamento e desenvolvimento da automação de uma plataforma elevatória embutida no solo para usuários de cadeira de rodas.** 2014. 52 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2014.

This present work of completion has product development, being developed through a literature development and application of design tools that were presented to us during the course of mechanical engineering. The project is a platform lift with the function of overcoming the gap imposed by the stage of the amphitheater. This project constitutes part of the automation platform that involves all part of handling and sensing to ensure the comfort and safety of the user. The work was supported by national standards. This study shows that the application of methodologies of product development is important in the search process in order to have the optimal solution.

Keywords: (accessibility, product development, pantograph system, power screw, screw with ball, automation).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos de desenvolvimento de produtos.....	12
Figura 2– Parafuso de potência.	15
Figura 3 – Porção de um parafuso de potência.....	16
Figura 4 – (a) carga sendo elevada (b) carga sendo abaixada.	16
Figura 5 – Ângulos de rosca para rosca Acme e outras roscas.	19
Figura 6 – Exemplo de chaves fim de curso.....	22
Figura 7 – Exemplo de inversor de frequência.	22
Figura 8 – Dimensões mínimas do módulo de referência.	23
Figura 9 – Símbolo internacional de acesso.....	24
Figura 10 – Altura para comandos e controles.....	24
Figura 11 – Sistema de fuso em colunas.	27
Figura 12 – Sistema pantográfico de cilindro eletro-hidráulico.	28
Figura 13 – pantográfico com sistema mecânico.	28
Figura 14 – Sistema sem uso.....	30
Figura 15 – Sistema gaiola se eleva.	30
Figura 16 – Sistema plataforma se eleva.	31
Figura 17 – Sistema plataforma se abaixa.	31
Figura 18 – Sistema todo abaixado.....	31
Figura 19 – Parafuso de potência.	35
Figura 20 – Esquema do movimento do sistema pantográfico quando no pavimento superior.	38
Figura 21 – Relação trigonométrica obtida através da figura anterior.	38
Figura 22 – Motor elétrico WEG W22 Quattro.....	41
Figura 23 – Chave fim de curso.	42
Figura 24 – Sensor de presença térmico.	43
Figura 25 – Inversor de frequência WEG CFW11	44
Figura 26 – Lógica programada através do software WLP	45

SUMÁRIO

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO.....	9
1.1 INTRODUÇÃO	9
1.2 JUSTIFICATIVA	10
1.3 OBJETIVOS	10
1.3.1 Objetivo Geral	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	11
CAPITULO 2 – REVISÃO LITERÁRIA.....	11
2.1 ESTUDO DO PDP (PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO)....	11
2.1.1 Planejamento do Projeto	12
2.1.2 Projeto Informacional.....	13
2.1.3 Projeto Conceitual	13
2.1.4 Projeto Preliminar	14
2.1.5 Projeto Detalhado.....	14
2.1.6 Implementação	15
2.2 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PARAFUSO DE POTÊNCIA	15
2.3 APRESENTAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DO MOTOR ELÉTRICO.....	20
2.4 APRESENTAÇÃO DOS SENSORES	21
2.5 NORMAS UTILIZADAS	23
2.5.1 Norma NBR 9050:2004	23
2.5.2 Norma ABNT NBR 15655-1	25
CAPÍTULO 3 – APRESENTAÇÃO DO ESCOPO DO PROJETO E APLICAÇÃO PRÁTICA DOS MÉTODOS ESTUDADOS	26
3.1 ESCOPO DO PROJETO.....	26
3.2 DIMENSIONAMENTO DO PARAFUSO DE POTÊNCIA.....	32
3.3 DIMENSIONAMENTO DO MOTOR ELÉTRICO	35
3.4 APLICAÇÃO DOS SENSORES	41
3.4.1 Sensores fim de curso.....	41

3.4.2 Sensor de presença	42
3.4.3 Inversor de frequência.....	43
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO DO TRABALHO.....	47
4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	50
APÊNDICES	52

CAPÍTULO 1 ±INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

O estudo e a implantação de projetos e tecnologia na área de acessibilidade tende a ser uma crescente nos dias atuais. Durante os tempos vive-se uma certa carência relacionada ao tema, onde muitas vezes a negligência foi o maior dos empecilhos para a implantação da acessibilidade em ambientes públicos e privados, o que acaba restringindo o acesso a quem tem uma necessidade especial, no caso das pessoas com deficiência.

O Brasil tem, segundo o último censo do IBGE (2010), 24% da população (mais de 45 milhões de pessoas) possui algum tipo de deficiência seja ela visual, auditiva, motora ou mental e em muitos ambientes, até mesmo locais municipais, não existem meios acessíveis ao seu interior.

A acessibilidade tem um papel fundamental no desenvolvimento de um local, pois a inclusão tem por objetivo incluir toda e qualquer pessoa com os mesmos direitos e mesmas limitações dentro de um espaço físico.

Surgiu assim o projeto, realizado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Cornélio Procópio (UTFPR-CP), que é tornar o campus totalmente acessível, ou seja, realizar a implantação de projetos de acessibilidade em todos os locais onde ainda não foi implantado. Surge então o projeto para acesso ao palco do anfiteatro da universidade, esta que conta com alunos que possuem deficiência motora e direito de acessibilidade ao palco quando sua presença é solicitada.

A partir da problemática relatada surgiu assim a prioridade de se projetar um produto que atendesse as necessidades locais dando acesso ao palco da universidade, originando um projeto de uma plataforma elevatória com sistema pantográfico.

1.2 JUSTIFICATIVA

Suprir a necessidade específica da UTFPR-CP com relação a acessibilidade ao palco do anfiteatro, através do projeto de uma plataforma elevatória com sistema pantográfico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O projeto de uma plataforma elevatória que será tratada desde a pesquisa, dimensionamento e execução, que tem por objetivo vencer o desnível entre o solo e o palco do anfiteatro da UTFPR-CP, garantindo assim a acessibilidade com conforto, segurança e autonomia assistida para o usuário.

1.3.2 Objetivos Específicos

Dentro dos objetivos é preciso ressaltar os seguintes itens:

- Contribuir para que o projeto da UTFPR-CP seja alcançado, tornando acessível um local onde anteriormente a acessibilidade não era aplicada;
- Realização de um projeto dimensionado através da aplicação de Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP) realizando as etapas para concluir em um melhor projeto;
- Realizar um projeto dentro das normas exigidas para uma plataforma elevatória para passageiros;
- Dimensionar o motor elétrico com fuso de esfera para movimentação (elevação e abaixamento) dos sistemas pantográficos da plataforma e da gaiola;
- Dimensionamento dos sistemas de segurança e automatização do elevador;

- Implantar uma plataforma elevatória em um anfiteatro onde não pode existir poluição visual e física. A plataforma quando não utilizada deve estar “escondida” de forma a não atrapalhar a visão ao palco e a passagem para que ocorra acesso às cadeiras do anfiteatro.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

CAPITULO 1 – aborda a introdução, justificativa e objetivos tratados por este trabalho;

CAPITULO 2 – apresenta a revisão literária utilizada para o desenvolvimento do projeto;

CAPITULO 3 – trata da teoria estudada aplicada na prática, desde a escolha do melhor sistema de utilização até o dimensionamento das partes necessárias;

CAPITULO 4 – conclusão do trabalho apontando a análise dos resultados obtidos através deste estudo.

CAPITULO 2 REVISÃO LITERÁRIA

2.1 ESTUDO DO PDP (PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO)

O PDP é uma ferramenta muito utilizada quando se trata de desenvolvimento de produtos e foi proposta por Romano em sua tese de doutorado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A visão inicial é que o processo de desenvolvimento de produtos deve ser dividido em três macro fases, são elas: planejamento, projeção e implementação.

Conseqüentemente essas três macro fases são subdivididas em oito fases da seguinte maneira:

- Planejamento: planejamento do projeto;
- Projeção: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado;
- Implementação: preparação da produção, lançamento e validação.

Pode ser observada na figura o modelo proposto por Romano:



Figura 1 ±Processos de desenvolvimento de produtos. Fonte: Romano, 2003.

Estabelecida a metodologia a ser aplicada para o desenvolvimento da plataforma pode-se desenvolver o produto seguindo as etapas da mesma.

2.1.1 Planejamento do Projeto

Essa etapa é realizada para que um plano de projeto seja definido, agrupando informações relevantes para a execução do mesmo e nelas destaca-se o escopo do projeto, escopo do produto, previsões das atividades e sua duração, recursos necessários para a realização do projeto, entre outras.

Ligada diretamente as etapas seguintes no processo de desenvolvimento do produto, o plano do projeto deve considerar o escopo e as características de cada umas das outras fases.

A pessoa responsável pelo planejamento do produto, por realizar praticamente todas as atividades dessa fase, é quem deve exercer papel de gerente do projeto, acompanhando de perto também nas seguintes fases de desenvolvimento com o objetivo de garantir um bom fluxo de informações e aumentar o comprometimento da equipe.

“A primeira atividade de planejamento a ser executada pelo gerente de projeto será estudar e detalhar as definições básicas do produto”. (Rozenfeld, 2006).

A definição do escopo do produto é uma das ações mais importantes dessa fase, pois é nela que é gerado o documento de escopo que é composto por uma lista das características e funções que o produto deverá apresentar. Apesar de as características de projeto estarem diretamente ligadas com as características de produto, a parte de projeto é descartada nessa primeira etapa, já que o objetivo é visualizar qual produto se espera ser criado, “como” será criado, sendo tratado na parte de escopo de projeto.

O escopo de projeto sim cabe descrever as características de “como” o produto será obtido, ou seja, serão enumerados meios de desenvolvimento do produto, a equipe envolvida entre outros fatores que poderão envolver o produto.

2.1.2 Projeto Informacional

Essa fase busca reunir todas as informações levantadas pelo plano de projeto e também em outras fontes, com o objetivo de desenvolver um conjunto de informações, o mais completo possível, as especificações-meta do produto. Essas especificações visam orientar a geração de soluções, fornecerem a base para tomadas de decisões além de critérios de avaliação, das fases posteriores de processo de desenvolvimento.

O objetivo é reunir todas as melhores opções de desenvolvimento de produto para que possam ser aplicadas posteriormente através do estudo do problema associado ao escopo do produto.

A definição de especificações-meta é necessária para formalizar a tarefa do projeto, que serão um conjunto de informações completas a serem utilizadas como base para o desenvolvimento das fases seguintes do projeto. Especificações-meta são parâmetros quantitativos e mensuráveis que o projeto deverá apresentar. São valores-metas que podem indicar um valor específico, um faixa de valores ou valores de tolerância.

É nessa etapa que a fase de plano de projeto é “lapidada” e são tomadas decisões para a sequência do desenvolvimento de produto.

2.1.3 Projeto Conceitual

O projeto conceitual tem por objetivo seguir com o desenvolvimento do produto a partir das especificações-meta definidos no projeto informacional.

É tratado inicialmente de identificar as funções a partir da análise das especificações-meta, gerando o modelamento funcional. A princípio é tida uma visão geral de funcionalidade como a principal função do produto e a seguir serão definidas as entradas e saídas do produto para assim analisar a sua funcionalidade, os processos necessários para posteriormente serem analisados seus resultados. Os

produtos normalmente são contidos de funções globais que é desmembrada em função básica, secundárias e função assumida.

No desenvolvimento dos princípios de solução para as funções vai-se da função à forma, pois cada uma delas parte da estrutura funcional escolhida na etapa anterior podendo ter um ou mais princípios de solução e cabe a essa etapa concluir a solução viável dentro das soluções possíveis.

Essa fase finaliza com a concepção do produto através da escolha, dentre as concepções geradas pelas atividades anteriores, o melhor conceito.

2.1.4 Projeto Preliminar

No projeto preliminar tem-se o andamento das etapas de desenvolvimento do produto e dimensionamento.

Já temos o conceito que deve ser aplicado nesse projeto, já foram estudadas as melhores maneiras para solução do problema sendo escolhida a melhor dessas concepções no projeto conceitual.

Nessa etapa cabe então a dar o prosseguimento do projeto, realizando a organização da empresa para a produção do novo produto. Se necessária aquisição de maquinário é nessa etapa que a mesma será realizada e são gerados os layouts detalhados e preliminares e desenhos de forma.

Essa etapa finaliza com a verificação dos documentos gerados criando um layout definitivo para a fabricação do produto.

2.1.5 Projeto Detalhado

O projeto detalhado traz toda a parte de dimensionamento já com refino de tolerâncias, definição de matéria-prima e outros materiais, cotação para viabilidade técnica e econômica, ou seja, já tem desenvolvida e finalizada toda a parte de especificações do produto e tem-se todos os documentos necessários para que o projeto seja encaminhado para a manufatura e às outras fases do desenvolvimento, como por exemplo a fabricação do protótipo.

2.1.6 Implementação

Com a parte de projeção finalizada parte-se para a implementação que é constituída de três etapas. São elas: preparação da produção, lançamento e validação.

A primeira etapa trata da preparação do produto e implementação do planejamento de marketing, bem como a realização das documentações relacionadas a montagem do produto, a implementação do plano de manufatura e desenvolvimento do plano de produção.

A etapa de lançamento trata de quando o produto é inserido no mercado. Nessa etapa é possível analisar o impacto inicial de mercado e o retorno de marketing e de pesquisa relacionada ao produto.

Na validação pode ser analisada a satisfação do cliente e da auditoria junto ao produto. Dentro desse item é possível mensurar se o produto foi ou não bem aceito no mercado.

No caso estudado as etapas de implementação não serão aplicadas devido ao fato de que o produto será de fabricação única, não tendo então a parte de pesquisa de mercado, produção em lote, etc.

Finalizada a parte de desenvolvimento de produto, é vista a metodologia para a parte de projeção.

2.2 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PARAFUSO DE POTÊNCIA

O parafuso de potência é um dispositivo usado em maquinaria para transformar momento angular em linear e geralmente utilizado para transmitir potência. (Shigley,2005).

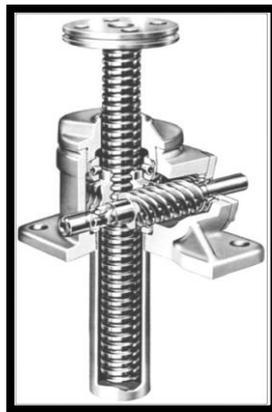


Figura 2 ±Parafuso de potência. Fonte: Shigley, 2005.

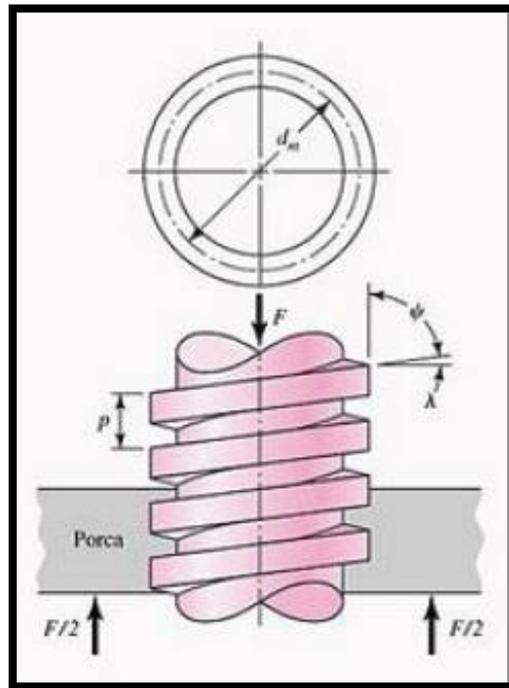


Figura 3 ±Porção de um parafuso de potência. Fonte: Shigley,2005

Segundo o Shigley, através da figura 3 é visto um parafuso de potência de rosca quadrada, com um diâmetro médio d_m , um passo p , ângulo de avanço ψ e um ângulo de hélice λ no qual atua uma força de compressão axial F . O objetivo é encontrar expressões para os torques necessários para elevar e abaixar a carga.

Supondo que apenas uma rosca do parafuso seja pega e planificada, tem-se a seguinte figura:

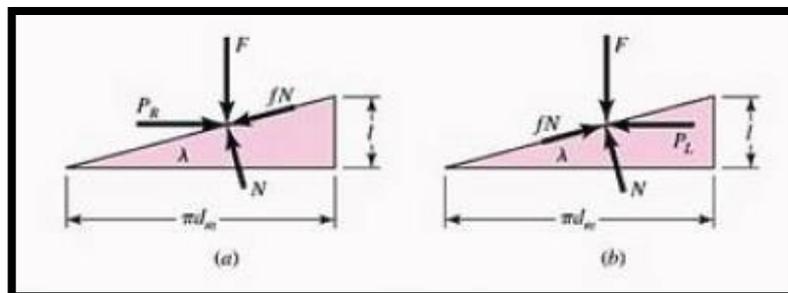


Figura 4 ±(a) carga sendo elevada. (b) carga sendo baixada. Fonte: Shigley, 2005.

Por somatória de força teremos:

- Para elevar a carga:

$$\sum Fh = Pr - N\text{sen}\lambda - fN\text{cos}\lambda = 0$$

$$\sum Fv = F + fN\text{sen}\lambda - N\text{cos}\lambda = 0$$

- Para baixar a carga:

$$\sum Fh = -Pl - N\text{sen}\lambda + fN\text{cos}\lambda = 0$$

$$\sum Fv = F - fN\text{sen}\lambda - N\text{cos}\lambda = 0$$

Como não é importante na força normal N para esse caso, é eliminada de cada um desses conjuntos de equações solucionando o resultado para P.

Para elevação da carga:

$$Pr = \frac{F(\text{sen}\lambda + f\text{cos}\lambda)}{\text{cos}\lambda - f\text{sen}\lambda} \quad (1)$$

E para baixar a mesma:

$$Pl = \frac{F(f\text{cos}\lambda - \text{sen}\lambda)}{\text{cos}\lambda + f\text{sen}\lambda} \quad (2)$$

Em seguida é dividido o denominador das equações (1) e (2) por $\text{cos}\lambda$ e utilizado a relação $\tan\lambda = \frac{l}{\pi dm}$ obtida pelo triângulo da figura 4. Por fim teremos:

Para elevar a carga:

$$Pr = \frac{F\left(\frac{l}{\pi dm} + f\right)}{1 - \frac{fl}{\pi dm}} \quad (3)$$

Para baixar a carga:

$$Pl = \frac{F\left(f - \frac{l}{\pi dm}\right)}{1 + \frac{fl}{\pi dm}} \quad (4)$$

Por fim, como o valor do torque é o produto da força P e do raio médio $\frac{dm}{2}$, é encontrada a seguinte expressão para os torques requeridos para elevação e abaixamento da carga, respectivamente:

$$Tr = \frac{Fdm}{2} * \left(\frac{l + \pi f dm}{\pi dm - fl}\right) \quad (5)$$

$$Tl = \frac{Fdm}{2} * \left(\frac{\pi f dm - l}{\pi dm + fl}\right) \quad (6)$$

Esses torques são os requeridos para elevação e abaixamento da carga e também para superar uma parte da fricção, evitando que o próprio peso da carga cause o abaixamento da mesma, logo evita que o parafuso rode sem acionamento de uma força externa. Nos casos onde o valor de Tl encontrado através da equação (6) for positivo pode ser afirmado que o parafuso é autobloqueante. Então a condição para o autobloqueio é que $\pi f dm > l$.

Após divididos ambos os lados da igualdade por πdm . Como $\frac{l}{\pi dm} = \tan \lambda$, é tida a seguinte equação: $f > \tan \lambda$.

Pode-se concluir assim que o autobloqueio é obtido quando o coeficiente de fricção de rosca é maior que a tangente do ângulo de avanço da rosca.

É sempre importante, quando relacionado o dimensionamento na engenharia, que seja calculada a eficiência do sistema, no caso do parafuso de potência, quando estabelecido $f = 0$ na equação (5) obtemos:

$$T_0 = \frac{Fl}{2\pi} \quad (7)$$

Quando a fricção é retirada da expressão, significa que o torque do sistema consiste apenas para a carga que está elevada.

A eficiência portanto será calculada pela divisão desse torque T_0 pelo torque Tr .

$$e = \frac{T_0}{Tr} = \frac{Fl}{2\pi Tr} \quad (8)$$

As equações acima foram desenvolvidas para roscas quadradas em que as cargas de rosca normais são paralelas ao eixo do parafuso. Quando trata-se de roscas Acme ou outras roscas, a carga de rosca normal está inclinada com relação ao eixo, pois existe o ângulo de rosca 2α e o ângulo de avanço α . Ângulos esses que podem ser visualizados na figura 5:

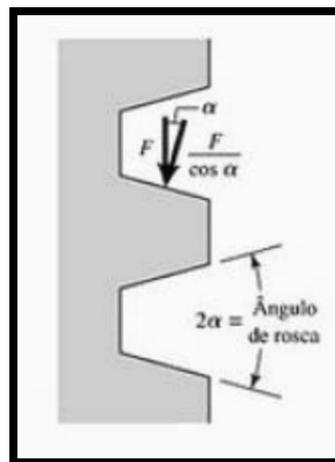


Figura 5 ±Ângulos de rosca para rosca Acme e outras roscas.

Para o parafuso com rosca Acme ou outras roscas seguindo a mesma analogia do parafuso de rosca quadrada é encontrada a expressão do torque, que fica da seguinte forma:

$$Tr = \frac{Fdm}{2} * \left(\frac{l + \pi f * dm * \sec \alpha}{\pi dm - fl * \sec \alpha} \right) \quad (9)$$

Quando o parafuso em questão é carregado axialmente, um mancal axial ou colar deve ser empregado entre os membros rotantes e estacionários a fim de carregar

a componente axial. O colar assume a carga concentrada em seu diâmetro médio, se o coeficiente de fricção do colar é f_c , o torque requerido será:

$$T_c = \frac{F f_c d_c}{2} \quad (10)$$

2.3 APRESENTAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DO MOTOR ELÉTRICO

Motor elétrico é uma máquina que tem por finalidade transformar energia elétrica em energia mecânica. É o tipo de motor mais utilizado de todos e tem como vantagens mais notáveis a utilização de energia elétrica (baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando), construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação a cargas de diversos tipos e maiores rendimentos.

Quando é necessário o dimensionamento de um motor elétrico uma série de cálculos é realizada para se chegar ao motor adequado para a aplicação solicitada.

Motores elétricos são selecionados de acordo com as características técnicas desejadas através de catálogos de empresas que comercializam os mesmos. Logo a dificuldade que se tem no dimensionamento do motor elétrico são os cálculos de forças que serão exigidos por ele.

Entre as características buscadas nos catálogos as mais notáveis são: o torque, a potência, a rotação, o número de polos, o tipo de corrente, etc.

O torque é encontrado através do cálculo dos esforços que serão exigidos pelo motor elétrico que provem de cargas que serão movidas ou rotação de uma ferramenta de trabalho entre outras aplicações.

A potência é encontrada através da relação entre o maior torque requerido e a rotação angular necessária no projeto:

$$P = T * w \quad (11)$$

A potência pode ser obtida em Watts [

W] ou então na unidade de cavalos vapor [cv] de acordo com a unidade utilizada.

A rotação de um motor elétrico é dependente de dois fatores que são a frequência da corrente elétrica e o número de polos.

$$N_s = 2 * \frac{f * 60}{p} \quad (12)$$

Onde N_s = rotação síncrona [rpm];

f = frequência [Hz];

p = número de polos.

O número de polos, também conhecido por polos magnéticos, são os responsáveis pela geração do campo magnético e que fazem girar o rotor e gerando movimento angular.

A corrente elétrica pode ser contínua [Cc] ou alternada [Ca].

A corrente contínua [Cc] é utilizada nos casos onde não é preciso que a energia elétrica seja transportada a grandes distâncias, os exemplos clássicos de fontes de Cc são as pilhas e baterias utilizadas em brinquedos e celulares.

A corrente alternada Ca é a energia que chega nas tomadas das residências, porém ela vem pela rede elétrica com uma voltagem muito maior para evitar perdas e otimizar o alcance da energia elétrica. A corrente vinda da rede passa pelo transformador reduzindo sua voltagem, pois nas residências não é necessária uma tensão tão elevada e também pela segurança, visto que um choque de alta voltagem pode ser fatal.

Esses fatores devem ser bem vistos na hora da escolha do motor elétrico para que se possa ser otimizado o rendimento e também o custo agregado.

2.4 APRESENTAÇÃO DOS SENSORES

A parte sensorial que será implantada nesse projeto é de fundamental importância, pois eles serão os responsáveis por garantir a precisão nos movimentos e principalmente a segurança do usuário da plataforma elevatória.

Os sensores são elementos que tem a finalidade de transmitir sinais para outro elemento e esse sim realizar alguma operação. Um exemplo simples de sensor está no portão eletrônico por cremalheira: quando o portão atinge o estado de totalmente aberto cabe a um sensor fim de curso enviar um pulso de sinal ao motor para que o mesmo seja desligado, o mesmo ocorre quando ele está totalmente fechado. Na figura 6 são vistos exemplos de sensores fim de curso.



Figura 6 ±Exemplos de c haves fim de curso. Fonte: <http://www.automatizesensores.com.br>

Devido ao teto da plataforma elevatória (quando a plataforma estiver em desuso, o teto da plataforma simula o solo onde pessoas podem transitar normalmente pelo local) é necessário que tenha um sensor de presença no interior da mesma, pois se algo ativa o retorno da gaiola acidentalmente com o usuário dentro, o sensor de presença se torna responsável por evitar que isso seja possível, garantindo a segurança do usuário. Sensores de presença são muito utilizados para acendimento de luzes, em portas de elevadores e também em vidros elétricos de veículos.

A aplicação de sensores pode ser simples, porém será necessário um inversor de frequência para programar uma lógica. Essa lógica será a inteligência do sistema, é o sistema “pensante”, pois ele quem manda os sinais para o que os outros elementos do sistema realizam suas tarefas. Na figura 7 é lustrado um inversor de frequência.



Figura 7 ±Exemplo de inversor de frequência. Fonte: <http://www.weg.net>.

2.5 NORMAS UTILIZADAS

Dentro da literatura de projetos dois fatores devem ser obrigatoriamente implementados: são os cálculos de dimensionamento e a fidelidade quanto a normalização, pois são eles que garantem a qualidade e otimizam o processo de desenvolvimento de produto no contexto geral.

Quando se trata da realização de um elevador para transporte de passageiros e, para o nosso caso em específicos, para cadeirantes, vemos uma série de normas que devem ser seguidas para que seja garantida a segurança e o conforto do usuário.

2.5.1 Norma NBR 9050:2004

Esta norma que tem como título: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, nos traz os critérios e parâmetros técnicos a serem observados quando do projeto, construção, instalação e adaptação de edificações, mobiliário, espaço e equipamentos urbanos às condições de acessibilidade.

A partir desta norma os parâmetros iniciais da plataforma elevatória puderam ser definidos, tais como tamanho útil mínimo da plataforma para cadeirantes, distância e altura dos botões entre outras.

Módulo de referência à projeção de 0,80 m por 1,20 m no piso, ocupada por uma pessoa utilizando cadeira de rodas conforme pode ser observado na figura a seguir:

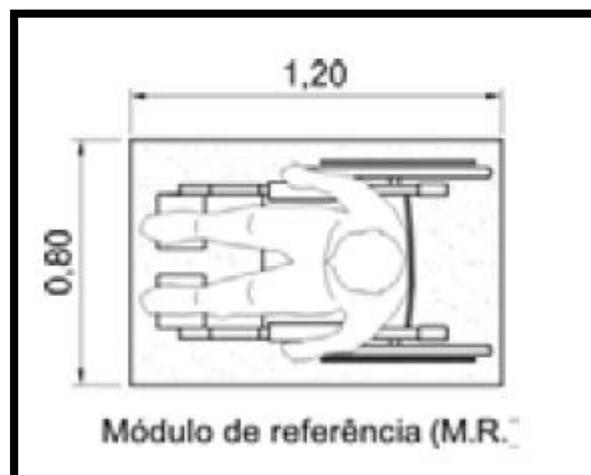


Figura 8 ±Dimensões mínimas do módulo de referência. Fonte : Norma ABNT NBR 9050, 2004.

A área onde a plataforma será instalada deve ser sinalizada de maneira a destacar que existem elementos acessíveis ou utilizáveis por portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida. Para esse caso o símbolo internacional de acesso que a norma exige é o seguinte:



Figura 9 ±Símbolo internacional de acesso. Fonte: Norma ABNT NBR 9050, 2004.

Os controles (dispositivos de comando e acionamento) como botões, teclas e similares devem ser acionados através de pressão ou de alavanca. É recomendado pelo menos uma de suas dimensões igual ou superior a 2,5 centímetros.

Altura para comandos e controles é visto na figura seguinte:

Interruptor	Campainha e Acionador manual (alarme)	Tomada	Interfone, telefone e atendimento automático	Quadro de luz	Comando de aquecedor	Registro de pressão	Comando de janela	Maçaneta de porta	Dispositivo de inserção e retirada de produtos	Comando de Precisão	
											1,20 (Máx.)
											1,00
											0,80
											0,60
											0,40 (Min.)
											0,00

Figura 10 ±Altura para comandos e controles. Fonte: Norma ABNT NBR 9050, 2004.

2.5.2 Norma ABNT NBR 15655-1

Esta norma que tem como título: plataforma de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida. Parte 1: plataformas de elevação vertical, e traz as medidas para ser realizado o escopo do projeto.

A norma especifica os requisitos de segurança, dimensões e operação funcional para plataformas de elevação vertical motorizadas.

Como a plataforma elevatória realizará uma elevação de 90 centímetros, é adequado utilizar uma plataforma sem caixa enclausurada, pois na norma é dito que com percurso de até 2,0 metros não é necessário.

A velocidade nominal da plataforma de elevação na direção do percurso não deve ser superior a 0,15 m/s².

A carga nominal não deve ser inferior a 250 kg. O projeto da plataforma deve ser baseado em uma carga não inferior a 210 kg/m² da área livre do piso.

O coeficiente de segurança para todas as partes do equipamento deve ser maior ou igual a 1,6 para o caso de aço ou materiais equivalentes.

Deve existir uma barreira de proteção para quando a plataforma estiver em movimento, ou seja, quando não estiver em nenhum dos pavimentos de embarque e/ou desembarque. Essa barreira deve possuir 10 centímetros de altura para garantir a segurança do usuário.

Uma distância máxima entre a plataforma e o pavimento é exigida de 20 milímetros, para que seja evitado que a roda da cadeira possa se prender nesse espaço.

Estas são as considerações que devem ser seguidas com relação a norma ABNT NBR 15655-1 para que se seja possível partir para o escopo do projeto da plataforma elevatória com sistema pantográfico.

CAPÍTULO 3 ± APRESENTAÇÃO DO ESCOPO DO PROJETO E APLICAÇÃO PRÁTICA DOS MÉTODOS ESTUDADOS

3.1 ESCOPO DO PROJETO

O partir das definições e exigências estudadas nas normas pode-se modelar o escopo do projeto da plataforma, definindo parâmetros e aplicando as práticas de desenvolvimento de produto, dando mais um passo para a conclusão do projeto.

É tido como meta dimensionar uma plataforma elevatória para um anfiteatro, onde quando não utilizada deve ficar totalmente “invisível”, pois não pode atrapalhar o visual, permitindo que todos os expectadores tenham visão ao palco e também o físico, permitindo que os expectadores possam transitar na localidade da plataforma para chegarem a seus assentos ou acesso ao palco.

Neste trabalho será abordada a parte de dimensionamento da automatização, tendo a parte de dimensionamento mecânico sendo tratada pelo trabalho do aluno de engenharia mecânica Eliezer Müller Lopes. Porém todo o projeto foi realizado em conjunto.

Dando continuidade, a parte de desenvolvimento de produto que trabalhada em sua grande maioria na parte de definição mecânica do sistema, onde através do processo, detalhado no trabalho do dimensionamento mecânico, foi realizada a escolha pelo sistema pantográfico como o melhor sistema a ser implantado neste projeto. O desenvolvimento de produto na parte de automatização ficou na parte de escolha do melhor sistema de movimentação para a plataforma.

Na seleção de sistemas de movimentação tivemos as opções:

- Fuso em colunas:

Um sistema muito utilizado em plataformas de cargas, manutenção de veículos bem como para transporte de pessoas. É muito utilizado por ser considerado um sistema simples e de fácil dimensionamento. Podem ser utilizadas duas ou apenas uma coluna de sustentação com o motor, a outra, para o segundo caso, servindo apenas de guia e auxiliando na estabilidade da plataforma.

Na figura seguinte pode ser visualizado exemplos de plataformas com fuso em colunas:



Figura 11 – Sistema de fuso em colunas.

Fonte: [http:// http://www.montesuaoficina.com.br](http://www.montesuaoficina.com.br).

Porém as colunas são totalmente visíveis quando não utilizado o equipamento, logo não tem condições de aplicar esse sistema no nosso projeto, visto que nada pode aparecer quando a plataforma estiver sem uso. O mesmo ocorre com a gaiola de proteção que, através desse sistema, fica impossível que a gaiola não tome um espaço físico acima do solo impedindo a passagem dos expectadores.

- Pantográfico com sistema eletro-hidráulico:

Sistema muito utilizado em manutenção de veículos, manutenção em alturas elevadas e também para carga. Trata de um sistema de “tesouras” que com a ação de um cilindro hidráulico e acionamento elétrico se eleva e se abaixa conforme requisitado pelo usuário. É pouco utilizado para elevação de pessoas.

Pode ser totalmente submerso, o que possibilita a passagem dos expectadores quando não utilizado.

Pode ser visualizado na figura seguinte:

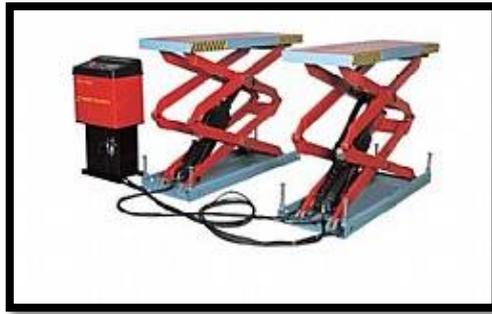


Figura 12 ± Sistema pantográfico de cilindro eletro -hidráulico.

Fonte: <http://www.ferramentaskennedy.com.br>.

- Pantográfico com sistema mecânico:

Um sistema composto por “tesouras” e possui as mesmas configurações do sistema anterior, porém com movimentação mecânica. Seu sistema envolve um parafuso de potência acoplado a um motor elétrico e que através do giro do motor que gira o fuso, é realizado o movimento do sistema.

Pode ser totalmente submerso, não atrapalhando o visual e o físico do anfiteatro.

A figura 13 traz exemplos de pantográfico com sistema mecânico.

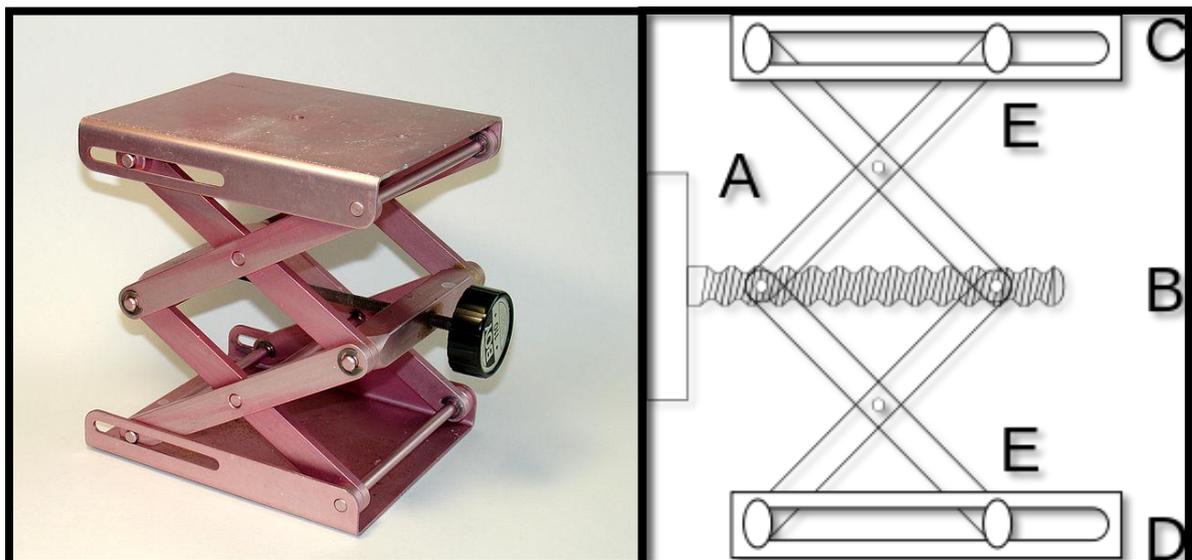


Figura 13 ± Pantográfico com sistema mecânico. Fonte: <http://www.prolab.com.br>.

Diante das propostas que foram encontradas, o fuso em colunas precisa ser descartado, pois não atende as nossas necessidades, restando a segunda e terceira proposta.

A proposta do sistema eletro-hidráulico é a mais utilizada nos sistemas pantográficos, devido a sua utilização requerer sempre um esforço grande, este que o cilindro hidráulico pode realizar. Esse sistema pode acarretar em um custo agregado maior, pois exige um sistema de cilindro hidráulico, bomba de óleo e óleo para o seu funcionamento, necessitar de uma manutenção preventiva nos seus elementos, tudo isso ligado ao espaço que é necessário para que todos esses elementos sejam instalados no sistema.

O sistema mecânico é menos utilizado, a preocupação com o barulho que o sistema pode vir a fazer durante a utilização da plataforma são problemas que podem vir a ocorrer nesse processo. Por outro lado, o sistema é mais simples que o sistema hidráulico quanto a instalação e manutenção, pois são menos elementos, motor elétrico e parafuso de potência, e a manutenção que implica apenas em lubrificação preventiva. O sistema mecânico ocupa menos espaço de instalação, um ponto positivo e muito valorizado dentro do projeto, onde o espaço para trabalho é reduzido, por se tratar do subsolo do anfiteatro.

Levantados esses pontos de cada um dos sistemas, foi possível chegar a escolha do melhor sistema de movimentação da plataforma elevatória, o sistema utilizado será o mecânico, pois o fato de ser mais fácil de instalação, manutenção mais simples, e espaço de instalação menor foram cruciais para essa escolha.

A preocupação com relação ao barulho que o sistema pode fazer ao ser ativado pode ser resolvido com a aplicação de um fuso com esfera, este consiste em um colar com rolamento, que reduz de forma significativa os ruídos gerados pela ativação do sistema.

Assim foi definido o sistema de movimentação da mecânica da plataforma como sendo pro parafuso de potência com fuso com esfera e colar movidos por motor elétrico de corrente alternada.

A sequência da definição do escopo da parte de automatização do elevador segue da definição de produto da parte mecânica, onde foi decidido que a plataforma irá consistir em dois sistemas pantográficos, um deles fazendo papel de gaiola e outro a plataforma elevatória em si, logo serão necessários dois sistemas de elevação, um para cada sistema.

O comportamento da plataforma quanto ao seu acionamento terá a seguinte sequência:

1. O sistema pantográfico gaiola será elevado permitindo a entrada do usuário na plataforma;
2. O sistema pantográfico plataforma é elevado até o pavimento superior, onde o usuário desembarca no palco;
3. O sistema plataforma se abaixa até o pavimento inferior (solo);
4. O sistema gaiola se abaixa escondendo todo o sistema e finalizando a movimentação.

As imagens a seguir exemplificam cada movimento realizado pelo elevador, citadas anteriormente:

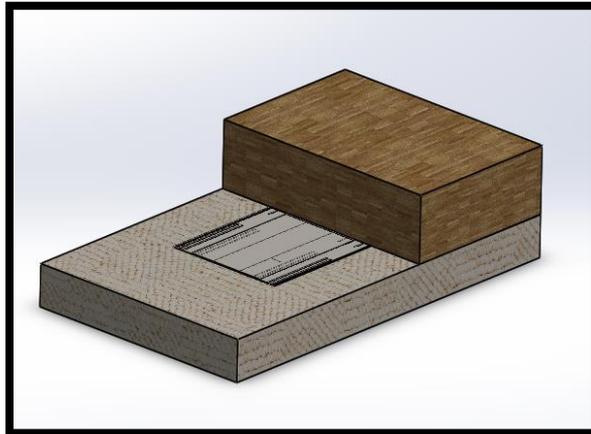


Figura 14 ±sistema sem uso. Fonte: autoria própria.

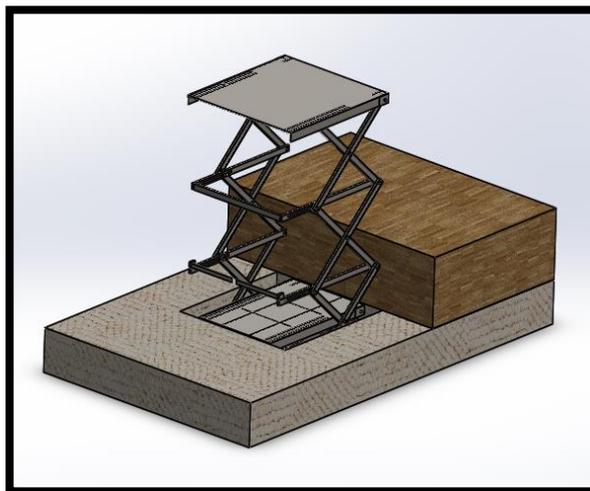


Figura 15 ±Sistema gaiola se eleva . Fonte: autoria própria.

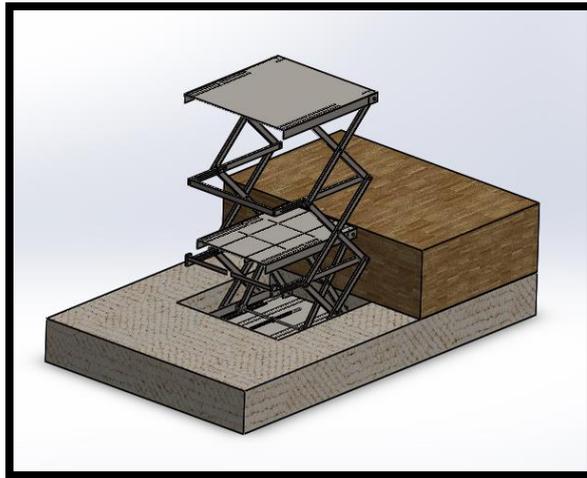


Figura 16 ±Sistema plataforma se eleva. Fonte: autoria própria.

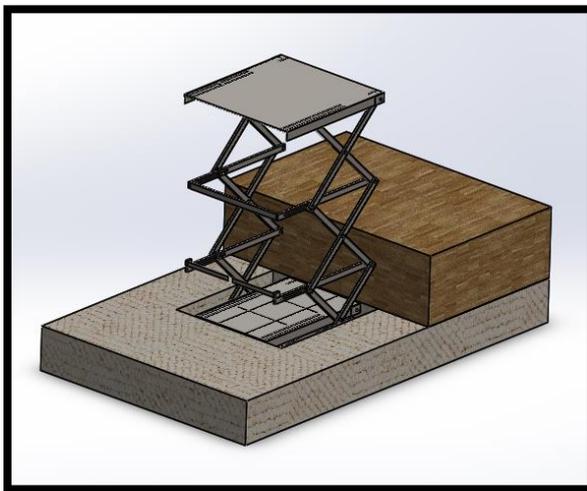


Figura 17 ±Sistema plataforma se abaixa. Fonte: autoria própria.

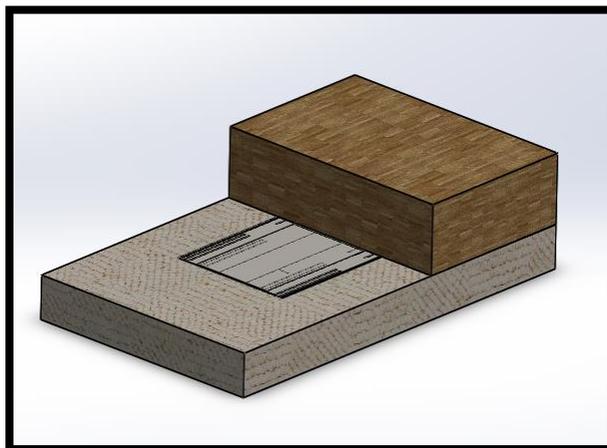


Figura 18 ±sistema todo abaixado. Fonte: autoria própria.

Como pode ser observado o sistema quando fechado simula o solo, porém quando elevado se transforma no teto do elevador. Devido a esse ocorrido será

necessária a implantação de sensores de segurança para garantir a segurança do usuário e esses sensores aliados aos sensores fim de curso, que determinarão a parada dos motores da gaiola e da plataforma no momento certo.

Assim é finalizado nosso escopo de projeto da parte de automatização o elevador definindo que será dimensionado um parafuso de potência para o sistema pantográfico gaiola e outro para o sistema pantográfico plataforma, os respectivos motores elétricos de acordo com a necessidade de cada um dos fusos e toda a parte de sensoriamento para garantir a segurança na utilização do elevador.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO PARAFUSO DE POTÊNCIA

A partir da definição a próxima etapa é o dimensionamento dos elementos de transmissão de movimento do elevador, iniciando pelos parafusos de potência.

Toda a parte de forças, cálculos dos esforços, tensões foram realizados no trabalho de dimensionamento mecânico serão, portanto, apenas citados para que possa ser realizado o dimensionamento dos parafusos de potência.

Dados para a realização do dimensionamento:

- Massa na qual a plataforma deve suportar: 500 kg;
- Força total: $F = 2,2545$ kN;
- Força crítica: $F_{cr} = 7,3575$ kN;
- Módulo de elasticidade: $E = 210$ GPa;
- Força de atrito: $f = 0,08$;
- Coeficiente de fricção: $f_c = 0,08$;
- Fator de correção de comprimento: 1;
- Comprimento da barra: 1,3 [m] para o caso da plataforma;
- Quantidade de roscas engrenadas no colar: $n = 2$;
- Diâmetro médio do colar: $d_c = 40$ mm.

A partir desses dados iniciais podemos definir o menor momento de inércia no parafuso que é definido pela fórmula (Fórmula de Euler manipulada de forma a ser encontrado o valor do momento de inércia):

$$I = \frac{Fcr*(k*E)^2}{\pi^2*E} \quad (13)$$

Temos assim: $I = 5,99 \times 10^{-9} \text{ m}^4$.

Tendo calculado o valor do momento de inércia é possível calcular o diâmetro necessário para o parafuso de potência suportar as forças por ele exigidas. Isso é possível através da fórmula:

$$I = \frac{\pi*d^4}{64} \quad (14)$$

A partir da fórmula (14) pode-se isolar o diâmetro d , o qual é desejado encontrar:

$$d = \left[\frac{I*64}{\pi} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (15)$$

Temos um diâmetro preliminar $d = 18,7 \text{ mm}$.

Através da tabela é possível encontrar um diâmetro que melhor se adequa ao diâmetro preliminar:

$$d = 20 \text{ mm.}$$

$$p = 4.$$

O próximo passo é o cálculo do diâmetro médio efetivo que é obtido pela fórmula:

$$dm = d - \left(\frac{p}{2} \right) \quad (16)$$

Obtendo o valor $dm = 18 \text{ mm}$.

A próxima etapa consiste em calcular o índice de esbeltez do fuso, que é encontrado através da seguinte equação:

$$\lambda = \frac{l}{r} \quad (17)$$

Onde: l = comprimento (m)

r = raio de giro (m)

Raio de giro que é encontrado da seguinte forma:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (18)$$

I = menor momento de inércia (m^4);

A = área da secção transversal (m^2).

Assim obtemos os resultados:

$$r = 4,3 \text{ mm.}$$

$$= 297,49.$$

O cálculo do índice de esbeltez se torna muito importante, pois é necessário garantir que não haja flambagem no parafuso de potência. Isso pode ser encontrado através da equação:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 * E}{\lambda^2} \quad (19)$$

Resultando em uma tensão crítica $\sigma_{cr} = 23,420 \text{ MPa}$.

Esta tensão deve ser comparada com a tensão de flambagem do material a ser utilizado no projeto, para o caso aço ABNT-1020. O aço ABNT-1020 tem como tensão de flambagem tabelada no valor de $\sigma = 210 \text{ Mpa}$, portanto não é preciso se

preocupar com falha por flambagem no sistema, pois a tensão crítica é menor que a tensão de escoamento a tração do material.

Por fim foi definido o parafuso de potência que será aplicado no sistema de movimentação da plataforma elevatória, o qual terá as características:

Comprimento: 1,30 m;

Diâmetro: 20 mm;

Passo: 4 mm;

Diâmetro efetivo 18 mm.

Na plataforma em questão serão utilizados dois parafusos de potência, um para o sistema gaiola e outro para o sistema plataforma, ambos com as mesmas especificações, pois sendo utilizado os valores de carga exigidos tanto pela plataforma como pela gaiola serão praticamente os mesmos.

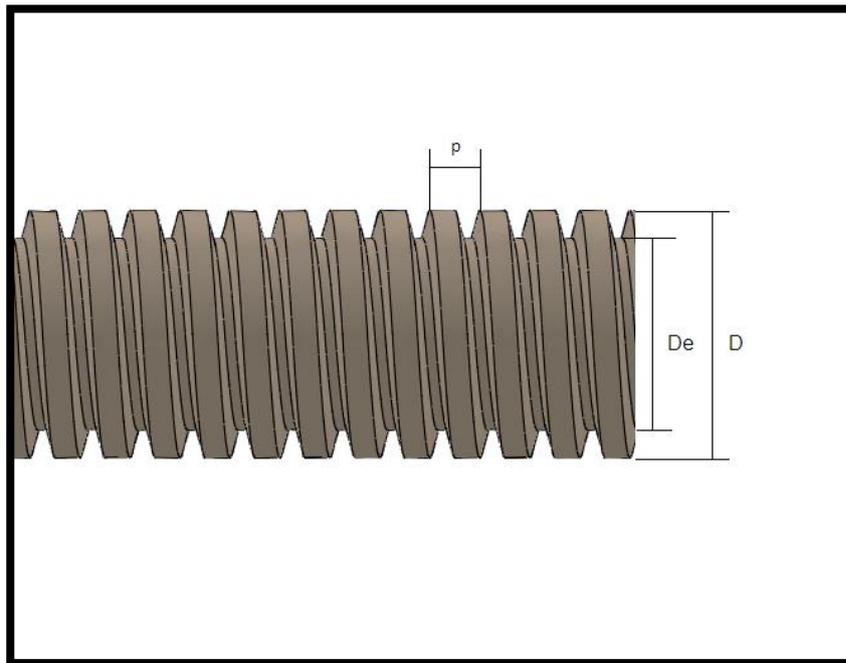


Figura 19 Parafuso de potência. Fonte: Autoria própria.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO MOTOR ELÉTRICO

A etapa que procede do dimensionamento do parafuso de potência é o dimensionamento do motor elétrico. É o motor elétrico, responsável por transformar energia elétrica em mecânica, que será o responsável pela movimentação de todo o sistema quando acoplado ao parafuso de potência.

Será realizado assim o cálculo do torque que será exigido pelo motor, e em sequência encontra-se a potência necessária através das fórmulas apresentadas anteriormente no capítulo 2.

Utilizando as equações (9) e (10), que trazem o torque necessário para o movimento do fuso somado ao torque necessário no colar engrenado. Fazendo a soma dessas duas equações temos todo o torque necessário a ser realizado pelo motor elétrico.

$$T = \frac{Fdm}{2} * \left(\frac{l + \pi f * dm * \sec \alpha}{\pi dm - fl * \sec \alpha} \right) + \frac{F f_c d_c}{2} \quad (20)$$

Onde:

F = força total atuando no sistema [N];

dm = diâmetro médio efetivo [m];

f = coeficiente de atrito (adimensional);

l = Avanço do parafuso de potência = $p * n$ (n = número de roscas engrenadas no colar) [m];

α = ângulo de inclinação do filete do parafuso de potência;

f_c = coeficiente de fricção;

d_c = diâmetro do colar [m].

É obtido assim um torque no valor de $T = 8,864 \text{ N*m}$.

O parafuso de potência, assim como todo sistema, possui perdas que são devido ao atrito. Pode-se calcular o torque do parafuso sem o atrito, simulando o parafuso levantando apenas a carga exigida. O torque sem atrito (T_0) é o valor ideal de trabalho.

$$T_0 = \frac{F * l}{2\pi} \quad (21)$$

Resultando em um valor $T_0 = 3,122 \text{ N*m}$.

O torque sem atrito é menor justamente por não estar exercendo a força para vencer a força de atrito que é contrária ao movimento.

A eficiência do parafuso de potência é calculada pela equação seguinte:

$$e = \frac{T_0}{T} \quad (22)$$

O valor obtido é: $e = 35,21\%$.

Definido o torque necessário para levantar a plataforma elevatória, deve-se agora buscar a potência do motor elétrico a ser adquirido. O primeiro passo é encontrar a rotação necessária para o parafuso de potência.

$$V = l * n \quad (23)$$

V = Velocidade de subida da plataforma [m/s];

n = rotação do parafuso de potência [rpm].

l = avanço do parafuso de potência [m].

Como a norma exige, a velocidade máxima de subida não deve ultrapassar 0,15 m/s. Essa deve ser a velocidade na vertical, porém como o parafuso de potência, para o nosso caso em específico, irá trabalhar na horizontal, portanto é preciso que seja realizada uma relação com a horizontal onde a velocidade de 0,15 m/s na vertical não seja ultrapassada.

Foi utilizada uma relação trigonométrica, demonstrada na parte de dimensionamento mecânico, onde é mostrada a inclinação do tubo quando a plataforma atinge o pavimento superior (palco do anfiteatro) e é tirado valores de altura h , deslocamento horizontal x' , tamanho do tubo x , além do ângulo e das forças aplicadas no sistema, demonstrada nas figuras seguintes:

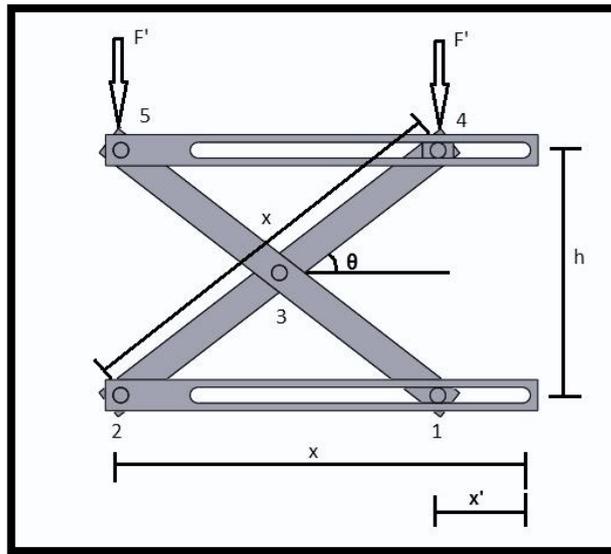


Figura 20 ±Esquema do movimento do sistema pantográfico quando no pavimento superior.
Fonte: autoria própria.

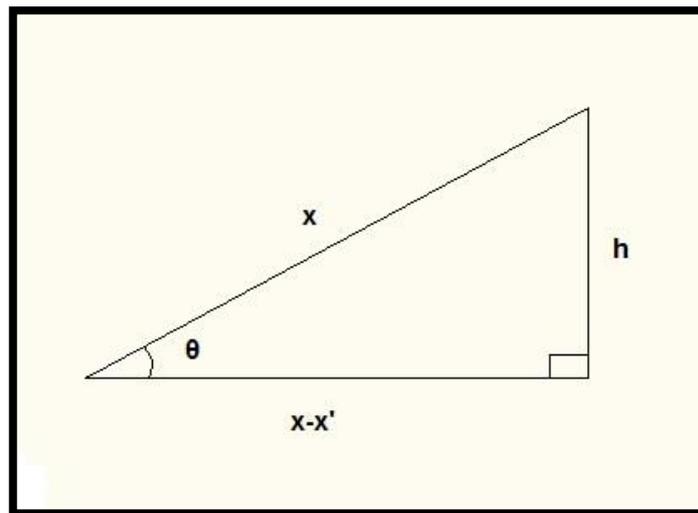


Figura 21 ±Relação trigonométrica obtida através da figura anterior. Fonte: a utoria própria .

A partir visualização das figuras é possível obter o quanto o colar “anda” na horizontal com relação a vertical.

O obstáculo que deve ser superado é representado por h e tem o seguinte valor: $h = 0,95 \text{ m}$.

Como a velocidade é $0,15 \text{ m/s}$ podemos encontrar o tempo de subida seguindo a equação:

$$t = \frac{h}{v} \quad (24)$$

Tendo como resultado um valor de $t = 6,4$ s.

Seguindo a figura 18, o valor deslocado pelo sistema é representado pelo x' , com x representando o comprimento do tubo da plataforma. É possível usar a relação de Pitágoras pois, observando a figura 19, temos um triângulo retângulo. A partir da equação de Pitágoras é isolado x' .

$$h^2 = (x - x')^2 + x^2 \quad (25)$$

Isolando:

$$x' = x - \sqrt{x^2 - h^2} \quad (26)$$

Assim é encontrado o deslocamento na horizontal com relação ao horizontal $x' = 0,42$ m. Agora nos cabe encontrar a velocidade horizontal.

$$V_h = \frac{x'}{t} \quad (27)$$

Obtendo um valor $V_h = 0,0659$ m/s.

Para que torne possível o cálculo da potência do motor elétrico é preciso que seja definida rotação do parafuso. Por isso foi necessário todo esse processo para que fosse encontrada a velocidade no fuso. Isso porque através da velocidade encontramos a rotação.

$$n = 60 * \frac{V_h}{l} \quad (28)$$

n = rotação do parafuso [rpm];

l = avanço do parafuso de potência [m].

Resultando: $n = 493,94$ rpm.

O resultado transformado em velocidade angular, unidade padrão para cálculo de potência, fica $w = 51,73$ rad/s.

Finalmente foi calculada a potência do motor elétrico que será necessário para que seja gerado o movimento da plataforma elevatória. Se faz através da fórmula (11).

$$P = T * w$$

Realizando a operação definimos que a potência desejada é de $P = 458,72$ W o equivalente a $P = 0,624$ Cv.

Para facilitar na escolha do motor elétrico e também para que seja garantida a eficiência do sistema, foi optado pela seleção de um motor elétrico de 1,0 Cv.

O motor elétrico foi selecionado através do catálogo da Weg disponível no site da empresa e em fixado ao trabalho no anexo A. O motor que mais se adequou ao processo foi o W22 Quattro, por suas características serem aproximadas do que é necessário, pois é indicado para uso em elevadores, é apto à operação com inversor de frequência, que controlará a rotação dos motores elétricos, sua velocidade não varia com a carga (operação síncrona) além de ser compacto, o que agrada devido ao pouco espaço que será trabalhado.

O Weg W22 Quattro selecionado tem uma frequência 60 Hz (padrão brasileiro), tensão de 220 V, 4 polos magnéticos e rotação de 1800 rpm. Seu peso de 14,5 Kg e nível de ruído 48 dB, que é um fator muito importante, pois como a plataforma elevatória será aplicada em um anfiteatro, é necessário que se tenha um baixo nível de ruído.



Figura 22 ±Motor elétrico WEG W22 Quattro.

Fonte: <http://www.wastewaterpr.com>

Lembrando que será um motor para o sistema gaiola e outro para o sistema plataforma, assim como serão dois parafusos de potência. Isso porque serão dois sistemas independentes com relação a movimentação, porém os sensores estarão ligados para impedir a ação de um ou de outro acordo com as medidas de segurança necessárias.

Os cálculos foram todos realizados em Excel e estão disponíveis no apêndice A.

3.4 APLICAÇÃO DOS SENSORES

Finalizada as etapas anteriores, onde o sistema de movimentação foi todo ele dimensionado, já temos movimento na plataforma elevatória, porém são necessárias as medidas de segurança que garanta que o usuário utilize a plataforma elevatória de forma confortável e segura.

3.4.1 Sensores fim de curso

A primeira etapa é garantir o desligamento do motor quando os sistemas chegam no seu destino, seja ele quando se abre ou se fecha é preciso que se tenha precisão quanto a localização, pois como a plataforma se eleva, é necessário que o nível entre ela e o pavimento seja o mesmo, garantindo o conforto do usuário ao entrar

ou sair da plataforma. Esses sensores são chamados sensores fim de curso, são muito utilizados, desde uso em portões eletrônicos e principalmente na indústria, em sistemas de automação.

Para o sistema será necessária a implementação de quatro sensores fim de curso. Quando a gaiola se eleva e chega no nível desejado o primeiro se aciona desligando o motor da gaiola, que chamarei de motor 1, quando a plataforma se eleva e chega no pavimento superior, o segundo sensor fim de curso se aciona desligando o motor da plataforma (motor 2), o motor 2 é novamente acionado para retornar ao solo, quando a plataforma retorna, o terceiro sensor aciona desligando novamente o motor 2 e por fim motor 1 é acionado para o retorno da gaiola e quando chega ao nível do solo, o motor 1 é desligado pelo quarto sensor.

Os sensores fim de curso serão responsáveis por enviar um pulso de sinal para o inversor de frequência, que tratará de parar cada motor. Tendo essas características definidas pode-se escolher os sensores que serão utilizados por catálogos.

Através do catálogo da empresa Schmersal ACE e foi escolhido um sensor invólucro termoplástico com alavanca roldana. O motor será desacionado sempre que o colar do parafuso de potência encostar no sensor.

O fim de curso selecionado pode ser visualizado através da figura a seguir:



Figura 23 ±Chave fim de curso. Fonte: catálogo Schmersal ±chaves de fim de curso.

3.4.2 Sensor de presença

O sensor de presença se faz necessário uma vez que quando o cadeirante estiver fazendo uso da plataforma elevatória, é preciso que seja garantido que a gaiola

não retorne, ou seja, que se mantenha elevada. Se o sensor de presença for ativado corta a corrente de energia para o motor no sentido de descida da gaiola como poderá ser visualizado a seguir através da programação lógica que se encontra na parte de inversor de frequência.

Foi selecionado um sensor de presença que é ativado por calor e é instalado no teto da plataforma que pode ser visualizado na figura 24. Este sensor é capaz de varrer toda a parte da plataforma garantindo que a gaiola não seja abaixada caso o usuário ou qualquer outra pessoa esteja dentro da plataforma.



Figura 24 ±Sensor de presença térmico . Fonte: <http://www.exatron.com.br> .

3.4.3 Inversor de frequência

Para que o sistema trabalhe da forma desejada, o parafuso de potência em conjunto com os sensores fim de curso, se faz necessária que seja programada uma lógica de operação, garantindo que o sistema irá se movimentar da forma correta e dentro das limitações necessárias para o uso da plataforma elevatória.

É o inversor de frequência quem irá pensar no sistema, emitindo os comandos para os motores elétricos realizarem as ações para elevar ou abaixar os sistemas da plataforma elevatória. Para que isso possa ocorrer, todos os sensores, botões e os motores devem ser ligados a ele, onde a lógica programada pode ler os sinais e emitir os comandos. Será ele também quem irá tratar de regular a rotação do motor elétrico, pois a rotação nominal é maior que a necessária, porém o torque se mantém com mesmo valor. O inversor de frequência tem especificações como corrente de saída,

tensão de alimentação, número de entradas e saídas, potência máxima que pode atual entre outras e todos esses fatores devem ser levados em consideração na hora da escolha do inversor para a aplicação no projeto. Todos esses parâmetros definidos, no catálogo da Weg para inversores de frequência e assim foi escolhido o inversor de frequência CFW11 ilustrado na figura a seguir:



Figura 25 – Inversor de frequência WEG CFW11. Fonte: Catálogo Weg Inversor de Frequência.

O CFW11 é um inversor que atende todas as nossas necessidades pois suporta dois motores interligados, regula a rotação do motor elétrico e lê programas lógicos necessário para garantir a movimentação correta dos sistemas da plataforma elevatória.

A lógica de programação, foi feita um modelo através de um software chamado WLP. É um software gratuito disponibilizado pela Weg para que possa ser programa a lógica do sistema, gerando as movimentações de maneira correta.

O sistema deve conter os seguintes passos:

1. A gaiola se eleva;
2. A plataforma se eleva;
3. A plataforma retorna;
4. A gaiola retorna.

Esses comandos serão realizados por dois botões, um para a gaiola e outro para a plataforma. A figura a seguir retrata a lógica de programação que o inversor de frequência irá atuar nos motores.

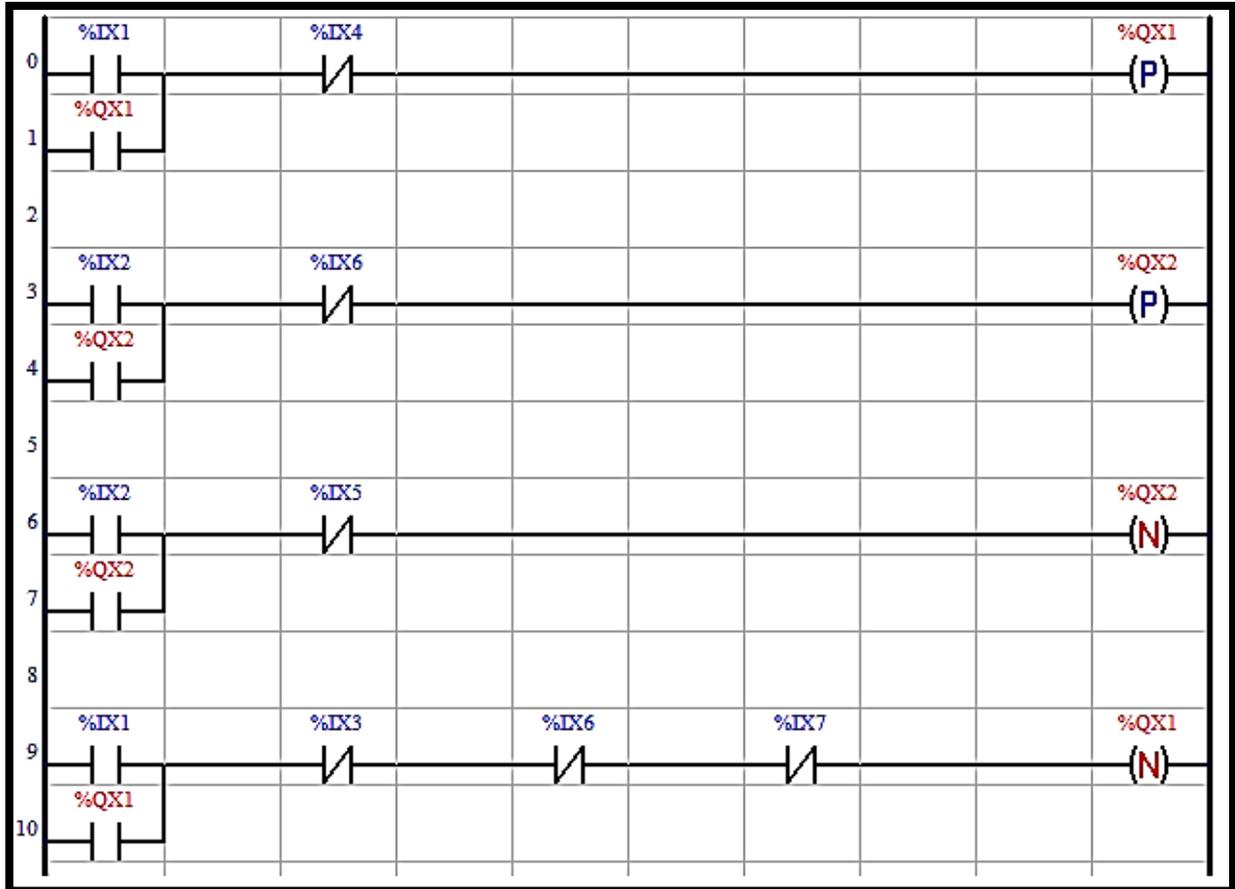


Figura 26 – Lógica programada através do software WL P. Fonte: autoria própria.

Onde:



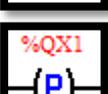
IX1 – Botão de acionamento da gaiola,



IX2 – Botão de acionamento da plataforma;



IX3 – Fim de curso que desativa o motor da gaiola quando se abaixa;

	IX4 – Fim de curso que desativa o motor da gaiola quando se eleva;
	IX5 – Fim de curso que desativa o motor da plataforma quando se abaixa;
	IX6 – Fim de curso que desativa o motor da plataforma quando se eleva;
	IX7 – Sensor de presença;
	QX1(N) – Contator motor da gaiola em sentido de descida;
	QX1(P) – Contator do motor da gaiola em sentido de subida;
	QX2(N) – Contator do motor da plataforma em sentido de descida;
	QX2(P) – Contador do motor da plataforma em sentido de subida.

Os botões tratam de dar apenas um pulso elétrico ao sistema, todas as lógicas tem ligação de selo, para garantir que o motor continue ligado mesmo depois de soltar o botão, desligando apenas quando chega no sensor fim de curso que envia um pulso pro inversor de frequência e na lógica, por ser normal fechados os fins de curso, acaba por desligar o motor elétrico.

Com isso toda a parte de automação e movimentação dos sistemas da plataforma elevatória foram definidos.

CAPÍTULO 4 ±CONCLUSÃO DO TRABALHO

4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e dimensionar a parte de automação de uma plataforma elevatória com sistema pantográfico, isso devido a necessidade de aplicar acessibilidade no anfiteatro na universidade UTFPR-CP.

O produto foi desenvolvido em conjunto com a parte mecânica da plataforma elevatória desenvolvida em parceria com o aluno de engenharia mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Cornélio Procópio (UTFPR-CP) e seguiu uma literatura de desenvolvimento de produto, o PDP (Processo de desenvolvimento de produtos). Após a colheita de informações a respeito, as normalizações a serem seguidas, as etapas de desenvolvimento de produto deram lugar ao dimensionamento das partes envolvidas, seguindo o modelo de dimensionado proposto em literatura de resistência dos materiais. Ao final se obteve a parte de movimentação e segurança lógica do sistema para que o usuário possa utilizar a plataforma elevatória com segurança e conforto.

O trabalho procura mostrar a importância de uma literatura envolvida nas tomadas de decisões com relação ao desenvolvimento de produto, pois foi possível visualizar que ao se colher dados de um determinar problema, existem diversas maneiras de resolução. A melhor maneira de resolução, quando apoiada por uma literatura, tem muito mais chances de êxito.

Essa etapa de dimensionado está apta a ser produzida e, juntamente com a parte mecânica, instalada e aplicada no anfiteatro da universidade ou outro local onde se fazem necessárias as mesmas condições de uso já citadas no decorrer do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ROMANO, L.N. Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas. Florianópolis, 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

ROZENFELD, H. et al. Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Editora Saraiva, 1 ed. 2006.

SHIGLEY, J. E. Projeto de engenharia mecânica. São Paulo: Bookman, 2005.

Chaves fim de curso. Disponível em: <http://www.automatizesensores.com.br>. Acesso em: 28 abr. 2014.

Inversor de frequência CFW100. Disponível em: <http://www.weg.net/br>. Acesso em: 05 maio 2014.

Elevador automotivo de colunas. Disponível em: <http://www.montesuaoficina.com.br>. Acesso em: 05 maio 2014.

Plataforma pantográfica. Disponível em: <http://www.ferramentaskennedy.com.br>. Acesso em: 05 maio 2014.

Pantográfico com sistema mecânico. Disponível em: <http://www.prolab.com.br>. Acesso em: 06 maio 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15655-1: Plataforma de elevação motorizadas para pessoas com mobilidade reduzida. Parte 1: plataformas de elevação vertical. Rio de Janeiro, 2009.

HIBBELER, R. C. Resistência dos materiais . São Paulo: LTC, 5. ed. 2004.

WEG S.A. Catálogo virtual ± seleção de motores elétricos. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/>. Acesso em: 14 maio 2014.

SCHMERSAL ACE. Catálogo chaves fim de curso . Disponível para download em: <http://www.schmersal.com.br>. Acesso em: 17 jul. 2014.

EXTRATON. Sensores de presença térmicos . Disponível em: <http://www.exatron.com.br>. Acesso: 19 jun. 2014.

WEG S.A. Drives - inversores de frequência - CFW11. Disponível em: <http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Inversores-de-Frequencia/CFW11>. Acesso em: 16 jul. 2014.

ANEXOS

ANEXO A – Tabela para seleção de motores elétricos.



W22 Quattro

<http://www.weg.net>

Norma	Frequência	Tensão nominal	Polo s	Potência HP (cv)	Carcaça	Ip / In	Momento de inércia	Peso	Nível de ruído	Fator de serviço	Rotação nominal
IEC	60 Hz	220/380/440V	4	1.00	80	6.8	0.00250 kgm	14.5 kg	48 dB(A)	1.00	1800 rpm
IEC	60 Hz	380/660V	4	1.00	80	6.8	0.00250 kgm	14.5 kg	48 dB(A)	1.00	1800 rpm
IEC	60 Hz	440V	4	1.00	80	6.8	0.00250 kgm	14.5 kg	48 dB(A)	1.00	1800 rpm
IEC	60 Hz	220/380V	6	1.00	90L	6.4	0.00495 kgm	23.0 kg	49 dB(A)	1.00	1200 rpm
IEC	60 Hz	220/380/440V	6	1.00	90L	6.4	0.00495 kgm	23.0 kg	49 dB(A)	1.00	1200 rpm
IEC	60 Hz	380/660V	6	1.00	90L	6.4	0.00495 kgm	23.0 kg	49 dB(A)	1.00	1200 rpm
IEC	60 Hz	440V	6	1.00	90L	6.4	0.00495 kgm	23.0 kg	49 dB(A)	1.00	1200 rpm

APÊNDICES

APENDICE A – Apresentação dos cálculos realizados em Excel.

Parafuso de Potência		
Ft-Força total [kN]	2,4525	
Fcr-Força Crítica [kN]	7,3575	
Módulo de elasticidade [Pa]	2,1E+11	
k - Fator de correção do comprimento	1	
L - Comprimento [m]	1,3	
I - Menor momento de inércia [m ⁴]	5,9992609	
d - Diâmetro preliminar [mm]	18,6974340	
d - Diâmetro preliminar tabelado [mm]	20	
dm - Diâmetro médio (efetivo) [mm]	18	
p - Passo [mm]	4	
n - quantidade de rosca	2	
l - Avanço do parafuso de potência [m]	8	
f - Força de atrito	0,08	
A - Área seção transversal [m ²]	0,00031415	
r - Raio de giro [m]	0,0043699	
Índice de esbeltez	297,487910	
Tensão crítica [N/m ²]	23419649,8	
tensão [N/m ²]	23419649,8	
dc - diâmetro médio do colar [mm]	40	
fc - Coeficiente de fricção	0,08	
Tc - Torque colar	3,924	
Rosca quadrada		
Tr - Torque de subida [N*m]	8,8683789	
TL - Torque de descida [N*m]	2,5823642	
e - Eficiência	35,2107190	
Rosca Acme ou outra		
Ângulo de rosca α	29	
Tr - Torque de subida [N*m]	5,0050247	
Tempo de subida [s]	6,3803586	
V - Velocidade de subida [m/s]	0,15	
Vh - Velocidade na horizontal [m/s]	0,0658583	
n - Rotação do parafuso [rpm]	493,93775	
w - Velocidade angular [rad/s]	51,7250406	
Potencia sem perdas [W]		
P - Potência Necessária [W]	458,717259	258,88508
P - Potência Necessária [cv]	0,6236808	0,3519851