



INSTITUTO FEDERAL
MINAS GERAIS

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – CAMPUS AVANÇADO ARCOS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

FABIO LUCAS CAMPOS MARTINS
FELIPE FERNANDES LOPES
GUILHERME PEREIRA DE MELO
MARCUS HENRIK PEREIRA JÚNIOR
VINICIUS FONSECA DA SILVA

TRABALHO ACADÊMICO INTEGRADOR I
CONSTRUÇÃO DE ELEVADOR DE CANECAS

ARCOS-MG
OUTUBRO/2016



**INSTITUTO FEDERAL
MINAS GERAIS**

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – CAMPUS AVANÇADO ARCOS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**FABIO LUCAS CAMPOS MARTINS
FELIPE FERNANDES LOPES
GUILHERME PEREIRA DE MELO
MARCUS HENRIK PEREIRA JÚNIOR
VINICIUS FONSECA DA SILVA**

**TRABALHO ACADÊMICO INTEGRADOR – CONSTRUÇÃO DE ELEVADOR
DE CANECAS**

Relatório final apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais(IFMG), referente ao Trabalho Acadêmico Integrador, como requisito parcial para aprovação em todas as disciplinas ministras no 1º período do Curso de Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Niltom Vieira Junior.

**ARCOS-MG
OUTUBRO/2016**

BANCA EXAMINADORA

Relatório referente ao Trabalho Acadêmico Integrador (TAI),
apresentado em ___ de _____ de 2016, avaliado pela banca examinadora
constituída pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Niltom Vieira Junior

(Nome do professor: _____)

(Nome do professor: _____)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos ajudar em mais uma conquista. Agradecemos também ao curso de engenharia mecânica pela experiências e conhecimentos adquiridos ao longo do curso e de nos proporcionar a experiência de trabalhar em equipe durante o semestre. E por fim agradecemos a todos aqueles que de alguma forma nos ajudaram no desenvolvimento do projeto, com suas ideias e com as doações de peças reaproveitadas.

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade colocar em práticas os conceitos das disciplinas do curso de engenharia mecânica, aplicando cálculo, física, geometria analítica, CTS (ciência, tecnologia e sociedade) e desenho computacional a um projeto integrador. Depois de várias pesquisas, decidiu-se fazer a construção de um protótipo de elevador de canecas. Assim foi feito um estudo para obter maiores conhecimentos sobre sua composição. O trabalho tem como objetivo também estimular a criatividade dos alunos ao construir um projeto em grupo de maneira organizada e estipulando metas. E no final, o trabalho será avaliado por uma banca, onde ganhara uma nota referente à disciplina TAI (Trabalho acadêmico integrador).

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elevador de canecas	13
Figura 2: Tambor de acionamento	15
Figura 3: Cabeça do elevador	16
Figura 4: Estrutura central ou corpo	16
Figura 5: Pé do elevador	17
Figura 6: Canecas	18
Figura 7: Movimento circular uniforme	22
Figura 8: Rotação de corpo rígido	23
Figura 9: Vetores Velocidade linear	24
Figura 10: Área do paralelogramo	26
Figura 11: Perpendicularidade do vetor \mathbf{n} ao plano π	27
Figura 12: Motor elétrico de tanquinho	28
Figura 13: Peça de acrílico	29
Figura 14: Primeiro eixo utilizado	29
Figura 15: Ferramentas utilizadas	30
Figura 16: Correia com as canecas	31
Figura 17: Elevador de canecas vista traseira	32
Figura 18: Elevador de canecas vista frontal	33
Figura 19: Formação de pilha de material.	35
Figura 20: Gráfico Tempo x Posição	37
Figura 21: Representação do sistema de transmissão	37
Figura 22: Representação dos vetores velocidade tangencial e aceleração centrípeta da correia com relação ao tambor	40
Figura 23: Produto Vetorial para encontrar a área	46
Figura 24: Perpendicularidade dos vetores \mathbf{o} e \mathbf{p} com relação ao plano π	48

Sumário

1.INTRODUÇÃO.....	9
2.OBJETIVOS.....	10
2.1. Objetivo geral	10
2.2. Objetivos específicos.....	10
3.JUSTIFICATIVA	11
4.REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
4.1. Elevador de canecas.....	12
4.2. Tipos de elevador de canecas.....	13
4.2.1. Elevador contínuo.....	13
4.2.2. Elevador centrífugo	14
4.3. Principais componentes dos elevadores de canecas	15
4.3.1. Tambor de acionamento e tambor de retorno.....	15
4.3.2. Cabeça do elevador.....	15
4.3.3. Estrutura central ou corpo do elevador.....	16
4.3.4. Pé do elevador	17
4.3.5. Canecas.....	17
4.3.6. Calha de descarga	18
4.3.7. Calha de alimentação.....	18
4.4. Aplicação das disciplinas.....	18
4.4.1. Calculo I.....	18
4.4.2. Ciência, Tecnologia e Sociedade	19
4.4.3. Desenho técnico	20
4.4.4. Física I.....	21
4.4.5. Geometria analítica	25
4.5. Relevância do trabalho.....	27
5.METODOLOGIA.....	28
6.RESULTADOS E APLICAÇÕES	35
6.1. Cálculo I.....	35
6.2. Física I.....	37
6.3. Geometria analítica	46
3.CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS	50

Anexo 1	52
Anexo 2	53
Anexo 3	54

1. INTRODUÇÃO

Os elevadores de canecas se tornaram essenciais nos transportes de materiais a granel, e são vitais nas grandes indústrias alimentícias. O mercado responsável pela as construções dos elevadores de canecas só tendem a crescer cada vez mais, devido a sua grande demanda nas indústrias, pois, além dele ocupar pouco espaço é mais econômico do que outros equipamentos que tem a mesma função.

A ideia principal do projeto em questão é as aplicações dos conteúdos estudados em sala de aula, que devem ser usadas para efetuar os cálculos referentes ao elevador. Para o desenvolvimento do trabalho foram feitas pesquisas que mostrassem como o elevador funciona e de quais materiais e ferramentas seriam necessárias para a sua construção.

Por fim, cada capítulo do trabalho traz uma abordagem diferente sobre o trabalho, apresentando maiores detalhes sobre os elevadores de canecas, além de mostrar as etapas de construção do projeto e os materiais utilizados no mesmo (que foram reaproveitados de maneiras criativas).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como finalidade, a construção de um protótipo funcional de elevador de canecas centrífugo de correia.

2.2. Objetivos específicos

- Aprofundar os conhecimentos em equipamentos de transporte vertical, como elevadores de canecas;
- Exercitar a criatividade para solucionar problemas;
- Desenvolver de forma eficaz um projeto;
- Desenvolver habilidade de trabalho em equipe;
- Estudar e aplicar de forma pratica os conceitos estudados.

3. JUSTIFICATIVA

Sendo o Brasil um dos maiores produtores de grãos do mundo, com uma produção chegando a 189,3 milhões de toneladas no ano 2015/2016, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2016), há a necessidade sempre crescente de armazenar e transportar toda essa produção com o mínimo de gastos e rapidez.

Depois de extensa revisão bibliográfica, chegou-se à ao consenso em grupo de construir um elevador de canecas a granéis sólidos para ter uma melhor aplicação das matérias pedidas em TAI.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Elevador de canecas

“O transportador denominado elevador de canecas ou caçambas é um equipamento que tem a finalidade de elevar materiais granulados a uma altura suficiente para despejá-los em algum ponto pré-determinado através das calhas ou tubulações” (KEPLER WEBER, 2004).

A partir de tal afirmação constatou-se a grande importância do elevador de canecas ou caçambas, visto que é essencial em algumas atividades industriais a elevação de materiais a granel de um ponto a outro. Os elevadores de canecas são considerados os melhores meios de transportes verticais de material a granel, pois, conseguem efetuar esses transportes verticais com eficiência e economia de custo e espaço físico.

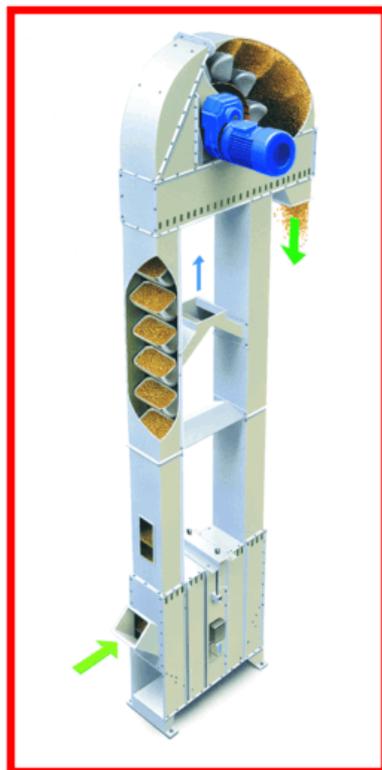
“Os primeiros desses equipamentos de que se tem notícia na história foram usados na Babilônia. O sistema era constituído de cestas que eram cheias com água e elevadas até uma dada altura para a finalidade de irrigação” (SANTOS, 2010).

Devido a sua simplicidade e fácil de implantação o elevador de canecas mantém-se com poucas mudanças, tendo apenas incorporado novas tecnologias ao longo dos anos. Eles são construídos de acordo com o material a ser transportado, e podem possuir várias formas, podendo variar sua inclinação de 90° a 70° considerando sua altura e características físicas do produto a ser transportado.

“A descarga dos elevadores pode ser de dois tipos: descarga centrífuga ou gravitacional. Já a sua construção pode ser com correia ou correntes, dependendo da velocidade utilizada no transporte dos materiais granulados. Os mesmos são fabricados em vários tipos, em função das características do material a ser transportado” (WEBER, 2004).

Como descrito por no manual de Weber (2004) os elevadores de canecas podem ser classificados de muitas formas, na Figura 1 vê-se um exemplo de elevador de canecas centrífugo.

Figura 1: Elevador de canecas



Fonte: http://www.fabricadoprojeto.com.br/wp-content/uploads/2013/02/bucket_elevador1.gif
(Acessado em: 20 de set. 2016).

4.2. Tipos de elevador de canecas

Os elevadores de canecas podem ser classificados em dois tipos, que são dados em função de seu sistema de descarga: centrífugo ou contínuo. E suas canecas podem ter duas ligações diferentes: correia ou corrente.

4.2.1. Elevador contínuo

“Os elevadores contínuos caracterizam-se por suas canecas pouco espaçadas, por sua baixa velocidade e também por na maioria das vezes, trabalharem em plano inclinado de 30° com a vertical, porém podem operar verticalmente” (WEBER, 2004).

“Este tipo de elevador foi projetado para elevação de materiais abrasivos e de alta granulometria, mas são também empregados na elevação de materiais frágeis ou extremamente finos como cimento e cal. Sua inclinação e baixa velocidade lhe proporcionam excelente rendimento devido à facilidade de

alimentação total das canecas assim como descarga mais suave” (YAMAKI, 2014).

Como definido por Weber (2004) e Yamaki (2014), os elevadores de canecas contínuos trabalham com velocidades mais reduzidas, porém trabalham com o nível de carga de suas canecas mais alto fazendo-os serem mais eficientes e são projetados para a elevação de materiais abrasivos e de alta granulometria, mas também podem ser utilizados para a elevação de materiais frágeis ou finos como cal ou cimento. Além de não existir praticamente nenhum espaço entre as canecas e seu formato lhe proporcionar uma um total carregamento, faz como que na descarga, a caneca da frente sirva de calha de descarga do material da caneca anterior.

- Contínuo de correia: são encontrados geralmente em transportes de materiais frágeis, fluidos ou pulverizados. Esse tipo de elevador possui carregamento por alimentação direta e operam em baixa velocidade, suas cabeceiras são maiores que o dos elevadores centrífugos.
- Contínuo de corrente: é utilizado para transportar materiais pesados e de maior granulometria, suas canecas são fixadas por um par de correntes que tem seu acionamento por rodas dentadas.

4.2.2. Elevador centrífugo

“Os elevadores centrífugos são elevadores que possuem as canecas espaçadas, operam na vertical e em velocidade maior que os contínuos. A descarga do material elevado é feita pela ação da força centrífuga desenvolvida quando as canecas passam ao redor do tambor de acionamento. São indicados para elevação de materiais de livre vazão, tais como grãos, areia, carvão triturado e produtos químicos secos” (WEBER, 2004).

Como visto, os elevadores de canecas centrífugos são mais indicados para grãos fazendo-os serem mais utilizados pela agroindústria dentro de sistemas de estocagem.

- Centrífugo de corrente: este tipo de elevador é utilizado para materiais de escoamento fácil e não abrasivo. Para o movimento das correntes são utilizadas rodas dentadas, que impedem o deslizamento durante seu funcionamento.
- Centrífugo de correia: normalmente são utilizadas para transporte de materiais finos, secos e de fácil escoamento, e que não possuam fragmentos que possam estragar ou danificar a correia. As canecas são fixadas diretamente na correia por parafusos.

4.3. Principais componentes dos elevadores de canecas

Independente da classificação do elevador de canecas, ele irá possuir alguns componentes básicos descritos a seguir.

4.3.1. Tambor de acionamento e tambor de retorno

Tambor de acionamento ou tambor de cabeça está localizado na parte superior do elevador. Ele é o responsável pelo movimento da correia onde as canecas estão fixadas. Tambor de retorno é onde se localiza o esticador, responsável por alinhar e tencionar a correia/corrente com as canecas. Na Figura 2 tem-se o tambor de acionamento.

Figura 2: Tambor de acionamento

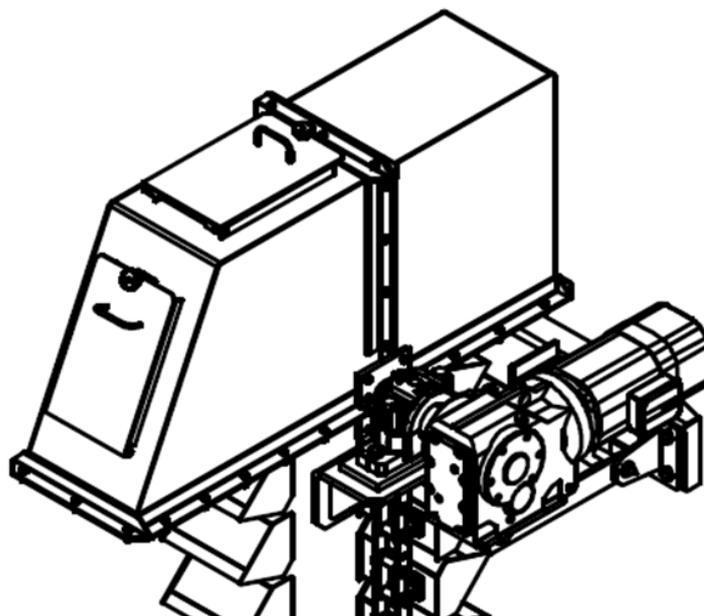


Fonte: <http://www.espmetalurgica.com.br/produtos> (Acessado em 04 de dezembro de 2016)

4.3.2. Cabeça do elevador

Cabeça do elevador ou de motorização como visto na Figura 3, se localiza na parte superior da estrutura do elevador, onde é posicionado o tambor de acionamento e a calha de descarga. Segundo Yamaki (2014) é “neste componente que é realizada a descarga do material granulado e onde se encontra a unidade completa de acionamento, não é posicionada o tambor de acionamento, o freio de retrocesso e a calha de descarga. A boca d descarga situa-se sempre no lado descendente das canecas”.

Figura 3: Cabeça do elevador

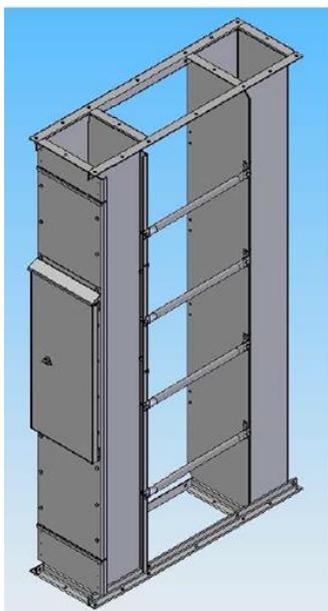


Fonte: Rexnord (2013)

4.3.3. Estrutura central ou corpo do elevador

A estrutura central como visto na Figura 4, é a parte que interliga a cabeça e o pé do elevador. Geralmente são construídas em chapa de solda ou madeira com reforço de cantoneiras, e tem sua fixação feita através de parafusos.

Figura 4: Estrutura central ou corpo

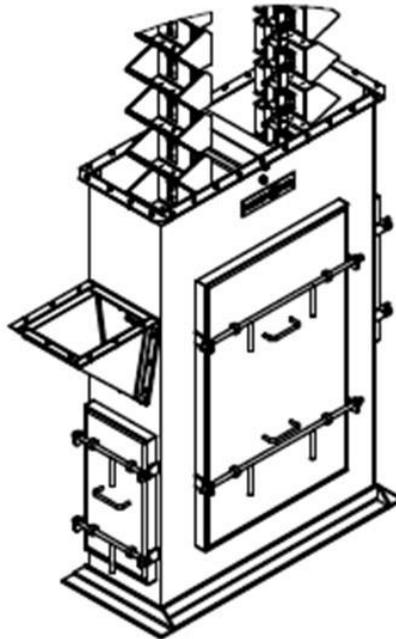


Fonte: Weber (2004)

4.3.4. Pé do elevador

Essa é a parte inferior do elevador de canecas, na qual se localiza o tambor de retorno, a calha de alimentação e o esticador. A Figura 5 ilustra tal conjunto.

Figura 5: Pé do elevador



Fonte: Rexnord (2013)

4.3.5. Canecas

As canecas ou também chamadas de caçambas, são feitas em chapas soldadas ou de plástico reforçado. Na Figura 6 tem como exemplo canecas feita de plástico reforçado.

Figura 6: Canecas



Fonte: <http://www.plasnec.com.br/canecas-elevadores.php> (visualizado em 04 de dezembro de 2016)

4.3.6. Calha de descarga

Ela se localiza na parte superior do elevador, e tem como função guiar o material a ser descarregado pela caneca.

4.3.7. Calha de alimentação

Sua função é captar o material a ser transportado pelo elevador, onde se localiza na parte inferior do mesmo.

4.4. Aplicação das disciplinas

4.4.1. Cálculo I

Stewart (2014) definiu que “a reta tangente a $y = f(x)$ em $(a, f(a))$ é a reta que passa em $(a, f(a))$, cuja inclinação é igual a $f'(a)$, a derivada de f em a .”

“[...] se $y = f(x)$, então a derivada dy/dx pode ser interpretada como a taxa de variação de y em relação a x [...] Se x variar de x_1 a x_2 , então a variação em x será” (STEWART, 2014).

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

E a variação correspondente em y será:

$$\Delta y = f(x_2) - f(x_1)$$

“[...] é a taxa média de variação de y em relação a x sobre o intervalo $[x_1, x_2]$ e pode ser interpretada como a inclinação da reta secante PQ . Seu limite como $\Delta x \rightarrow 0$ é a derivada $f'(x_1)$, que pode portanto ser interpretada como a taxa instantânea de variação de y em relação a x ou a inclinação da reta tangente em $P(x_1, f(x_1))$. Usando a notação de Leibniz, escrevemos o processo na forma” (STEWART, 2014)

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

4.4.2. Ciência, Tecnologia e Sociedade

O elevador de canecas é destinado ao transporte por elevação de diversos produtos, buscando a praticidade dentro das empresas.

O protótipo funciona com um motor (de máquina de lavar) de 0,18kW, 60Hz, 110/220V, e conta um potenciômetro.

Pensando nos constantes problemas causados pela utilização de energias não renováveis e também na modernidade do projeto, buscaram-se algumas fontes renováveis de energia. As possibilidades encontradas são; a energia solar, energia eólica e energia de biomassa.

- Energia eólica

A energia eólica é a energia produzida pelo vento. Essa energia é utilizada há muito tempo pelo homem, moinhos e embarcações, são alguns exemplos de onde essa energia era utilizada.

Atualmente essa fonte de energia não é muito utilizada, apenas 1,4% da energia gerada no mundo provém de fontes eólicas.

Existem várias formas de se produzir energia elétrica através da força dos ventos. O meio mais comum é através de aerogeradores. Seu funcionamento é simples como se pode observar; pás que giram com a força do vento, fazem com que o rotor gire, que por sua vez transmite a rotação para o gerador, o gerador converte

normalmente em um conjunto com o conversor de potência a energia mecânica recebida em energia elétrica.

- Energia solar

A energia solar é a energia obtida através do sol. Essa energia vem crescendo no Brasil a passos largos. Existem benefícios econômicos e ambientais que estão ajudando no desenvolvimento desta fonte de energia renovável.

Essa fonte de energia é bastante utilizada em todo o mundo, Alemanha, Itália e o Japão, são os três países que mais utilizam desta energia limpa, renovável e infinita.

A obtenção da energia solar é através de forma direta ou indireta. A forma direta é através de células fotovoltaicas, que na maioria das vezes são feitas de silício. Quando a luz solar atinge as células, é diretamente convertida em eletricidade. Já a forma indireta, seria necessária a construção de uma usina em áreas de grande insolação.

Se não fosse o alto custo de sua instalação, poderia ser a opção mais viável para o projeto.

- Energia de biomassa

Energia de biomassa é a energia gerada por meio da decomposição de materiais orgânicos. Algumas fontes que se utilizam para a produção desta energia são; a biomassa agrícola, sobra de serragem, esterco, vegetais, frutas, bagaço de cana e alguns tipos de esgoto.

Como a energia de biomassa é renovável, ela diminui a emissão de CO₂ na atmosfera, que é o principal causador do efeito estufa.

Existem várias formas de se gerar essa energia, mas as três principais são; combustão, gaseificação e a fermentação.

Para o projeto, foi cogitado utilizar o meio da combustão, que consiste na liberação de calor para a produção da energia elétrica.

Das três opções apresentadas, a mais viável para o projeto, é a energia de biomassa, através da combustão, por ser a que tem o menor custo.

4.4.3. Desenho técnico

O desenho técnico de um projeto é muito importante para uma melhor compreensão do que será feito, de acordo com Zattar (2016) “O desenho técnico pode

ser definido como a clara representação gráfica de um objeto, a qual não permite quaisquer dúvidas na descrição do seu tamanho e formato”.

No trabalho desenhado no *software* AutoCad, foi utiliza as vistas ortográficas (Vistas ortográficas ou vistas ortogonais são as projeções de um objeto a partir de observadores situados no infinito, perpendiculares aos planos de projeção) para um melhor entendimento do projeto observado de diferentes posições.

Para uma melhor compreesão de algumas peças inclinadas, foi necessario a utilização de vista auxiliares.

“[...] as vistas auxiliares são emprega para mostrar as formas das superfícies inclinadas em suas verdadeiras grandezas. A finalidade é representar com clareza as formas especiais dos objetos, uma vez que este é exatamente o objetivo do desenho técnico: apresentar as vistas de acor com suas dimensões” (RIBEIRO; et al, 2013).

E por fim foi feito o dimensionamento do projeto, pois “umas das etapas mais importante na elaboração de desenhos é a colocação das dimensões (cotas)” (RIBEIRO; et al; 2013) para que assim possa saber as dimensões de cada parte do trabalho, facilitando seu entendimento.

Nos Anexos se encontram todos os desenhos técnicos.

4.4.4. Física I

“O deslocamento de uma partícula no intervalo de tempo entre t_1 e t_2 é o vetor que liga P_1 e P_2 . O componente x do deslocamento do carro, designado como Δx , é simplesmente a variação da coordenada x ” (YOUNG; FREEDMAN, 2016):

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

“[...] é importante reconhecer a diferença entre deslocamento e distância percorrida. A distância percorrida por uma partícula é o comprimento do caminho descrito pela partícula de sua posição inicial até sua posição final. Distância é uma quantidade escalar e é sempre indicada por um número positivo. Deslocamento é a variação de posição de uma partícula” (TIPLER, 2014).

Segundo Young e Freedman (2016) “Velocidade média, é o componente x do deslocamento, Δx , dividido pelo intervalo de tempo Δt durante o qual ocorre o deslocamento”.

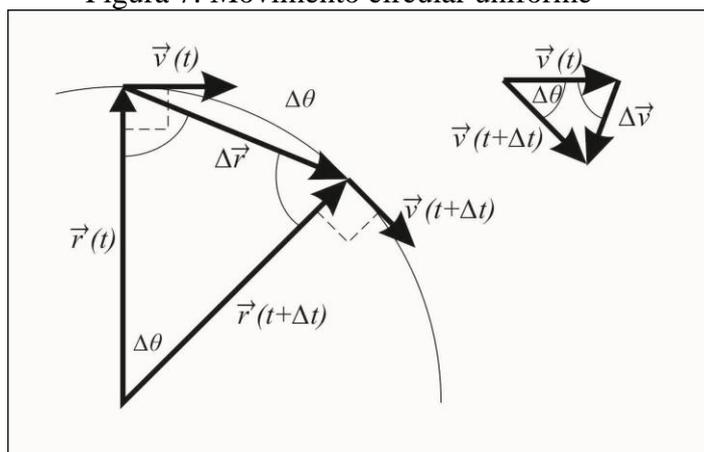
$$v_{mx} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

“O movimento em um círculo com rapidez constante é chamado de movimento circular uniforme. Mesmo que a rapidez da partícula em movimento circular uniforme esteja se mantendo constante, a partícula está acelerada” (TIPLER, 2014).

Como demonstrado na Figura 7, “o ângulo $\Delta\theta$ entre \vec{v} e $\vec{v}(t + \Delta t)$ é igual ao ângulo entre $\vec{r}(t)$ e $\vec{r}(t + \Delta t)$, porque \vec{r} e \vec{v} giram ambos do mesmo ângulo $\Delta\theta$ durante o tempo Δt . Um triângulo é formado pelos dois vetores velocidade e o vetor $\Delta\vec{v}$ e um segundo triângulo é formado pelos dois vetores posição e o vetor $\Delta\vec{r}$ ” (TIPLER, 2016).

$$a_c = \frac{v^2}{r} \quad \text{ou} \quad a_c = \omega^2 r$$

Figura 7: Movimento circular uniforme



Fonte: Tipler (2016)

“[...] a aceleração centrípeta é a componente do vetor aceleração com a orientação centrípeta. O movimento de uma partícula movendo-se em um círculo com rapidez constante é muitas vezes descrito em termos do tempo t necessário para uma volta completa chamado de período. Durante um período, a partícula viaja uma distância de $2\pi r$ (onde o r é o raio do círculo) então sua rapidez v está relacionada a r e t por:” (TIPLER, 2016).

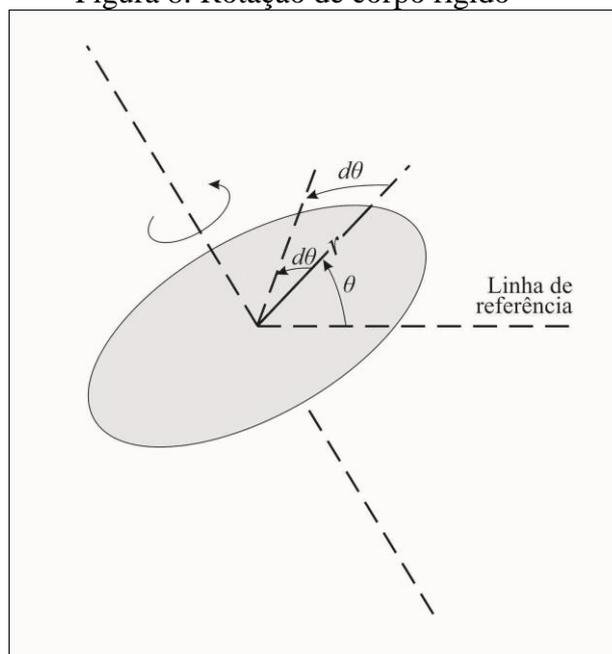
$$v = \frac{2\pi r}{t}$$

“Todo ponto de um corpo rígido que gira em torno de um eixo fixo se move em um círculo cujo centro está no eixo e cujo raio é a distância radial do ponto ao eixo de rotação. Um raio traçado do eixo

de rotação a qualquer ponto do corpo varre o mesmo ângulo no mesmo tempo” (TIPLER, 2016).

“Se o sentido anti-horário é convencionado como o positivo, então $d\theta$, θ_i e ds_i mostrado na Figura 8, são todos positivos. [...] o ângulo θ e o deslocamento orientado ds e a distância r_i variam de partícula para partícula, mas a razão ds_i/r_i , chamada de deslocamento angular $d\theta$, é a mesma para todas as partículas do raio” (TIPLER, 2016).

Figura 8: Rotação de corpo rígido



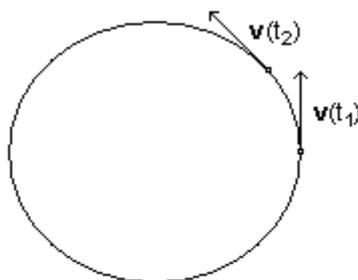
Fonte: Tipler (2016)

Tendo as definições de movimento de corpo rígido e de deslocamento angular, dadas por Tipler (2016) foi-se encontrado a taxa temporal de variação do ângulo chamada de velocidade angular.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

“O vetor velocidade linear é sempre tangente à trajetória e varia continuamente porque sua direção varia (veja na Figura 9 essa representação). Para dois instantes genéricos t_1 e t_2 , os módulos das velocidades $v(t_1)$ e $v(t_2)$ são iguais, mas os vetores velocidade linear $v(t_1)$ e $v(t_2)$ são diferentes.” (PALANDI et al, 2010).

Figura 9: Vetores Velocidade linear



Fonte: <http://coral.ufsm.br/gef/Dinamica/dinami13.pdf> (Acesso em 4 de dezembro de 2016)

“Um ângulo em radianos é a razão entre dois comprimentos; logo, ele é representado por um número puro, sem dimensões” (YOUNG; FREEDMAN, 2016). Se $s = 2,0$ m, então $\theta = 1,5$; porém, escrevemos o resultado como 1,5 rad para distinguir esse caso do ângulo medido em graus ou número de voltas.

$$1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,3^\circ$$

Young e Freedman (2016) dizem “que força é uma interação entre dois corpos ou entre o corpo e seu ambiente”.

Segundo a primeira lei da cinemática de Newton. “Um corpo em repouso permanece em repouso a não ser que uma força externa atue sobre ele. Um corpo em movimento continua em movimento com a rapidez constante e em linha reta a não ser que uma força externa atue sobre ele.”

“A primeira lei de Newton não faz distinção entre um objeto em repouso e um objeto movendo-se com velocidade constante (não-nula)” (TIPLER, 2016).

$$\Sigma F = m \cdot a$$

“Energia cinética é a energia associada ao movimento. [...] quando forças realizam trabalho sobre uma partícula, o resultado é uma variação de energia associada ao movimento da partícula – energia cinética” (TIPLER, 2016).

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

“Trabalho é uma grandeza escalar que pode ser positiva, negativa ou zero. O trabalho realizado pelo corpo A sobre o corpo B é

positivo se alguma energia é transferida de A para B , e é negativo se alguma energia de B para A . Se não existe energia transferida, o trabalho é zero” (TIPLER, 2016).

$$W = F|\Delta x|$$

4.4.5. Geometria analítica

“O plano cartesiano é um conceito introduzido no século XVII, independentemente, pelos matemáticos franceses René Descartes e Pierre de Fermat para representar graficamente pares ordenados (x,y) de números reais.” (BEZERRA; SILVA, 2010).

Através da representação de pontos da reta por números reais, pontos do plano por pares ordenados de números reais e pontos do espaço por ternos ordenados de números reais, curvas no plano e superfícies no espaço podem ser descritas por meio de equações, tornando possível tratar algebricamente muitos problemas geométricos e, reciprocamente, interpretar de forma geométrica diversas questões algébricas. (FRENSEL; DELGADO, 2011).

Seguindo os conceitos introduzidos por Descartes e Fermat (apud BEZERRA; SILVA, 2010), será demonstrado ao longo do projeto, dentro do plano cartesiano, a utilização de cálculos vetorial (produto vetorial) para encontrar a área da base do elevador de canecas.

Segundo a definição de Santos (2007), “Sejam \vec{v} e \vec{w} dois vetores no espaço. Se tem definido o produto vetorial, $\vec{v} \times \vec{w}$, como sendo o vetor com as seguintes características:”.

- a) Tem comprimento dado numericamente por

$$\|\vec{v} \times \vec{w}\| = \|\vec{v}\|\|\vec{w}\| \sin \theta$$

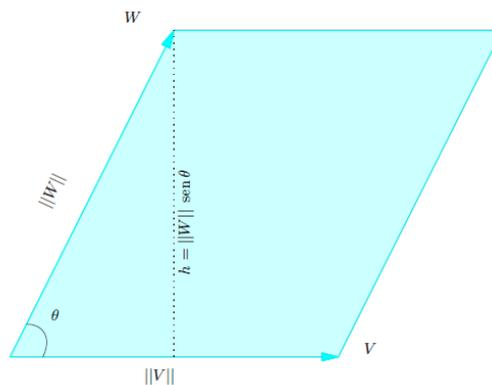
Ou seja, a norma de $\vec{v} \times \vec{w}$ é numericamente igual à área do paralelogramo determinado por \vec{v} e \vec{w} .

- b) Tem direção perpendicular à \vec{v} e a \vec{w} .
- c) Tem o sentido dado pela regra à mão direita: Se o ângulo entre \vec{v} e \vec{w} é θ giramos \vec{v} de um ângulo θ até que coincida com \vec{w} e acompanhamos este movimento com os dedos da mão direita, então o polegar vai apontar no sentido de $\vec{v} \times \vec{w}$,

$$\begin{aligned}\vec{v} \times \vec{w} &= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \end{vmatrix} = \\ &= (y_1 z_2 - z_1 y_2) \hat{i} - (x_1 z_2 - z_1 x_2) \hat{j} + (x_1 y_2 - x_2 y_1) \hat{k} \\ &= (y_1 z_2 - y_2 z_1) - (x_1 z_2 - x_2 z_1) + (x_1 y_2 - x_2 y_1)\end{aligned}$$

A Figura 10 demonstra que área do paralelogramo é dada numericamente pelo produto vetorial entre $\|\vec{v} \times \vec{w}\| = \|\vec{v}\|\|\vec{w}\| \sin \theta$.

Figura 10: Área do paralelogramo



Fonte: Santos (2007).

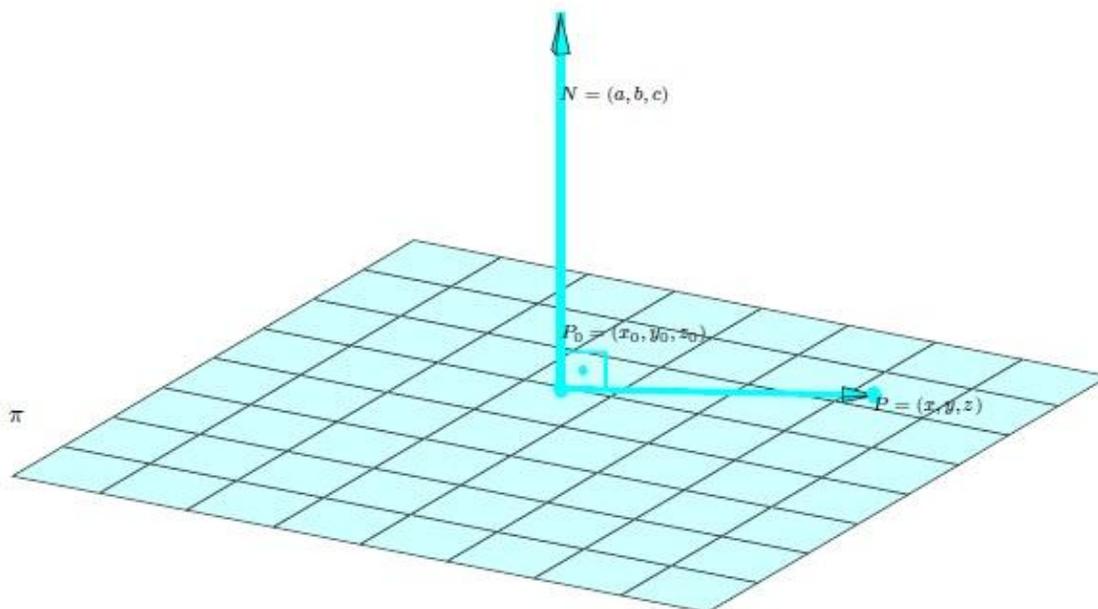
“Dada uma direção, que você pode imaginar como sendo uma reta, existem uma infinidade de planos paralelos entre si, e perpendiculares a essa direção. No entanto, se além de fixarmos uma direção, também fixarmos um ponto, um e somente um plano dessa família de planos conterá o ponto em questão. Em outras palavras, um plano ficará fixado se dermos uma direção e um ponto.” (BEZERRA; SILVA, 2010).

Tendo a definição de plano partiu-se para encontrar a equação geral. Para se encontrar a equação geral são utilizados o vetor normal que é perpendicular ao plano π e um dos pontos pertencentes ao plano. Definido o ponto $P(x_0 \ y_0 \ z_0)$ e o vetor $\vec{n}(a, \ b, \ c)$ normal ao plano. Como \vec{n} é normal ao plano sua equação é do tipo:

$$a(x) + b(y) + c(z) + d = 0$$

A Figura 11 representa graficamente a equação geral do plano e a perpendicularidade do vetor \vec{n} ao plano π .

Figura 11: Perpendicularidade do vetor \vec{n} ao plano π



Fonte: Santos (2007).

“Chama-se produto escalar ou produto interno de dois vetores $\vec{u} = x_1\vec{i} + y_1\vec{j} + z_1\vec{k}$ e $\vec{v} = x_2\vec{i} + y_2\vec{j} + z_2\vec{k}$, e se representa por $\vec{u} \cdot \vec{v}$.”

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2$$

“O produto escalar de dois vetores não nulos é igual ao produto de seus módulos pelo cosseno do ângulo por eles formado.” (SALGADO; SANTOS, 2011).

“Quando o ângulo θ entre dois vetores \vec{v} e \vec{w} é reto ($\theta = 90^\circ$), ou um deles é o vetor nulo, dizemos que os vetores \vec{v} e \vec{w} são ortogonais ou perpendiculares entre si.” (SANTOS, 2007).

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = 0$$

4.5. Relevância do trabalho

Cada vez mais nota-se a importância de constantes melhorias e inovação nos maquinários existentes no mercado. Visando tais melhorias e inovações, viu-se a necessidade da construção do elevador de canecas, no qual trabalhos com peças reaproveitadas. Dessa forma foi possível a partir de um novo método a construção do elevador, além de ajudar o meio ambiente.

5. METODOLOGIA

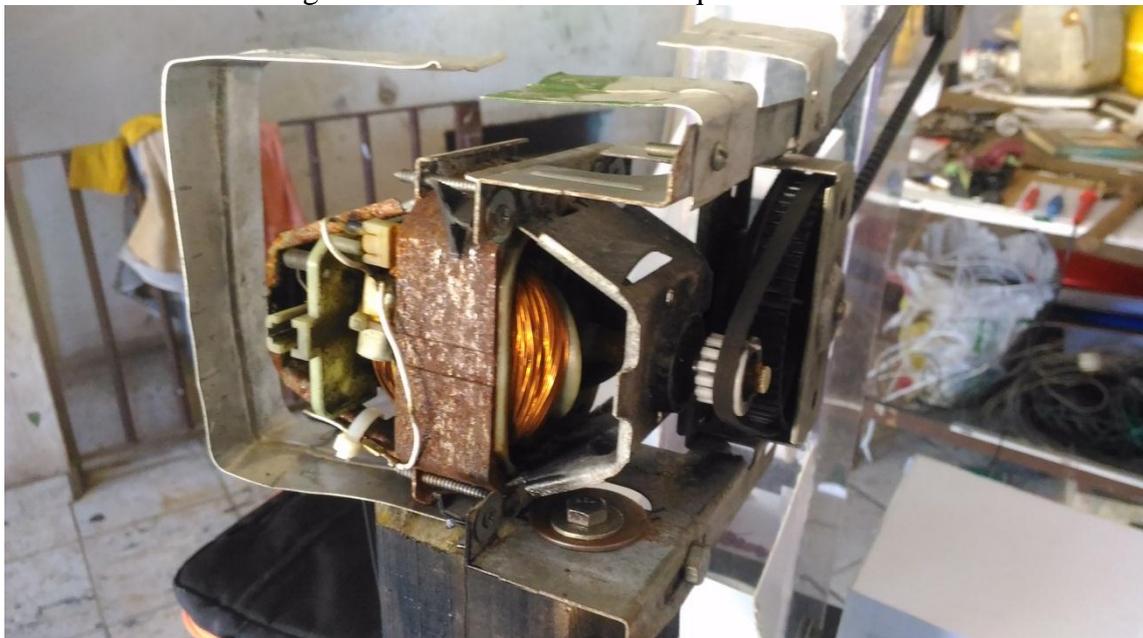
5.1. Primeira etapa

A primeira etapa concentrou-se na revisão bibliográfica, pesquisas foram feitas obtendo conhecimento prévio de todo o processo para a construção do protótipo do elevador de canecas e sua função dentro das empresas que o utilizam e, assim, definindo objetivos a serem alcançados.

5.2. Segunda etapa

A segunda etapa focou na procura pelas peças e matérias a serem utilizados no desenvolvimento do protótipo, com a intenção de começar a montagem do projeto, e diagnosticar os primeiros erros. As Figuras 12, 13, 14 e 15 mostram algumas das ferramentas e materiais que foram separados para a construção do projeto.

Figura 12: Motor elétrico de tanquinho



Fonte: Próprios autores

Figura 13: Peça de acrílico



Fonte: Próprios autores

Figura 14: Primeiro eixo utilizado



Fonte: Próprios autores.

Figura 15: Ferramentas utilizadas



Fonte: Próprios autores.

Nome das ferramentas da Figura 15, da esquerda para a direita se encontra respectivamente chave de fenda, chave *Philips*, ferro de solda e um martelo que foram usados no trabalho.

5.3. Terceira etapa

Na terceira etapa foram constatados os erros, e começou-se a trabalhar na manutenção desses erros para poder dar andamento ao trabalho de forma eficiente. Na Figura 16 são mostrados alguns erros cometidos.

Figura 16: Correia com as canecas



Fonte: Próprios autores.

Na Figura 16 encontra-se a primeira correia com canecas feita pelo grupo, que infelizmente não foi possível usa-la devido às medidas tanto da correia quanto do tamanho das canecas que foi alterado devido à substituição dos tambores, por tambores com rolamento.

5.4. Quarta etapa

O protótipo do elevador de canecas ficou pronto e começou-se a fazer as aplicações das matérias para colocar em práticas as atividades aprendidas em sala de aula. Nas Figuras 17 e 18 se vê o projeto do elevador de canecas pronto.

Figura 17: Elevador de canecas vista traseira



Fonte: Próprios autores.

Figura 18: Elevador de canecas vista frontal



Fonte: Próprios autores.

5.5. Lista de materiais

A maioria dos materiais utilizados no trabalho foram reaproveitados, os quais serão citados a seguir:

- 1 Eixo central de bicicleta;
- 2 Rolamentos;
- 3 Polias no eixo superior;
- 2 Peças de van com rolamentos em seu interior, que está presente do eixo inferior;
- 12 Cantoneiras para a fixação do acrílico;
- 1 Motor elétrico de tanquinho,
- PVC de espessura de 1mm para a construção das canecas e para fuselagem de proteção de motor;
- Tabua de madeira;
- 2 Tampas de garrafa pet;
- 1 Cinto de carro para ser usado correia.

Entre os materiais comprados para a construção do trabalho, se encontram:

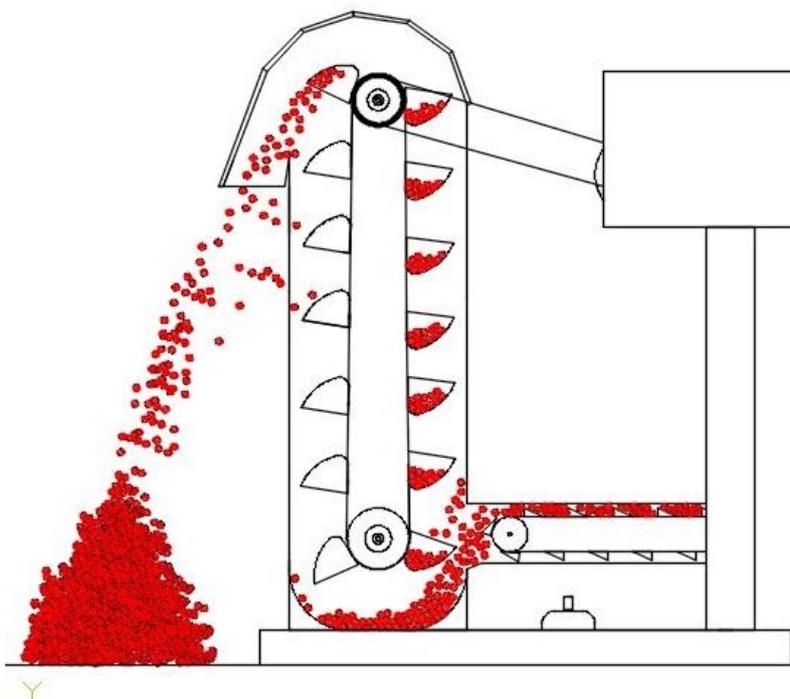
- 2 Chapas de acrílico de espessura de 4mm, uma de 48x100 e outra 27x70;
- 6 Parafusos para a fixação do elevador e do suporte do motor na base;
- 6 Porcas;
- 38 Rebites para a fixação das cantoneiras no acrílico e para a fixação das canecas na correia;
- 1 Rolo de fita isolante;
- 1 Potenciômetro;
- 1 Tubo de cola PVC;
- 1 Tubo de cola silicone.

6. RESULTADOS E APLICAÇÕES

6.1. Cálculo I

Em aplicação prática o elevador poder ser utilizado para transporte de grãos, e supondo que o material transportado seja lançado para fora do elevador formando uma pilha na forma de cone com altura igual ao diâmetro pode-se calcular a taxa em que a pilha cresce em uma determinada altura como visto na Figura 19:

Figura 19: Formação de pilha de material.



Fonte: Próprios autores.

Rotação do eixo superior: 350RPM

Comprimento da circunferência do eixo: 19,6cm

A quantidade de canecas que passam pelo eixo em um minuto pode ser calculada através dos dados acima.

Comprimento da correia que passa pelo eixo em um minuto:

$$n = 350RPM \cdot 19,6cm$$

$$n = 6860 \text{ cm/min}$$

Como a distância entre as canecas é 8,5cm o número de canecas que passa pelo eixo em um minuto é dado por:

$$x = \frac{6860}{8,5} = 807,0588235 \text{ canecas/min}$$

Utilizando como base que cada caneca transporte o material com uma eficiência de 60% do seu volume temos que cada caneca transporta um volume de de:

$$\text{Volume da caneca: } vol = 92,6298cm^3$$

Volume aproveitado:

$$\begin{aligned} vol_{real} &= 92,6298cm^3 \cdot 0,6 \\ vol_{real} &= 55,57788cm^3 \end{aligned}$$

A partir da taxa de canecas que passa pelo eixo em um minuto e da massa que cada uma transporta pode-se calcular a taxa de vazão do elevador.

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= 807,06 \text{ canecas/min} \cdot 55,58cm^3 \\ \frac{dV}{dt} &= 44856,39 \text{ cm}^3/\text{min} \end{aligned}$$

Por outro lado, como $h = 2\pi r$, ou seja, $r = \frac{h}{2}$ então:

$$V = \frac{\pi r^3}{12}$$

E, portanto:

$$\frac{vD}{dH} = \frac{\pi h^2}{4}$$

Pela regra da cadeia:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dh} \cdot \frac{dh}{dt}$$

Substituindo:

$$44856,39 = \frac{\pi h^2}{4} \cdot \frac{dh}{dt}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{179.425,56}{\pi h^2} = \frac{179.425,56}{1.256,637} = 142,78cm^2/\text{min}$$

6.2. Física I

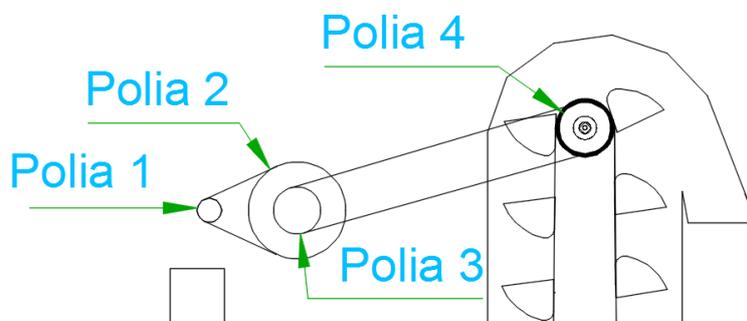
Para descrever a relação (posição x tempo) usou-se como ponto de partida o tambor inferior e o gráfico da Figura 20 demonstra essa relação.



Fonte: Próprios Autores

Tendo feito análise do movimento das correias e das polias colhemos empiricamente o RPM da polia número quatro, melhor visualizada na Figura 21.

Figura 21: Representação do sistema de transmissão



Fonte: Próprios autores

Depois de medido a rotação da polia número quatro foram desenvolvidos cálculos para encontrar o RPM das demais.

RPM da polia 4 (motora) para a polia 3:

$$\frac{350RPM}{x} = \frac{0,048m}{0,053m} \rightarrow x = 386,45 RPM$$

A rotação da polia 3 é a mesma da polia 2, pois ambas atuam de forma conjunta.

RPM da polia 2 para a polia 1:

$$\frac{386,45RPM}{x} = \frac{0,025m}{0,1m} \rightarrow x = 1545,8 RPM$$

Para encontrar a frequência de de cada polia foi feito a conversão de RPM para Hertz, através da seguinte fórmula:

$$f(Hz) = \frac{RPM}{60s}$$

A velocidade angular foi encontrada usando a frequência através da fórmula:

$$\omega = 2\pi f$$

A velocidade linear foi encontrada usando o produto do raio com a velocidade angular.

$$V = \omega R$$

O Quadro 1 mostra demonstra de forma mais clara os dados colhidos (diâmetro, RPM, Velocidade angular, velocidade linear)

A partir dos dados recolhidos e das formulas citadas acima forma calculados as velocidades angular e linear nos eixos e polias e também a aceleração centrípeta da correia ao passar pelos eixos.

Velocidades polia do eixo (0,053m de diâmetro):

$$f(Hzz) = \frac{RPM}{60s} \quad F(Hz) = \frac{350RPM}{60s} = 5,83333 \dots Hz$$

Velocidade angular:

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \cdot 5,83333 Hz$$

$$\omega = 36,65191429 rad/s$$

Velocidade linear:

$$V = \omega R$$

$$V = 36,65191429 \text{ rad/s} \cdot 0,0265 \text{ m}$$

$$V = 0,971275728 \text{ m/s}$$

Velocidades polia motora da polia do eixo (4,8cm de diâmetro):

$$f(\text{Hz}) = \frac{\text{RPM}}{60\text{s}} \quad f(\text{Hz}) = \frac{386,45\text{RPM}}{60\text{s}} = 6,440833333 \dots \text{ Hz}$$

Velocidade angular:

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \cdot 6,440833333 \text{ Hz}$$

$$\omega = 40,46894937 \text{ rad/s}$$

Velocidade linear:

$$V = \omega R$$

$$V = 40,46894937 \text{ rad/s} \cdot 0,024 \text{ m}$$

$$V = 0,971254784 \text{ m/s}$$

Velocidade polia de redução (0,10m de diâmetro):

$$f(\text{Hz}) = \frac{\text{RPM}}{60\text{s}} \quad f(\text{Hz}) = \frac{386,45\text{RPM}}{60\text{s}} = 6,440833333 \dots \text{ Hz}$$

Velocidade angular:

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \cdot 6,440833333 \text{ Hz}$$

$$\omega = 40,46894937 \text{ rad/s}$$

Velocidade linear:

$$V = \omega R$$

$$V = 40,46894937 \text{ rad/s} \cdot 0,05 \text{ m}$$

$$V = 2,023447469 \text{ m/s}$$

Velocidades polia do motor (0,025m de diâmetro):

$$f(\text{Hz}) = \frac{\text{RPM}}{60\text{s}} \quad f(\text{Hz}) = \frac{1545,8\text{RPM}}{60\text{s}} = 25,76333333 \dots \text{Hz}$$

Velocidade angular:

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \cdot 25,76333333 \text{ Hz}$$

$$\omega = 161,8757975 \text{ rad/s}$$

Velocidade linear:

$$V = \omega R$$

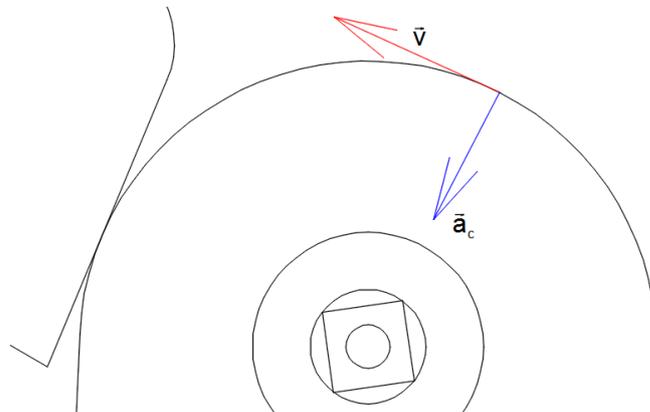
$$V = 161,8757975 \text{ rad/s} \cdot 0,0125 \text{ m}$$

$$V = 2,023447469 \text{ m/s}$$

Velocidades do eixo superior (0,062388m de diâmetro):

A Figura 22 se encontra a relação velocidade tangencial e aceleração centrípeta da correia com o tambor.

Figura 22: Representação dos vetores velocidade tangencial e aceleração centrípeta da correia com relação ao tambor.



Fonte: Próprios autores

$$f(\text{Hz}) = \frac{\text{RPM}}{60\text{s}} \quad f(\text{Hz}) = \frac{350\text{RPM}}{60\text{s}} = 5,83333 \dots \text{Hz}$$

Velocidade angular:

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \cdot 5,83333 \text{ Hz}$$

$$\omega = 36,65191429 \text{ rad/s}$$

Velocidade linear:

$$V = \omega R$$

$$V = 36,65191429 \text{ rad/s} \cdot 0,031194368 \text{ m}$$

$$V = 1,13709446 \text{ m/s}$$

Aceleração centrípeta da correia ao passar pelo eixo superior:

$$A_c = \frac{V^2}{R}$$

$$A_c = \frac{(1,13709446 \text{ m/s})^2}{0,031194368 \text{ m}}$$

$$A_c = 41,44927094 \text{ m/s}^2$$

Velocidades do eixo inferior (0,071619m de diâmetro):

Calculo da rotação do eixo:

$$\frac{RPM1}{RPM2} = \frac{Diametro2}{Diametro1}$$

$$\frac{350 \text{ RPM}}{x} = \frac{7,1619 \text{ cm}}{6,2388 \text{ cm}} \rightarrow x = 304,8888889 \text{ RPM}$$

$$f(\text{Hz}) = \frac{RPM}{60s} \quad f(\text{Hz}) = \frac{304,8888889 \text{ RPM}}{60s} = 5,0814881 \dots \text{ Hz}$$

Velocidade angular:

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \cdot 5,081481481 \text{ Hz}$$

$$\omega = 31,92788978 \text{ rad/s}$$

Velocidade linear:

$$V = \omega R$$

$$V = 31,92788978 \text{ rad/s} \cdot 0,03580986 \text{ m}$$

$$V = 1,143333263 \text{ m/s}$$

Aceleração centrípeta da correia ao passar pelo eixo:

$$A_c = \frac{V^2}{R}$$

$$A_c = \frac{(1,143333263 \text{ m/s})^2}{0,03580986 \text{ m}}$$

$$A_c = 36,5042184 \text{ m/s}^2$$

O Quadro 1 mostra demonstra de forma mais clara os dados colhidos (diâmetro, RPM, Velocidade angular, velocidade linear).

Quadro 1: Especificações das polias

Polias	Polia1	Polia 2	Polia 3	Polia 4
Diâmetro	2,5cm	10cm	4,8cm	5,3cm
RPM	1545,8RPM	386,45 RPM	386,45 RPM	350 RPM
Velocidade angular	161,87 rad/s	40,46 rad/s	40,46 rad/s	36,65 rad/s
Velocidade linear	2,023 m/s	2,023 m/s	0,97 m/s	0,97 m/s

Fonte: Próprios autores

Através de medições empíricas foi constatado que a caneca leva 1,3s para dar uma volta completa no sistema, sistema este que mede 1,21m com esses dados chegou-se a velocidade média do sistema.

$$Vm = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow \frac{(S_{final} - S_{inicial})}{(t_{final} - t_{inicial})}$$

$$Vm = \frac{1,21m}{1,3s}$$

$$Vm = 0,93076923 \text{ m/s}$$

Para o lançamento dos grãos foi necessário calcular a velocidade, aceleração e força centrípeta no extremo da caneca. Cujo raio de rotação das canecas, é equivalente a soma do raio do eixo mais a soma da lateral da caneca.

$$R = 0,03194368m + 0,0267215m$$

$$R = 0,05866518m$$

Cuja frequência:

$$f(Hz) = \frac{RPM}{60s} \quad f(Hz) = \frac{350RPM}{60s} = 5,83333 \dots Hz$$

Velocidade angular:

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \cdot 5,83333 Hz$$

$$\omega = 36,65191429 rad/s$$

Velocidade linear:

$$V = \omega R$$

$$V = 36,65191429 rad/s \cdot 0,05866518m$$

$$V = 2,150191149 m/s$$

Aceleração centrípeta:

$$A_c = \frac{V^2}{R}$$

$$A_c = \frac{(2,150191149m/s)^2}{0,05866518m}$$

$$A_c = 78,80862171 m/s^2$$

Utilizou-se como base para o cálculo da força centrípeta a massa correspondente a 60% do volume da caneca preenchido com milho.

Densidade do milho: $d = 1,244g/cm^3$

Volume total da caneca: $vol = 92,6298cm^3$

Volume aproveitado:

$$vol_{apro.} = 92,6298cm^3 \cdot 0,6$$

$$vol_{apro.} = 55,57788cm^3$$

Massa:

$$m = vol \cdot d$$

$$m = 55,57788cm^3 \cdot 1,244g/cm^3$$

$$m = 69,13888272g$$

$$m = 0,06913888272kg$$

Força:

$$F_c = \frac{mv^2}{R}$$

$$F_c = \frac{0,06913888272kg \cdot (2,150191149m/s)^2}{0,05866518m}$$

$$F_c = 5,448740053N$$

Devido ao movimento ser uniforme, a velocidade é constante e a aceleração é nula o que implica que a força resultante é 0.

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$\Sigma F = m \cdot 0 m/s^2$$

$$\Sigma F = 0 N$$

A força resultante sendo igual a “0” implica que o trabalho realizado também é igual a “0”. Uma vez que não existe aceleração não implica em realização de trabalho

Energia cinética:

Para o cálculo da energia cinética utilizou-se:

Densidade do PVC utilizado nas canecas: $d = 0,6 g/cm^3$

Área lateral das canecas: $A_{lat} = 15,4383 cm^2$

Área inferior das canecas: $A_{inf} = 60cm^2$

Área total:

$$A_{tot} = 2 \cdot A_{lat} + A_{inf}$$

$$A_{tot} = 2 \cdot 15,4383cm^2 + 60cm^2$$

$$A_{tot} = 90,8766cm^2$$

Volume:

$$V = A_b \cdot h$$

$$h = 0,1cm$$

$$V = 90,8766cm^2 \cdot 0,1cm$$

$$V = 9,08766cm^3$$

Massa das canecas:

$$m = V \cdot d$$

$$m = 9,08766cm^3 \cdot 0,6g/cm^3$$

$$m = 5,452596g$$

$$m = 0,005452596kg$$

Massa total:

$$m_{can} : \text{massa das canecas}$$

$$m_{mat} : \text{massa do material transportado}$$

$$m_{tot} = m_{can} + m_{mat}$$

$$m_{tot} = 0,06913888272kg + 0,005452596kg$$

$$m_{tot} = 0,074591478kg$$

Energia cinética total da caneca ao passar pelo eixo superior:

Velocidade linear no eixo superior: $v = 1,13709446 \text{ m/s}$

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

$$K = \frac{1}{2} \cdot 0,074591478kg \cdot (1,13709446m/s)^2$$

$$K = 0,048222786 \text{ J}$$

Energia cinética total da caneca ao passar pelo eixo inferior:

Velocidade linear no eixo inferior: $v = 1,143333263 \text{ m/s}$

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

$$K = \frac{1}{2} \cdot 0,074591478\text{kg} \cdot (1,143333263\text{m/s})^2$$

$$K = 0,048753398 \text{ J}$$

Trabalho:

$$W = \vec{F} \cdot d$$

Como a força resultante é igual a 0:

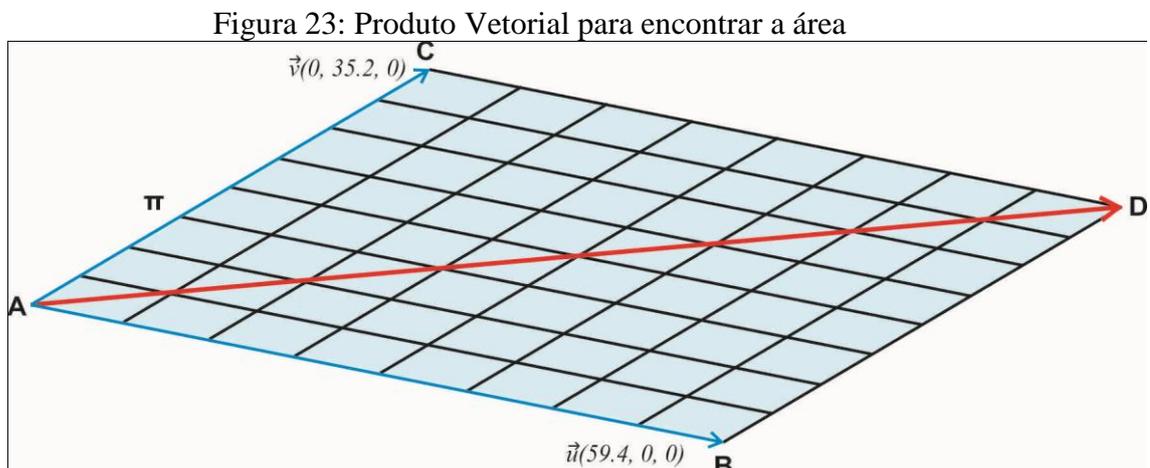
$$W = 0 \text{ N} \cdot d$$

$$W = 0 \text{ J}$$

6.3. Geometria analítica

“O módulo do produto vetorial dos vetores \vec{u} e \vec{v} mede a área do paralelogramo ABCD determinado pelos vetores $\vec{u} = \overrightarrow{AB}$ e $\vec{v} = \overrightarrow{AC}$.” (SALGADO; SANTOS, 2011).

Foi usado o conceito acima descrito para calcular a área da base de sustentação do elevador de canecas e da pilastra do motor que movimenta o sistema. Partindo da origem foi criado o vetor $\vec{u} = \overrightarrow{AB}$ e $\vec{v} = \overrightarrow{AC}$, sendo \vec{u} (0, 35.2, 0) e \vec{v} (59.4, 0, 0). Sendo melhor visualizado na Figura 23.



Fonte: Próprios autores

$$\begin{aligned}
 & 1. \\
 \vec{v} \times \vec{u} &= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 0 & 35.2 & 0 \\ 59.4 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \\
 \begin{pmatrix} 35.2 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \hat{i} - \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 59.4 & 0 \end{pmatrix} \hat{j} + \begin{pmatrix} 0 & 35.2 \\ 59.4 & 0 \end{pmatrix} &= (0 \ 0) - (0 \ 0) + (0 \ -2090.88) = \\
 |2090.88| &= 2090.88 \text{ cm}_2
 \end{aligned}$$

Tendo descoberto a equação geral do plano π $a(x) + b(y) + c(z) + d = 0$, usamo-la para definir os locais em que serão afixados, o elevador de canecas e a pilastra que dá sustentação ao motor. Sendo F(8,15,0) o ponto de fixação da pilastra, G (8, 15, 47) o próprio motor, H(45, 13 ,0) o ponto de fixação do elevador de canecas e I(45, 13,71) o topo do elevador de canecas. Sendo o vetor $\vec{n}(0, 0, 25)$ normal (ortogonal) ao plano π e o ponto O(30, 20, 0) pertencente a π temos a confirmação de que os pontos F e H pertencem a π :

$$\begin{aligned}
 30(0) + 20(0) + 0(25) + d &= 0 \\
 0 + 0 + 0 + d &= 0 \\
 d &= 0
 \end{aligned}$$

Demonstração que os pontos F e H pertencem a π :

$$\begin{aligned}
 \text{Ponto F: } 8(0) + 15(0) + 0(25) + 0 &= 0 \\
 0 + 0 + 0 + 0 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ponto H: } 45(0) + 13(0) + 0(25) + 0 &= 0 \\
 0 + 0 + 0 + 0 &= 0
 \end{aligned}$$

Trançando um vetor $\vec{d}(0, 0, 47)$ que liga os pontos F e G e outro vetor $\vec{p}(0,0, 71)$ ligando os pontos H e I, terá uma relação de perpendicularidade com o plano π . Como \vec{d} e $\vec{p} \perp \pi$, \vec{d} e \vec{p} são ortogonais a todo vetor representado em π . Sendo, o vetor $\vec{t}(30, 18, 0)$ pertencente ao plano π os vetores \vec{d} e \vec{p} são ortogonais se, e somente se, eles forem ortogonais a \vec{t} .

Relação de ortogonalidade entre \vec{d} e \vec{t} :

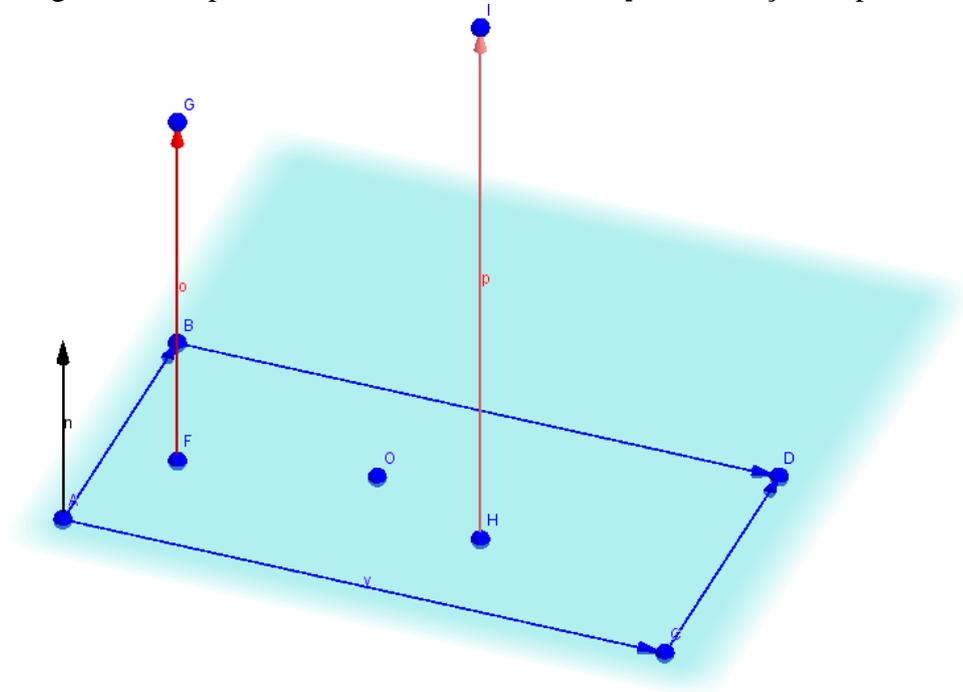
$$\vec{d} \cdot \vec{t} = (0 \cdot 30) + (0 \cdot 18) + (47 \cdot 0) = 0$$

Relação de ortogonalidade entre \vec{p} e \vec{t} :

$$\vec{p} \cdot \vec{t} = (0 \cdot 30) + (0 \cdot 18) + (71 \cdot 0) = 0$$

Depois de encontrado a equação geral do plano e verificado que os pontos F e H pertencem a π , foi verificado a perpendicularidade dos vetores \vec{d} e \vec{t} como é demonstrado na Figura 24.

Figura 24: Perpendicularidade dos vetores \vec{d} e \vec{p} com relação ao plano π



Fonte: Próprios autores

3. CONCLUSÃO

Chegou-se à conclusão que os passos adotados para a conclusão do projeto não foram os melhores devido à quantidade de erros cometidos, mais com esforço conseguimos termina o protótipo do elevador, o qual serviu de grande conhecimento para o grupo. Foram de grande importância as aplicações das matérias aprendidas em aula no projeto, pois esse foi um meio de colocar os conhecimentos adotados em pratica na construção de um projeto no dia a dia. Foi de grande valia a experiência de trabalhar em grupo e fazer as divisões de tarefas entre os integrantes, pois ao longo do curso será necessária a interação entre os colegas de sala cada vez mais para novos projetos futuros.

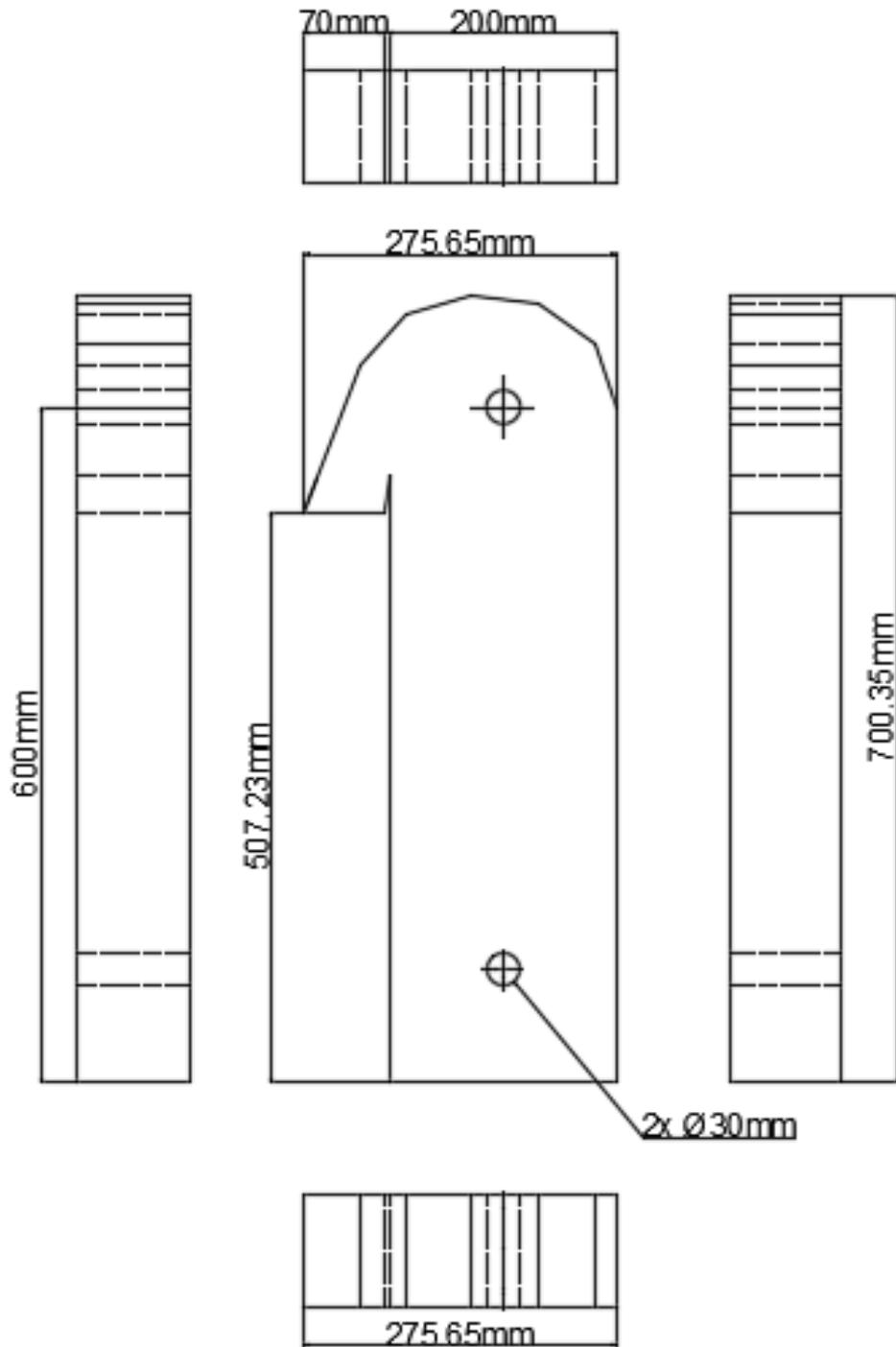
REFERÊNCIAS

- Acompanhamento da safra brasileira de grãos. – v. 1, n.3 (2015-2016) – Brasília : Conab, Julho 2016.
- BEZERRA, Licio Hernanes; SILVA, Ivan P. Costa e. **Geometria Analítica**. 2ª ed. Florianópolis, UFSC, 2010.
- FRENSEL, Katia; Delgado, Jorge. **Geometria Analítica**. Núcleo de educação à distância, São Luiz, UFMA; 2011.
- KEPLER WEBER, **Manual de Utilização de Transportadores**, 2004.
- PALANDI, Joiecir; et al. **Movimento circular uniforme e movimento harmônico simples e ondas**. Grupo de Ensino de Física do Departamento de Física – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.
- REXNORD Correntes Ltda, **Proposta Técnica 216/2013 rev.01** – Retrofit do Elevador 80-2118, 2013.
- RIBEIRO, A.C. et. al., **Curso de Desenho Técnico e Autocad**. Editora Pearson, São Paulo, 2013.
- SANTOS, Cecília Débora dos. **Elevadores de caneca – Estudo da arte e projeto de dimensionamento**. Uberlândia, 2010.
- SANTOS, Reginaldo J. **Um curso de geometria analítica e álgebra linear**. Belo Horizonte, Departamento de Matemática – ICEX, UFMG; 2007.
- SALGADO, Silvio Antônio B; SANTOS, Jander Pereira dos. **Geometria Analítica**. São João Del Rey, UFSJ, 2011.
- STEWART, James. **Cálculo Volume 1**. 7. ed. São Paulo, Cengage, 2013.
- TIPLER, Paul. A.; MOSCA, Gene. **Física Volume 1**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- YAMAKI, Daisuke. **Reforma de um elevador de canecas de uma unidade de granulação de fertilizantes**. Catalão. Originalmente monografia apresentado com ao curso de pós-graduação, UFG, 2014.
- YOUNG, Hugh. D.; FREEDMAN, Roger. A. **Física 1: Mecânica**. 12. ed. São Paulo: Pearson/Prentice Hall, 2009.

ZATTAR, Izabel Cristina. **Introdução ao desenho técnico**. 1^a ed. Curitiba: Intersaberes, 2016.

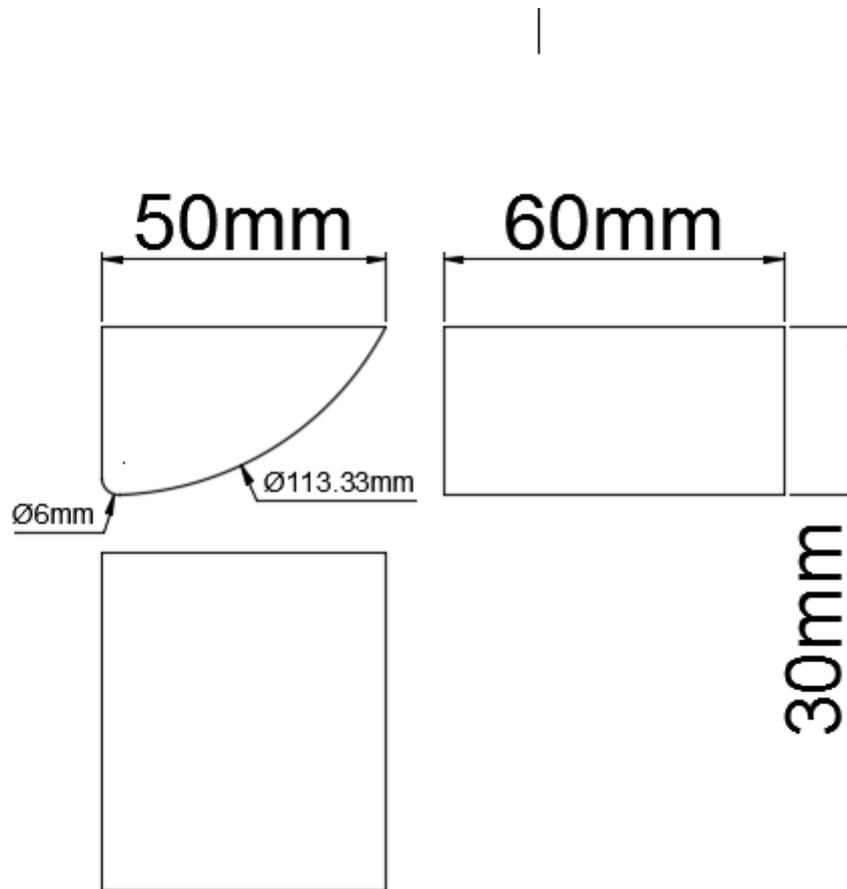
Anexo 1

Vistas Ortogonais Elevador de Canecas.



Anexo 2

Vistas Ortogonais – Canecas



Anexo 3

Vistas isométricas elevador de canecas

