

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – IFMG

Projeto

Esteira Transportadora

André Luís

Douglas Melo

Gabriel Sander

Paulo Sérgio Ramos

Arcos

2016

GRUPO 7: ANDRÉ LUÍS, PAULO SÉRGIO, GABRIEL SANDER E
DOUGLAS MELO

Esteira Transportadora

Projeto apresentado á disciplina de
TAI-Trabalho Acadêmico Integrador do
curso de Engenharia Mecânica
ministrado no Instituto Federal de Minas
Gerais, Campus Arcos.

Professor: Niltom vieira Junior

Arcos

2016

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
SUMMARY.....	8
1-INTRODUÇÃO.....	9
2-HISTÓRIA.....	10
3-OBJETIVO E METAS.....	11
3.1-Material e métodos.....	12
4-CRONOGRAMA.....	15
5-REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
5.1-Geometria Analítica.....	16
5.2-Física.....	18
5.2.1-Velocidade angular e linear:.....	20
5.2.2-Lançamento Horizontal da carga transportada.....	24
5.2.3-Frequência variando em função da massa transportada.....	28
5.2.4-Energia Potencial Gravitacional.....	29
5.3-Cálculo.....	31
5.3.1-Cálculo das dimensões do alimentador da esteira.....	31
5.3.1 - O erro.....	36
5.4-Relevância do trabalho (CTS).....	38
6-DESENHO TÉCNICO MECÂNICO.....	39
6.1-Representação dos componentes separados no Auto CAD Mechanical.....	39
7-INVESTIMENTO.....	43
8-REFERÊNCIAS.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Exemplo de uma esteira transportadora

Figura 2 – Quadro da esteira

Figura 3 – Protótipo já pronto

Figura 4: Base da esteira representada através do *software* “Geogebra”.

Figura 5: Resolução do produto Vetorial

Figura 6: Sistema de redução das polias

Figura 7: Medida das polias

Figura 8: Visão lateral da esteira

Figura 9: Ilustração do tronco de cone

Figura 10: Derivada resolvida através do *software* Wxmaxima

Figura 11: Alimentadores

Figura 12: Motor

Figura 13: Quadro da esteira

Figura 14: Base da esteira

Figura 15: Perspectiva isométrica da esteira

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Passo a passo

Tabela 2: Frequência do motor da esteira

Tabela 3: Frequência e velocidade das polias

Tabela 4: Dados da frequência para cada corpo

Tabela 5: Massa dos objetos

Tabela 6: Frequência das polias variando com massas diferentes

Tabela 7: Energia potencial gravitacional dos objetos testados

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Objetivo e Metas

Quadro 2: Variação da frequência no arranque

RESUMO

Este relatório apresenta o desenvolvimento de um protótipo de uma esteira transportadora, com objetivo de aplicar os conhecimentos adquiridos de todas as disciplinas do primeiro período do curso de engenharia mecânica.

O projeto consiste em uma esteira movida por um motor de tanquinho, base de madeira e estrutura metálica própria para transportar areia.

Ao longo do processo construção, aprendemos a trabalhar em equipe e superar os desafios encontrados.

SUMMARY

This report presents the development of a prototype of a conveyor belt, in order to apply the knowledge acquired from all disciplines of the first period of the mechanical engineering course.

The project consists of a mat driven by a wash machine motor, wooden base and metal structure to transport sand.

Throughout the construction process, we have learned to work in teams and overcome the challenges encountered.

1-INTRODUÇÃO

No meio industrial para que as exigências sejam atendidas com êxito são necessários inúmeros equipamentos e ferramentas que visam facilitar e acelerar os processos de produção, e um deles é a esteira transportadora, que foi criada para mover de pequenos a grandes objetos em uma determinada distância. Sua estrutura é basicamente uma superfície que será movida por polias e um ou mais motores.

“A escolha da esteira para o transporte de cargas na indústria é uma decisão técnica e econômica. É técnica porque envolve conhecimento de sistemas de transporte, características operacionais, capacidades e velocidades. É econômica, pois envolve tempo, capacidades, custos operacionais, custos de manutenção, entre outros” (CNI, 2008).

Levando em conta sua utilidade em infinitas áreas do mercado, pelos benefícios deste equipamento e possibilidade de aplicar os conhecimentos vistos no curso de engenharia, conclui-se que seu desenvolvimento atenderia os requisitos para o TAI (Trabalho Acadêmica Integrador).

2-HISTÓRIA

Não se pode atribuir uma data concreta quando se diz “A invenção das esteiras transportadoras” e nenhum inventor isoladamente. Correias transportadoras são hoje, um dos equipamentos mais utilizados nos mais variados tipos de indústria. As primeiras esteiras foram utilizadas na revolução industrial, metade do século XVIII na Inglaterra. Era utilizada a princípio em padarias e matadouros quando seu sistema ainda era extremamente simples, formado por uma cama de madeira e sobre ela um cinto de couro ou até mesmo borracha. Este sistema de correia transportadora primitivo era também muito usado para levar objetos volumosos há uma curta distância. A partir do século XX, suas aplicações e sua utilidade tomariam caminhos mais amplos, uma ilustração pode ser vista na Figura 1.

Sua fabricação já era definida por materiais específicos. Essa variação de matérias é determinada principalmente por sua aplicação, em função do atrito, distância e carga a ser aplicada. Muitos não imaginam a importância de uma correia transportadora, porém no mundo industrial, geralmente a consideram como o “Pneu da Indústria”.

Figura 1 – Exemplo de uma esteira transportadora



Fonte: www.engenharia24h.blogspot.com.br (Acesso em: 01 nov.2016)

3-OBJETIVO E METAS

Os objetivos e metas para realização do trabalho podem ser vistas no quadro a seguir:

Quadro 1- Objetivo e metas

Objetivo	Meta A	Meta B
Obter materiais para a esteira	Visitar oficinas e ferros Velhos	Procurar materiais recicláveis que possam ser de utilidade
Obter um ambiente de Trabalho	Conseguir as ferramentas Necessárias	Conseguir Equipamentos de proteção individual
Montagem Mecânica	Obter as medidas de base	Estruturar a esteira
Aplicação das disciplinas Chaves	Buscar orientações com os Professores	Conseguir o máximo possível de conteúdo aplicado

Fonte: Os próprios autores

3.1-Material e métodos

Na construção do protótipo foram usados os materiais e ferramentas, citados abaixo, os métodos aplicados foram embasados na experiência dos integrantes do grupo.

Materiais usados:

- Parafusos, porcas, arruelas e rolamentos.
- Chapa metálica de 1/8 “.
- 2 tubos cilíndricos de nylon maciço.
- 2 tubo retangular metalon 20x40 (800 mm)
- Base de madeira.
- Parafuso de Rosca sem fim 1/4” x 1m
- Peça de uma câmara de ar de caminhão.
- Motor de tanquinho
- Sistema de redução com polia

Ferramentas usadas na construção:

- Lixadeira
- Serra tico-tico
- Máquina de solda
- Furadeira de impacto manual

Método utilizado:

As atividades foram feitas na casa de um dos integrantes que atendia melhor as necessidades do grupo. No início foi feita o quadro da esteira pela união dos tubos retangulares com a chapa metálica usando uma máquina de solda.

Figura 2 – Quadro da esteira



Fonte: Próprios autores

Após pronto o quadro (pode ser visto na Figura 2), foi inserido os rolamentos nas polias de nylon, e fixado no quadro. Pronta essa parte, colocou-se o quadro na base de madeira e a correia bem esticada nela.

Depois, foi feito o acoplamento do motor com o sistema de redução e por fim o acabamento da esteira que está representado na Figura 3.

Figura 3 – Protótipo já pronto



Fonte: Próprios autores

4-CRONOGRAMA

A seguir a Tabela 1 mostra o cronograma do grupo ao decorrer das semanas para a construção da esteira.

Tabela 1-Passo a passo

Semana 1	Foram visitados ferros velhos e oficinas de amigos para recolher o que poderia ser aproveitado para o trabalho. Foi recolhido retalhos de metais , madeira para a base, parafusos e a câmara de ar para fazer a correia.
Semana 2	Já com a estrutura da esteira adiantada, graças ao material Reciclado, anteriormente recolhido, foi preciso dar prioridade em conseguir um motor.
Semana 3	Foi adquirido um motor de ventilador. Com o motor já em mãos, ele foi instalado e na hora do teste, percebeu-se que sua sua potência não era o suficiente para girar as polias.
Semana 4	Com a falha do motor de ventilador, iniciou-se uma nova procura. Conseguiu-se um motor de tanquinho, so que sua rotação era muito alta.
Semana 5	Então foi preciso montar um sistema de redução por polias que reduzisse o giro do motor, atendendo as necessidades do grupo.
Semana 6	Com o projeto físico pronto, foi então que o grupo começou a dedicar às aplicações das matérias e ao relatório final.

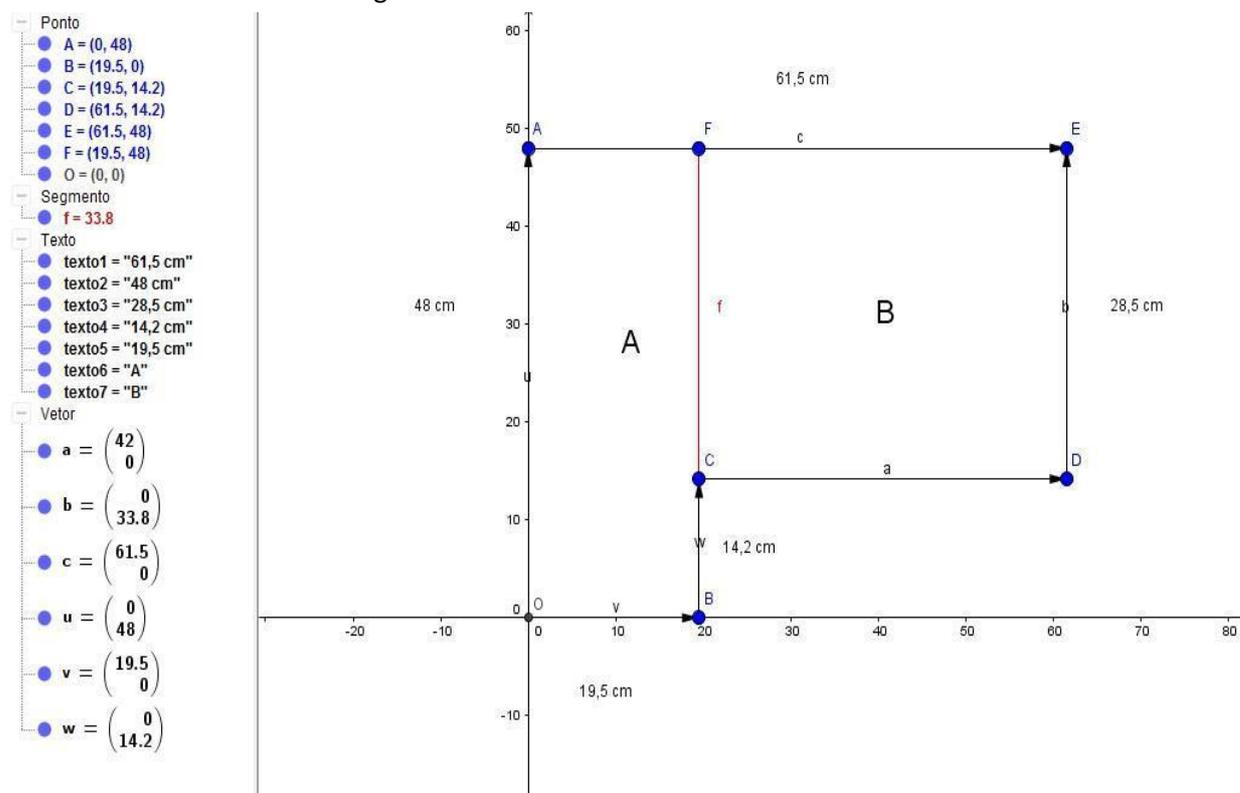
Fonte: Os próprios autores

5-REFERENCIAL TEÓRICO

5.1-Geometria Analítica

Para a reprodução da esteira transportadora, inicialmente foi desenvolvida sua base de sustentação, onde todos os outros equipamentos da esteira seriam acoplados nela. Para o cálculo da área da base da esteira, foi utilizado o *software* Geogebra e conceitos de vetores e suas propriedades. Vetores, portanto, são objetos que indicam direção, sentido e intensidade. São usualmente representados por setas, que partem da origem, e utilizam-se as coordenadas de seu último ponto. Foi desenhada a base da esteira (pode ser visto na Figura 4) com suas respectivas medidas e tratando suas arestas como vetores.

Figura 4 – Desenho da base da esteira



Fonte: Próprios autores

Para o cálculo da área da base usando vetores, será utilizado os conceitos de produto vetorial. A notação do produto vetorial entre dois vetores a e b é $a \times b$. Pode ser definida como:

$$\|\mathbf{a} \times \mathbf{b}\| = \hat{n} |\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \operatorname{sen}\theta$$

Eles são representados por um par de coordenadas cartesianas do tipo $a = (x, y)$. Em matemática, o produto vetorial, é uma operação binária sobre vetores em um espaço vetorial (SILVA, 2016).

Após dimensionar a base, para facilitar os cálculos foi repartido a mesma em dois retângulos (A e B). Em primeira instância foi calculado a área do retângulo A, logo depois de somado a área do retângulo B, enfim obtendo a área total da base (todos os detalhes na figura 5).

Figura 5 – Resolução do produto vetorial

Retângulo A

$$\begin{aligned} \text{OA} &= (0,48) \text{ e } \text{OB} = (19,5,0) \\ \text{OA} \times \text{OB} &= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 0 & 48 & 0 \\ 19,5 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} 48 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{i} - \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 19,5 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{j} + \begin{pmatrix} 0 & 48 \\ 19,5 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{k} \\ &= (0 - 0) - (0 - 0) + (0 - 936) = \mathbf{-936} = 936 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Trazendo os vetores CD e DE para a origem temos:

Retângulo B

$$\begin{aligned} \text{CD} &= (42,0) \text{ e } \text{DE} = (0, 28,5) \\ \text{CD} \times \text{DE} &= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 41,5 & 0 & 0 \\ 0 & 28,5 & 0 \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 28,5 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{i} - \begin{pmatrix} 42,0 & 0 \\ 0 & 28,5 \end{pmatrix} \mathbf{j} + \begin{pmatrix} 42,0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{k} \\ &= (0 - 0) - (1.197 - 0) + (0 - 0) = \mathbf{-1.197} = 1.197 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Somando as áreas dos retângulos, obtemos a área da base da esteira :
 $1.197 \text{ cm}^2 + 936 \text{ cm}^2 = 2.133 \text{ cm}^2 = 0,2133 \text{ m}^2$

Fonte: Próprios autores

Após a criação da base da esteira e toda sua estrutura, foram feitos estudos para verificar o desempenho do motor e do transporte que seria realizado pela esteira.

5.2-Física

Estudo do movimento de rotação das polias:

Para medir a frequência das polias, usou-se um sensor fotoelétrico e um Multi Cronômetro, inicialmente colhendo dados da polia maior de 230 mm de diâmetro.

Os dados obtidos na (Tabela 2), são referentes a cinco leituras feitas pelo sensor, para melhor confiabilidade dos dados. O valor da frequência foi obtido a partir da média dos valores, dividido pela quantidade de raios marcadores da polia, que foram utilizados como intervalos de medição do sensor.

O valor da frequência foi obtido a partir da média dos valores, dividido pela quantidade de raios marcadores da polia, que foram utilizados como intervalos de medição do sensor.

Tabela 2- Frequência do motor da esteira (Hz)

Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	Leitura 4	Leitura 5
F1- 58.139	F1- 59.171	F1- 58.309	F1- 59.171	F1- 58.997
F2- 57.971	F2- 59.701	F2- 58.997	F2- 57.971	F2- 59.523
F3- 58.139	F3- 58.823	F3- 59.171	F3- 58.309	F3- 59.347
F4- 58.479	F4- 58.651	F4- 59.347	F4- 58.479	F4- 59.701
F5- 58.171	F5- 57.971	F5- 59.171	F5- 59.523	F5- 58.823
F6- 58.997	F6- 58.479	F6- 59.823	F6- 59.701	F6- 58.997
F7- 58.174	F7- 59.171	F7- 58.651	F7- 59.171	F7- 58.651
F8- 58.479	F8- 59.377	F8- 57.803	F8- 58.823	F8- 58.651
F9- 58.823	F9- 59.701	F9- 58.139	F9- 58.779	F9- 58.651
F10- 58.803	F10- 59.523	F10- 58.447	F10- 58.139	F10- 59.347

Fonte: Próprios autores

O valor da frequência da Polia maior encontrada foi 7,35 Hz, com uma incerteza de +/- 0,068 Hz. Convertendo para RPM, temos:

$$1 \text{ Hz} = 60 \text{ RPM}$$

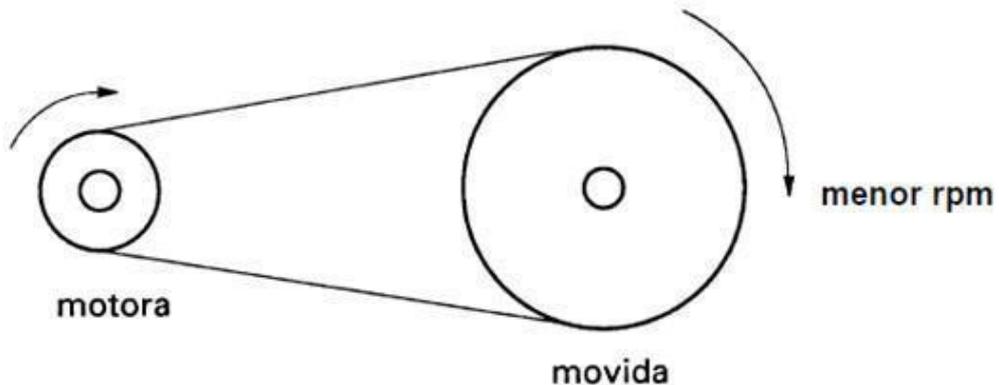
$$7,35 \text{ Hz} = (7,35) \cdot 60 \text{ RPM}$$

$$7,35 \text{ Hz} = 441 \text{ RPM}$$

Calculando a relação de transmissão, obtêm-se os valores da frequência para as outras polias e também a velocidade linear e angular.

Para obter os valores da frequência das outras 3 polias do sistema de redução, foi utilizada a fórmula da relação de transmissão para polias, esquematizada na (figura 6).

Figura 6- Sistema de redução por polias



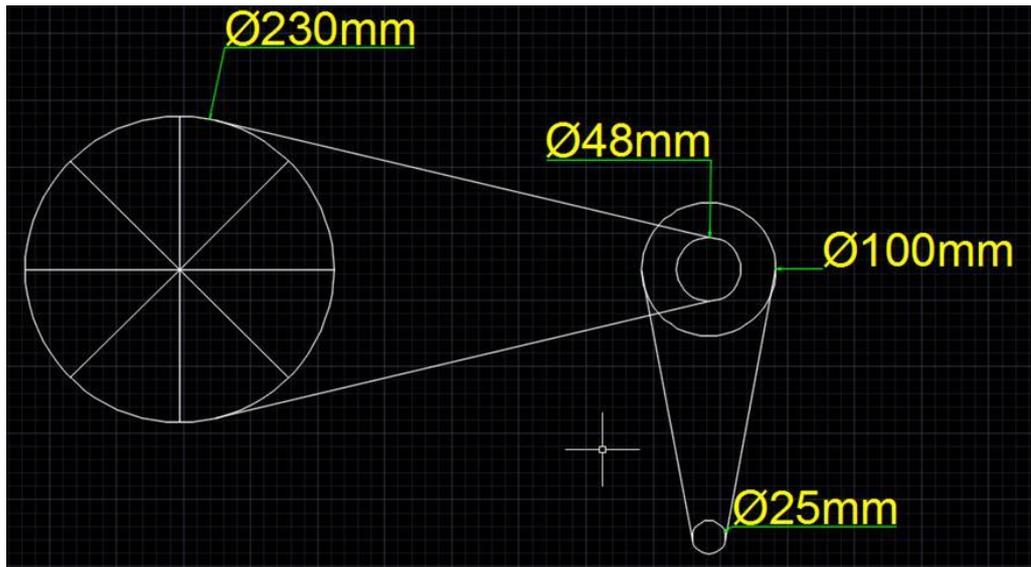
Fonte: Leile Bonfim (Acesso em 11 de novembro de 2016)

Na fórmula da relação de transmissão, em que n_1 e n_2 são as RPM das polias motora e movida, respectivamente, e d_2 e d_1 são os diâmetros das polias movidas e motora está relacionada pela seguinte igualdade.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Desenvolvendo a fórmula em cada estágio de polia motora e movida do sistema, obtêm-se a frequência de todas, a partir do valor da polia maior e o diâmetro que está especificado na (Figura 7).

Figura 7 – Medida das polias



Fonte: Próprios autores

5.2.1-Velocidade angular e linear:

“Define-se velocidade angular média (ω_m) do corpo em um intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$, como a razão entre o deslocamento angular $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ e o intervalo de tempo Δt .” (YOUNG; FREEDMAN, 2008).

$$\omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Para o caso da polia maior, por exemplo, onde a frequência medida foi de 7,35 Hz, basta considerar que para 1 Hz, a velocidade angular é de 6,28 rad/s. Sendo assim, basta efetuar a conversão:

$$1 \text{ Hz} = 6,28 \text{ rad/s}$$

$$7,35 \text{ Hz} = 6,28 * (7,35) \text{ rad/s}$$

$$7,35 \text{ Hz} = 46,158 \text{ rad/s}$$

A velocidade linear descreve no movimento de rotação de cada polia a distância que é percorrida por segundo, sendo essa velocidade dada em m/s, aumentando conforme o diâmetro da polia aumenta. A equação da para o calculo velocidade linear é dada por:

$$V_l = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{t} \text{ ou } V_l = \omega \cdot R$$

V_l = Velocidade linear

f = Frequência

t = Tempo

ω_m = Velocidade angular

R = Raio

Tomando os valores da polia maior, e aplicando na fórmula tem-se:

$$V_l = \omega \cdot R$$

$$V_l = (46,158) \cdot (0,115)$$

$$V_l = 5,3 \text{ m/s}$$

Aplicando os valores nas equações obtêm-se os valores da frequência, velocidade linear e angular de todas as polias, que estão na (Tabela 3).

Tabela 3- Frequência e velocidade das polias

Dados	Polia 230 mm	Polia 48 mm	Polia 100 mm	Polia 25 mm
Frequência	441 RPM	2114 RPM	2114 RPM	8456 RPM
Velocidade angular	46,158 rad/s	221,38 rad/s	221,38 rad/s	885,51 rad/s
Velocidade linear	5,3 m/s	5,3 m/s	11,069 m/s	11,069 m/s

Fonte: Próprios autores

Aceleração angular e linear do motor no arranque:

Para encontrar a aceleração das polias, foi feita a medição da frequência no arranque da polia maior, obtendo os dados da (Quadro 2).

Quadro-2 Variação da frequência no arranque

Intervalos	Frequência (Hz)
F1	18.278
F2	23.781
F3	27.322
F4	29.850
F5	31.948
F6	33.444
F7	34.904
F8	36.101
F9	37.523
F10	38.387

Fonte: Próprios autores

“Quando a velocidade de um corpo rígido varia, ele possui aceleração angular”.
(YOUNG; FREEDMAN, 2008).

A aceleração angular média é a razão variação da velocidade, sobre a variação do tempo, sendo calculada pela equação:

$$\alpha_m = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

α_m = Aceleração angular média

$\Delta\omega$ = Variação da velocidade angular

Δt = Variação do tempo

Nos valores de frequência do (Quadro 2), para cada intervalo, há uma velocidade. A aceleração angular média foi calculada pela média de variação da velocidade, não caracterizando uma aceleração constante. Na polia maior, onde foi possível a coleta de dados sua aceleração angular média é de $1,57 \text{ rad/s}^2$.

A aceleração radial ou centrípeta é uma componente da aceleração linear, que sempre aponta para o centro do corpo rígido. O seu valor é encontrado pela equação seguinte.

$$a_{rad} = \frac{V^2}{R}$$

a_{rad} = Aceleração radial

V = Velocidade linear

R = Raio

$$a_{rad} = \frac{V^2}{R}$$

$$a_{rad} = \frac{(5,3)^2}{(0,115)} = 244,26 \text{ m/s}$$

5.2.2-Lançamento Horizontal da carga transportada na esteira

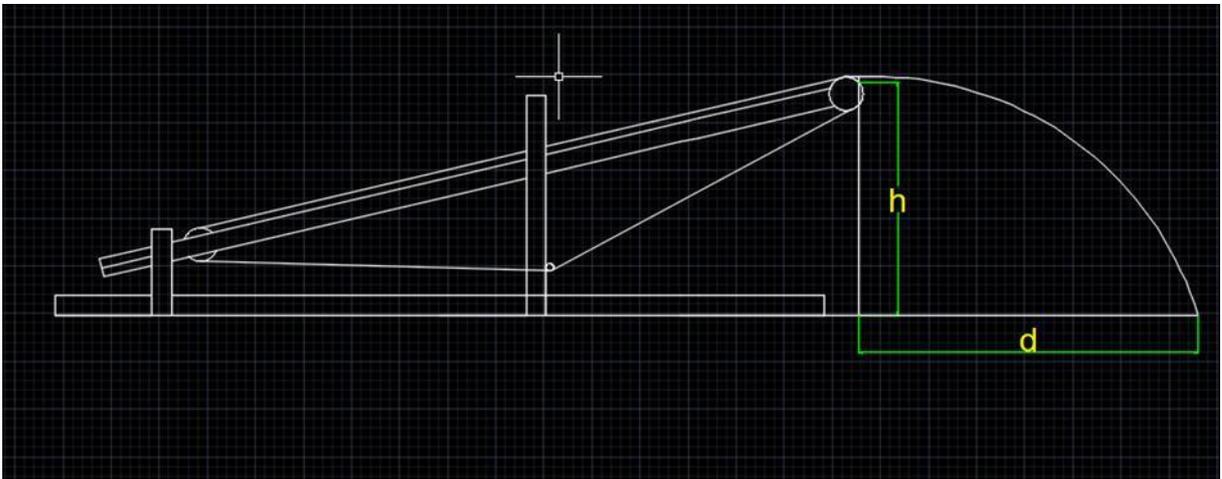
Quando a carga transportada sai da esteira, ela desenvolve uma trajetória característica de movimento de um projétil.

“Um projétil é qualquer corpo lançado com velocidade inicial e que segue uma trajetória determinada exclusivamente pela aceleração da gravidade e pela resistência do ar.” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p.77).

Na vista frontal da esteira, esquematizada na (Figura 8), está representado a trajetória do movimento executado pela carga despejada. As equações desse movimento podem calcular, por exemplo, o alcance do movimento (d) na horizontal.

A altura (h) já tinha sido medida com uma trena, a velocidade da correia e o tempo de queda do lançamento também foi encontrado aproximadamente através da função “*slow motion*” da câmera de um *smartphone*.

Figura 8 – Vista frontal da esteira



Fonte: Próprios autores

Analisando o movimento na horizontal:

O alcance pode ser encontrado, pela fórmula do deslocamento no movimento retilíneo uniforme (MCU).

$$S = S_i + V \cdot t$$

$$S = 0 + (0,85) \cdot 0,23$$

$$S = 0,195m \text{ ou } 19,5cm$$

Onde, S = (Deslocamento na horizontal)

Si= (Deslocamento inicial) = 0 m

V= (Velocidade) = 0,85m/s

t = (Tempo) = 0,23 s

Analisando o movimento na vertical:

O tempo exato de queda pode ser encontrado analisando o movimento separadamente na vertical, onde existe um movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV), sendo a aceleração constante da gravidade. A altura de onde começa o lançamento horizontal é a altura da extremidade da esteira até no chão é de 27 cm.

Utilizando as equações para o movimento de queda livre, obtemos o tempo de queda.

$$H = \frac{g}{2} t^2$$

H (altura) = 27cm ou 0,27m

g (gravidade) = 9,8m/s

t (tempo) = 0,2347 s

$$0,27 = \frac{9,8}{2} t^2$$

$$0,54 = 9,8t^2$$

$$t^2 = \frac{0,54}{9,8}$$

$$t = \sqrt{0,55}$$

$$t = 0,2347s$$

O tempo encontrado no movimento na vertical se aproxima do tempo na horizontal, que necessariamente devem ser iguais no movimento analisado, encontrando-o com mais precisão na equação do movimento na vertical.

Velocidade com que o objeto chega ao solo:

Após a carga sair da esteira, a sua velocidade aumenta uniformemente com a aceleração da gravidade. A velocidade pode ser encontrada por 2 equações do (MRUV), para o movimento em queda livre.

$$V \text{ (velocidade)} = 2,3 \text{ m/s}$$

$$g \text{ (gravidade)} = 9,8 \text{ m/s}$$

$$t \text{ (tempo)} = 0,2347 \text{ s}$$

$$V = g \cdot t$$

$$V = (9,8) \cdot (0,2347)$$

$$V = 2,3 \text{ m/s}$$

Usando a altura do movimento de queda livre, pela equação de Torricelli.

$$V \text{ (velocidade)} = 2,3 \text{ m/s}$$

$$g \text{ (gravidade)} = 9,8 \text{ m/s}$$

$$h \text{ (altura)} = 27 \text{ cm ou } 0,27\text{m}$$

$$V^2 = 2 \cdot g \cdot h$$

$$V^2 = 2 \cdot (9,8) \cdot (0,27)$$

$$V^2 = 5,92$$

$$V = \sqrt{5,92}$$

$$V = 2,3 \text{ m/s}$$

5.2.3-Frequência variando em função da massa transportada

Utilizando 4 corpos com massas diferentes, percebe-se que os valores da frequência variam para cada massa transportada, e utilizando o mesmo procedimento de medição com o sensor foto elétrico, obtêm-se os dados da (Tabela 4).

Tabela-4 Dados da frequência para cada corpo

Corpo 1	Corpo 2	Corpo 3	Corpo 4
F1- 57.306	F1- 58.139	F1- 58.997	F1- 57.803
F2- 57.803	F2- 57.471	F2- 58.651	F2- 58.309
F3- 57.636	F3- 57.471	F3- 58.479	F3- 58.479
F4- 58.139	F4- 58.139	F4- 57.971	F4- 58.651
F5- 58.139	F5- 58.479	F5- 57.971	F5- 58.651
F6- 57.636	F6- 58.309	F6- 57.971	F6- 57.971
F7- 57.803	F7- 58.651	F7- 57.971	F7- 57.136
F8- 56.980	F8- 58.309	F8- 58.139	F8- 57.971
F9- 57.306	F9- 57.971	F9- 58.479	F9- 57.971
F10- 57.971	F10- 57.971	F10- 58.823	F10- 58.139

Fonte: Próprios autores

Usando uma balança de precisão, obteve-se a massa de cada corpo (Tabela 5)

Tabela-5 Massa dos objetos

	Corpo 1	Corpo 2	Corpo 3	Corpo 4
Massa (g)	55.42	64.47	88.13	200.69
Incerteza (g)	+/- 0.06	+/- 0.07	+/- 0.02	+/- 0.02

Fonte: Próprios autores

Calculando a média dos valores da tabela 3, e dividindo pelo numero de intervalos de tempo, obtêm-se a frequência das polias para cada massa, mostrada na (Tabela 6).

Tabela-6 Frequência das polias variando com massas diferentes

Frequência (RPM)	Corpo 1	Corpo 2	Corpo 3	Corpo 4
Polia (230 mm)	432,54	435,684	437,684	435,762
Polia (48 mm) e (100 mm)	2072,59	2087,65	2096,76	2088,10
Polia (25 mm)	8290,36	8350,6	8387,04	8352,08

Fonte: Próprios autores

5.2.4-Energia Potencial Gravitacional

“Existe uma energia potencial associada com o peso do corpo e com sua altura do solo, chamamos essa energia de energia potencial gravitacional.” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p.214).

Os corpos de massas diferentes da (Tabela 4), contém energia potencial gravitacional, quando estão para cair da esteira. Tomando como exemplo a massa do corpo 4, observa-se que o valor dessa energia é determinado pela equação:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

E_p = Energia potencial gravitacional

m= Massa

g= Aceleração da gravidade

h = Altura

$$E_p = (0,20069) \cdot (9,8) \cdot (0,27) = 0,53 \text{ J}$$

Os outros corpos também tiveram sua energia potencial gravitacional calculada.

A (Tabela 7) apresenta esses valores:

Tabela 7 – Energia potencial gravitacional dos objetos testados

	Corpo 1	Corpo 2	Corpo 3	Corpo 4
Massa (g)	55.42	64,47	88.13	200.69
Energia (J)	0,14	0,17	0,233	0,53

Fonte: Próprios autores

5.3-Cálculo

5.3.1-Cálculo das dimensões do alimentador da esteira

Para demonstrar o funcionamento da esteira, houve a necessidade de construir um alimentador de areia. Primeiramente o volume foi dividido em duas formas geométricas para facilitar os cálculos, uma parte no cilindro onde será o reservatório, e a outra em um tronco de cone que será sua extremidade de baixo, onde ocorrerá a vazão da areia e será chamado de alimentador. Foi preciso determinar uma quantidade ideal de material para que sejam feitos testes na esteira e de modo que essa quantidade seja de fácil manuseio. Definiu-se 8.000cm³ de areia no reservatório cilíndrico e 2.000cm³ no alimentador com forma de tronco de cone.

Visando minimizar o custo, na compra do material utilizado para a construção do alimentador, foi utilizado conceitos de cálculo vistos durante o primeiro período do curso. Sendo assim, o referencial teórico a ser aplicado será: conceitos de otimização, que consiste em converter o problema em um problema de otimização matemática, determinando a função que deve ser maximizada ou minimizada; para os cálculos, limites e derivadas e também o tema Taxas Relacionadas (STEWART, 2015).

Fazendo os cálculos do reservatório:

Equacionando a área total do reservatório:

$$A_t = \pi R \cdot h + 2\pi R$$

$$(A_t) = \text{Área total}$$

$$(A_l) = \text{Área Lateral}$$

$$(A_b) = \text{Área da base}$$

Sabe-se, que o volume é dado pela equação:

$$V = R^2 \cdot h$$

Foi estabelecido o volume de 8.000cm^3 , a título de se ter uma quantidade de areia razoável. Para encontrar a altura do reservatório, se trabalha com a seguinte equação:

$$h = 8.000/ R^2$$

Substituindo o valor de h na equação da área total, tem-se :

$$At(R) = \frac{16000}{R} + 2\pi R^2$$

Com a equação da área em função do raio, foi decidido fazer uma observação da função quando o raio tende a um valor muito grande ou muito pequeno, usando os conceitos de limites.

$$At(R) = \lim_{R \rightarrow 0} \frac{16000}{R} + 2\pi R^2 = \infty$$

$$At(R) = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{16000}{R} + 2\pi R^2 = \infty$$

Com isso conclui-se que a área total tende a infinito quando o raio é muito grande ou muito pequeno, portanto necessita-se do conceito de derivada para achar o valor ótimo da função.

$$\frac{dAt}{dR} = \frac{-16000}{R^2} + 4\pi R$$

Feito isso, é preciso achar o ponto crítico da função e determinar, se é um valor de mínimo ou máximo local, estudando o sinal da derivada. Para achar o ponto crítico deve igualar a derivada à 0.

$$\frac{dAt}{dR} = 0 \therefore R^3 = \frac{16000}{4\pi}$$

Observando o sinal $\frac{dAt}{dR}$, conclui-se que a função adquire o valor mínimo global em $R = \sqrt[3]{\frac{4000}{\pi}}$, quando descoberto o valor ideal do raio e substituindo na equação da altura descoberto anteriormente obtemos:

$$h = \frac{8000}{\pi \left(\sqrt[3]{\frac{4000}{\pi}} \right)^2} = 2 \left(\sqrt[3]{\frac{4000}{\pi}} \right)$$

Então, a altura deve ser o dobro do raio. Calculando os valores de h e R obtemos:

$$h \cong 10,10570896$$

$$R = 5.052854482$$

Calculando o alimentador:

Com as dimensões do reservatório definidas, será feito um processo análogo para calcular as dimensões do alimentador (tronco de cone) variando em função apenas do raio menor (r), visto que o raio maior (R) será o mesmo do reservatório, calculado anteriormente.

A área lateral do alimentado é dada pela seguinte equação:

$$Al = \pi(R + r)g$$

(Al) = Área lateral

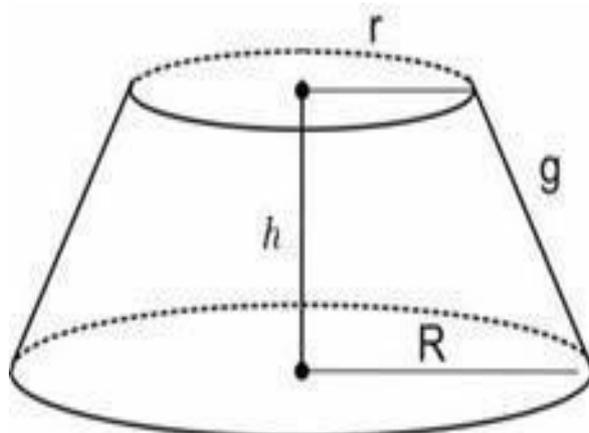
R = Raio maior

r = raio menor

g = geratriz

Analisando o tronco de cone percebe-se que a geratriz(g) pode ser substituída em uma equação em função dos raios e da altura. A seguir uma figura explicativa :

Figura 9 – Ilustração do tronco de cone



Fonte: <http://brasilecola.uol.com.br/matematica/tronco-cone.htm> (Acesso em: 06 nov.2016)

Logo, geratriz será:

$$g = \sqrt{(R - r)^2 + h^2}$$

Para que a área total fique em função apenas dos raios a altura deve ser equacionada em função destes, para isso será usada equação do volume do tronco de cone cujo valor deve ser igual a 2.000cm^3 .

Equacionando o volume do tronco de cone:

$$2.000 = \frac{\pi h}{3} [R^2 + Rr + r^2]$$

Logo, a altura em função dos raios será:

$$h = \frac{6000}{\pi(R^2 + Rr + r^2)}$$

Com a equação da altura e da geratriz em função dos raios já descoberta, basta substituí-las na equação da área lateral e fixar o valor do raio maior(R) descoberto no cálculo do reservatório que é igual a 5,05cm.

$$Al(r) = \pi(5,05 + r) \left(\sqrt{(5,05 - r)^2 + \left(\frac{6000}{\pi[5,05^2 + 5,05r + r^2]}\right)^2} \right)^2$$

Com a equação da área em função do raio, foi decidido fazer uma observação da função quando o raio tende a um valor muito grande ou muito pequeno, usando os conceitos de limites temos,

$$\lim_{r \rightarrow \infty} Al(r) = \pi(5,05 + r) \left(\sqrt{(5,05 - r)^2 + \left(\frac{6000}{\pi[5,05^2 + 5,05r + r^2]}\right)^2} \right)^2 = \infty \text{ cm}^2$$

$$\lim_{r \rightarrow 0} Al(r) = \pi(5,05 + r) \left(\sqrt{(5,05 - r)^2 + \left(\frac{6000}{\pi[5,05^2 + 5,05r + r^2]}\right)^2} \right)^2 = 1.190,8 \text{ cm}^2$$

Com isso a área total tende ao infinito quando o raio é muito grande, e quando muito pequeno tende a 1.190,8 cm², portanto necessita-se do conceito de derivada para achar o valor ótimo da função. Com a ajuda do *software* WxMáxima a derivada foi resolvida obtendo o seguinte resultado (para mais detalhes veja a Figura 10):

$$\frac{dAl}{dr} = 14(7(x^2 + 5x + 25) + (5 - x)^2) + 14(5 + x)(7(2x + 5) - 2(5 - x))$$

Figura 10 – Derivada resolvida através do *software* wxMaxima

```
Arquivo Editar View Célula Maxima Equações Álgebra Cálculo Simplificar Gráfico Numérico Ajuda
[--> (3,14)*(5,05+x)*((5,05-x)^2+(6000/3,14*((5,05)^2+(5,05*x)+(x^2)))^1/2)
[ (%i5) diff((3,14)*(5,05+x)*((5,05-x)^2+(6000/3,14*((5,05)^2+(5,05*x)+(x^2)))^1/2),x,1);
[ (%o5) 14(7(x^2+5x+25)+(5-x)^2)+14(x+5)(7(2x+5)-2(5-x))
[ (%i6) allroots(14*(7*(x^2+5*x+25)+(5-x)^2)+14*(x+5)*(7*(2*x+5)-2*(5-x)));
[ (%o6) [x=2.491304321479458 %i -2.708333333333333, x=-2.491304321479458 %i -2.708333333333333 ]
```

Fonte: Próprios autores

Feito isso, é preciso achar o ponto crítico da função e determinar, se é um valor de mínimo ou máximo local, estudando o sinal da derivada. Para achar o ponto crítico deve igualar a derivada à 0, esta resposta poder ser vista na Figura 10. Novamente com o auxílio do *software*, foi achado o ponto crítico da função:

$$\frac{dAl}{dr} = 0 \therefore r \cong 2,50$$

Observando o sinal da $\frac{dAl}{dr}$, conclui que a função adquire o valor mínimo local em $r = 2,50\text{cm}$. Descoberto o valor ideal do raio menor e substituindo na equação da altura descoberta anteriormente obtemos:

$$h = \frac{6000}{\pi[5,05^2 + 5,05(2,5) + 2,5^2]}$$

Com isso, para que se gaste a menor quantidade possível de material, na construção do alimentador em forma do tronco de cone de volume igual à 2.000 cm^3 , ele deve ter as seguintes dimensões:

$$h \cong 43,04\text{ cm}$$

$$r \cong 2,50\text{ cm}$$

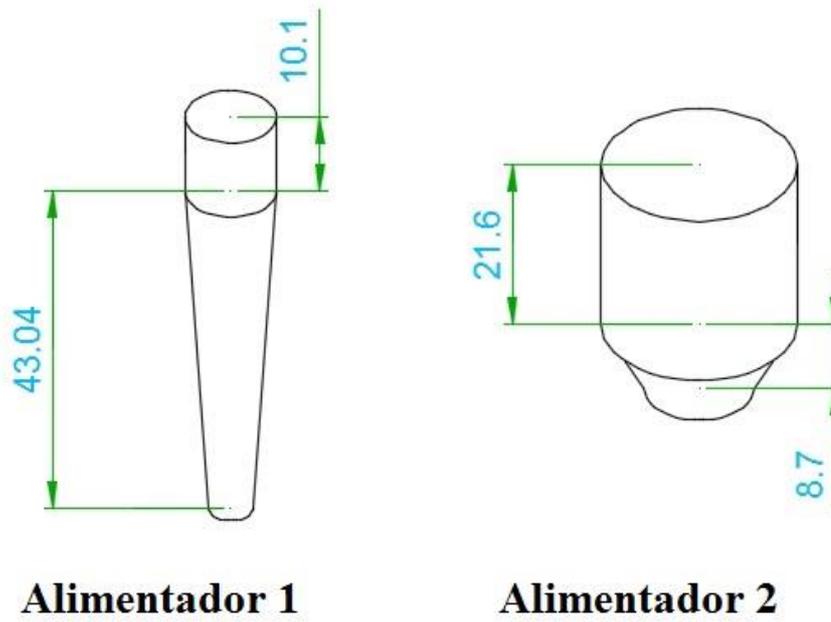
5.3.1 - O erro

Já na reta Final, nos últimos cálculos que seriam feitos para a construção do alimentador, chegamos a resultados indesejáveis. Após as contas feitas, o alimentador ficaria com o seguinte formato, pode se visto na Figura 11, Alimentador 1.

O Alimentador 1 seria o que utilizaríamos caso não achássemos o erro. Depois de uma revisão nos cálculos, o grupo descobriu que na hora de digitar a conta que definiria a altura e os raios do alimentador, faltou alguns parênteses, e isso comprometeu todo o processo de fabricação do alimentador.

O Alimentador 2 seria o formato mais adequado.

Figura 11 - Alimentadores



Fonte: Próprios autores

5.4-Relevância do trabalho (CTS)

Com a evolução nos processos industriais, exigiu-se uma maior agilidade na produção, cujo objetivo era produzir mais, com o menor gasto e tempo possível. Nesse contexto surgiu um novo conceito de produção conhecido como Fordismo, e as esteiras industriais tiveram um papel extremamente importante para o funcionamento deste método, uma vez que consistia na disposição dos funcionários por uma linha de produção.

“A esteira transportadora vem a séculos melhorando os processos de produção, diminuindo custos e aumentando a produção industrial. Desde a criação da esteira transportadora, a indústria teve um salto gigantesco como um todo, sendo protagonista na revolução industrial.” (MARCONDES, 2011).

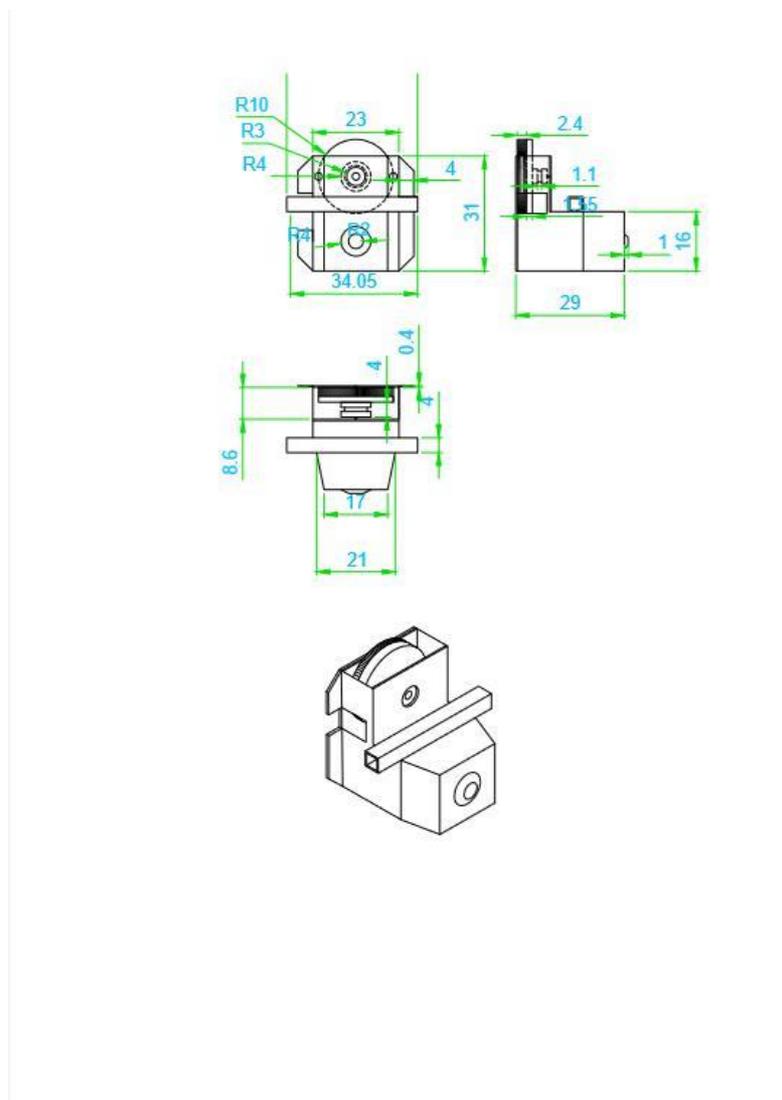
Cada operário realizava apenas uma função, e no fim dessa linha de produção temos o produto final. As mudanças e avanços que foram proporcionados por uma simples invenção, foram imprescindíveis para que o mundo seja como é hoje. Porém, este método foi se tornando cada vez mais decadente, pois, naquele momento grandes mudanças estavam ocorrendo. Com o êxodo rural, as grandes cidades apresentavam um grande excesso de mão de obra, fazendo com que os empregadores pudessem oferecer salários baixíssimos, e como desgastava os funcionários num trabalho monótono e repetitivo, em condições de trabalho muitas vezes subumanas, vários movimentos trabalhistas surgiram por melhores condições de trabalho nas indústrias. A partir da década de 70, um novo modelo de produção denominado Toyotismo, começou a ser empregado nas indústrias, porém não convém aprofundarmos, afinal o objetivo principal seria mostrar a participação de algo tão simples como uma esteira, no processo de transição e ascensão da sociedade moderna. Tal invenção proporcionou a aceleração no processo de produção de novas tecnologias.

6-DESENHO TÉCNICO MECÂNICO

6.1-Representação dos componentes separados no Auto CAD Mechanical

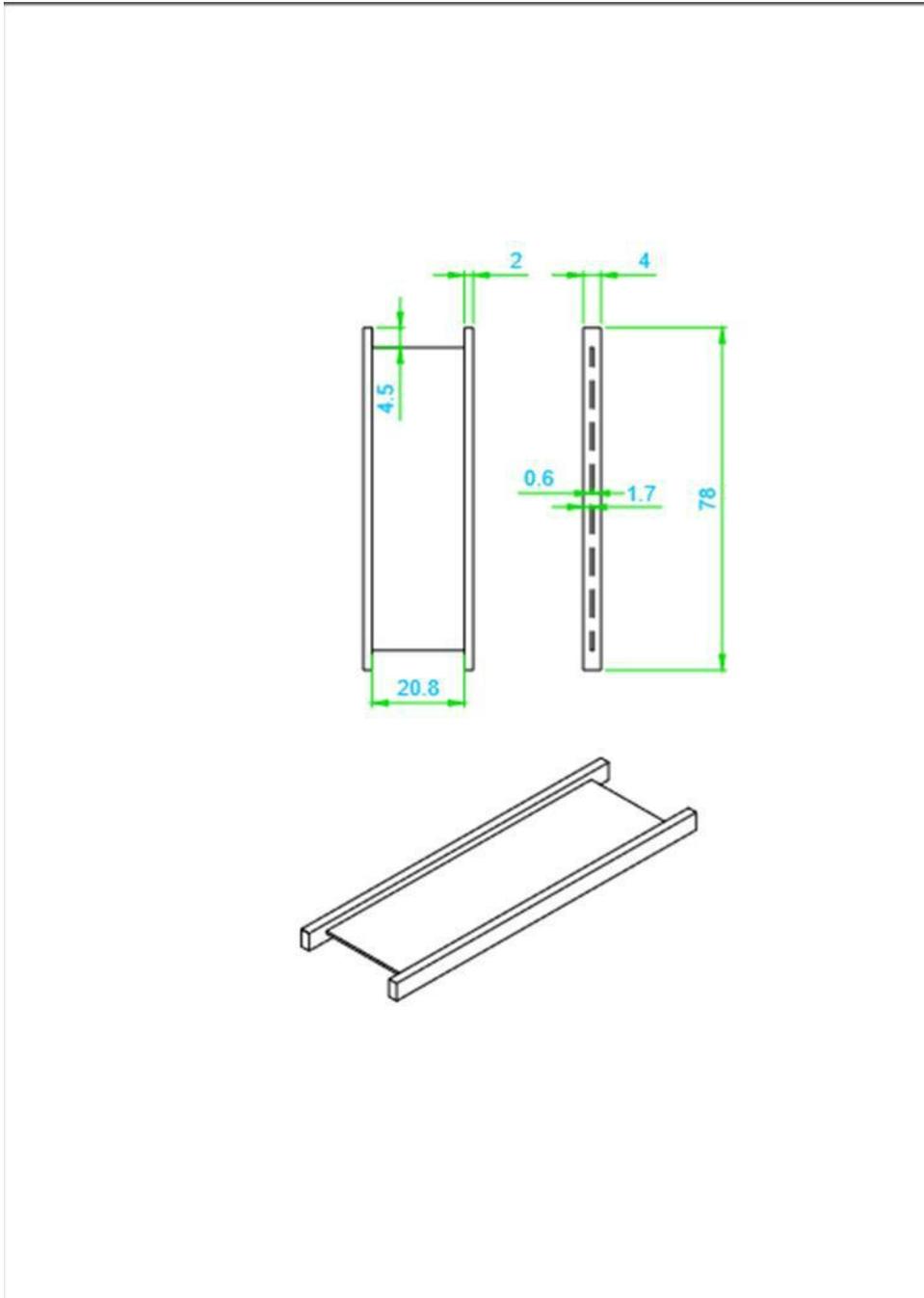
Para um melhor entendimento de como a esteira seria projetada, foi feito o uso do *software* AutoCAD Mechanical para reproduzir todas as partes possíveis da esteira separadamente. Todos os detalhes podem ser vistos nas Figuras 11, 12, 13 e 14.

Figura 12- Motor



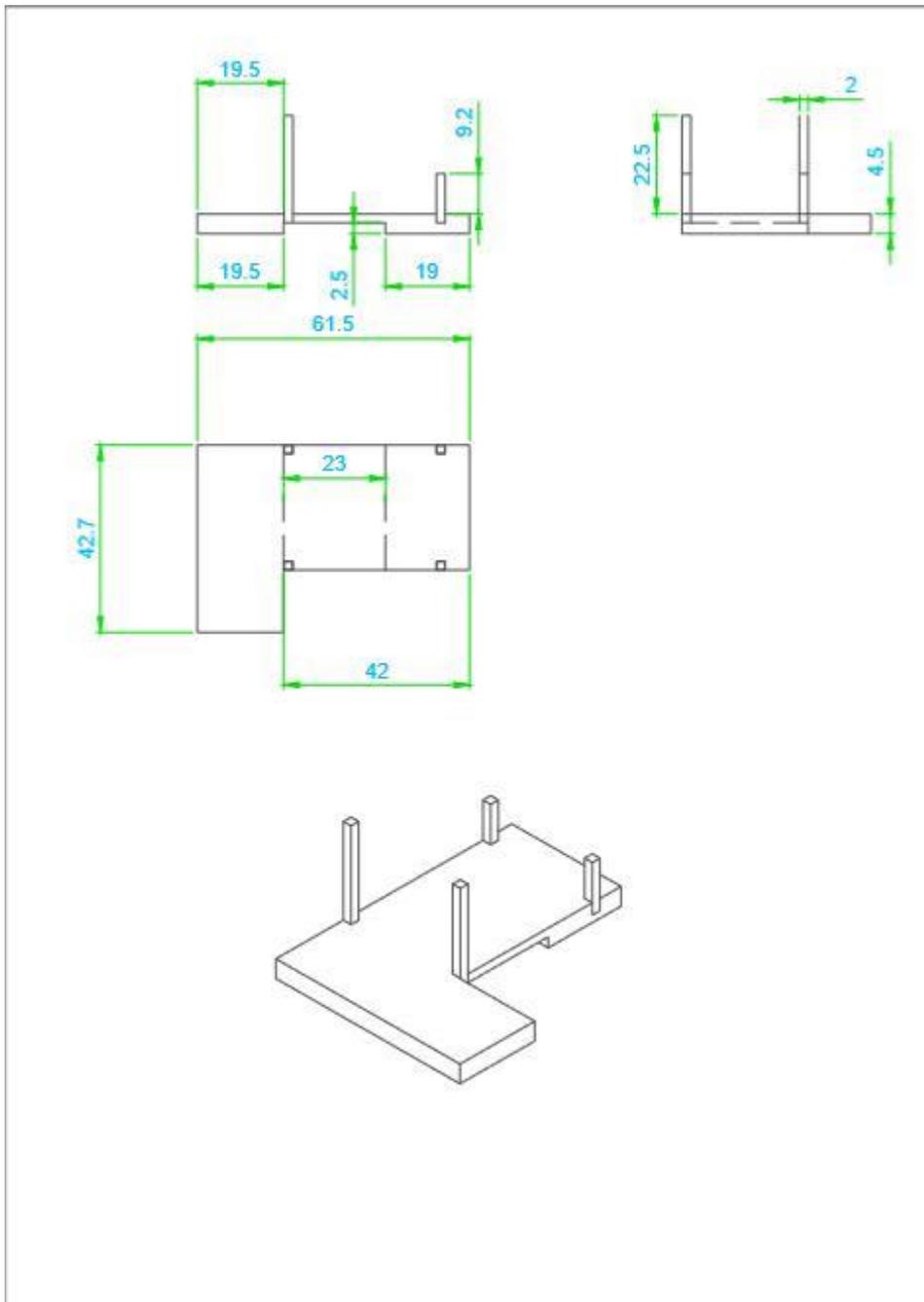
Fonte: Próprios autores

Figura 13- Quadro da esteira



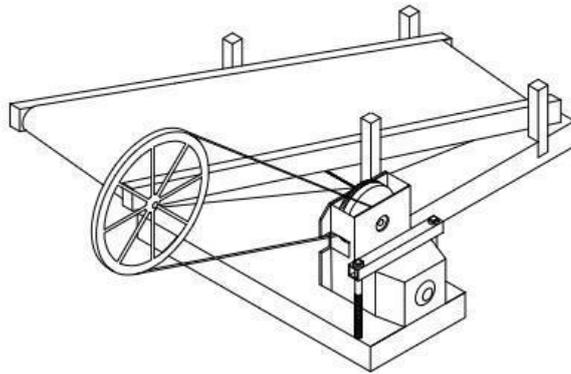
Fonte: Próprios autores

Figura 14 – Base da esteira



Fonte: Próprios autores

Figura 15- Perspectiva isométrica da esteira



Fonte: Próprios autores

7-INVESTIMENTO

O projeto ao todo teve um investimento de R\$ 80,00, considerando também as sobras de materiais.

Uma grande parte dos componentes adquiridos para a construção da esteira foi através de reaproveitamento de materiais inutilizados.

8-REFERÊNCIAS

CNI; IEL; ELETROBRÁS. **Correias transportadoras guia básico**. PROCEL INÚSTRIA Edição Seriada, 2008.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira e. "Taylorismo e Fordismo"; **Brasil Escola**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/taylorismo-fordismo.htm>>. Acesso em 18 de novembro de 2016.

FREITAS, Eduardo de. "Modalidades de produção industrial"; **Brasil Escola**. Disponível em <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/modalidades-producao-industrial.htm>>. Acesso em 18 de novembro de 2016.

MARCONDES, Marcelo De Araújo. **Desenvolvimento de um programa para cálculo de componentes mecânicos e estruturais para transportadores de correia**. 2011. Dissertação de Mestrado – Escola de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PENA, Rodolfo F. Alves. "Toyotismo e acumulação flexível"; **Brasil Escola**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/toyotismo-acumulacao-flexivel.htm>>. Acesso em 18 de novembro de 2016.

PENA, Rodolfo F. Alves. "Toyotismo"; **Mundo Educação**. Disponível em <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/toyotismo.ht>>. Acesso em 20 de novembro de 2016.

SENAI-ES. Mecânica. **Noções Básicas de Elementos de Máquinas**. 1996.

SILVA, Luiz Paulo Moreira. "Operações com vetores e representações geométricas"; **Brasil Escola**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/matematica/operacoes-com-vetores-representacoes-geometricas.htm>>. Acesso em 05 de dezembro de 2016

STEWART, James. **Cálculo I**. 7. Ed. São Paulo, 2013.

YOUNG, Hugh. D.; FREEDMAN, Roger. A. Física 1: Mecânica. 12. ed. São Paulo: Pearson/Prentice Hall, 2009. 413p