

**INSTITUTO FEDERAL**  
**MINAS GERAIS**

Breno Avelar Mendonça  
Geovanne Tavares Faria  
João Victor Rodrigues  
Nikael Vincenzo Resende  
Pedro de Melo Araújo Goulart

## **Descascador de grãos de café automático**

Arcos - MG

1 de dezembro de 2017

Breno Avelar Mendonça  
Geovanne Tavares Faria  
João Victor Rodrigues  
Nikael Vincenzo Resende  
Pedro de Melo Araújo Goulart

## **Descascador de grãos de café automático**

Trabalho Acadêmico Interdisciplinar apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Campus Arcos do Instituto Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a aprovação na disciplina TAI III.

Instituto Federal de Minas Gerais  
Campus Arcos  
Graduação em Engenharia Mecânica

Orientadores:  
Firmino Geraldo de Oliveira Júnior  
Márcio Rezende Santos

Arcos - MG  
1 de dezembro de 2017

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Emissões de $CO_2$ por categoria de veículos . . . . .	7
Figura 2 – Sistema de redução por polias . . . . .	13
Figura 3 – Polias acopladas ao Descascador de Café e ao motor . . . . .	13
Figura 4 – Descascador de Café automatizado mecanicamente . . . . .	14
Figura 5 – Bobinas gerando campo magnético girante quando as correntes elétricas que percorrem tenham fases iniciais diferentes . . . . .	16
Figura 6 – Descrição do MHS como a projeção do MCU . . . . .	16
Figura 7 – Ilustração da elipse formada . . . . .	17
Figura 8 – Monitoramento térmico . . . . .	20
Figura 9 – Gráfico vazão por frequência: . . . . .	26
Figura 10 – Corte longitudinal de um grão de café. . . . .	27
Figura 11 – Feira Internacional de Negócios, Inovação e Tecnologia (FINIT) . . . . .	32
Figura 12 – Representação do motor . . . . .	41
Figura 13 – Representação do descascador . . . . .	42
Figura 14 – Sistema de admissão . . . . .	43
Figura 15 – Representação do volume 1 do sistema de admissão . . . . .	45
Figura 16 – Representação do volume 2 do sistema de admissão . . . . .	46
Figura 17 – Representação do volume 3 do sistema de admissão . . . . .	47
Figura 18 – Gráfico gerado pelo polinômio (1) (vazão/frequência) . . . . .	51
Figura 19 – Esforços do descascador . . . . .	52
Figura 20 – Esforços do motor . . . . .	53
Figura 21 – Reações na viga . . . . .	53
Figura 22 – Primeira parte . . . . .	54
Figura 23 – Segunda parte . . . . .	54
Figura 24 – Terceira parte . . . . .	55
Figura 25 – Quarta parte . . . . .	55
Figura 26 – Quinta parte . . . . .	56
Figura 27 – Diagrama força de cisalhamento . . . . .	57
Figura 28 – Diagrama momento fletor . . . . .	57
Figura 29 – Materiais de composição da correia. . . . .	60
Figura 30 – Curva Tensão-Deformação para uma borracha . . . . .	61
Figura 31 – Diagrama de fases Ferrita - Cementita . . . . .	65
Figura 32 – Microestrutura do aço hipoeutetóide . . . . .	66

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Materiais utilizados . . . . .	14
Tabela 2 – Relação custo benefício / dia . . . . .	19
Tabela 3 – Coeficiente de dilatação linear . . . . .	21
Tabela 4 – Calor específico . . . . .	22
Tabela 5 – Composição química do aço 1020. . . . .	25
Tabela 6 – Análise do processo e suas interferências na rotação do motor . . . . .	25
Tabela 7 – Principais constituintes do grão do café. . . . .	28
Tabela 8 – Propriedades Físico-Químicas . . . . .	29
Tabela 9 – Forças e Centroides . . . . .	30
Tabela 10 – Forças, Reações e Momentos na viga . . . . .	31
Tabela 11 – Tempo de vida útil para correias . . . . .	59
Tabela 12 – Composição química do aço 1020. . . . .	64
Tabela 13 – Propriedades Mecânicas dos Aços . . . . .	68
Tabela 14 – Coeficientes de Segurança . . . . .	69
Tabela 15 – Cronograma 2017 . . . . .	71

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b>	<b>6</b>
1.1.1	Benefícios esperados	7
1.1.2	Descrição das principais premissas	8
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>8</b>
1.2.1	Objetivos Gerais	8
1.2.2	Objetivos Específicos	8
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Descascador de café</b>	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Motor elétrico</b>	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistema de redução por polias</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Métodos utilizados para montagem</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Materiais</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE DADOS</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise da eficiência do motor</b>	<b>15</b>
<b>4.2</b>	<b>Consumo por hora</b>	<b>18</b>
<b>4.3</b>	<b>Taxa de desperdício e análise comparativa</b>	<b>18</b>
<b>4.4</b>	<b>O resfriamento do motor</b>	<b>19</b>
<b>4.5</b>	<b>Análise da troca de calor do motor com o meio</b>	<b>21</b>
<b>4.6</b>	<b>Escolha do sistema de transmissão de movimento</b>	<b>22</b>
<b>4.7</b>	<b>Escolha da correia ideal para o sistema de transmissão</b>	<b>23</b>
<b>4.8</b>	<b>Material do recipiente de admissão dos grãos de café</b>	<b>24</b>
<b>4.9</b>	<b>Otimização - Cálculo da Vazão Ideal</b>	<b>25</b>
<b>4.10</b>	<b>Estrutura e composição química do café</b>	<b>26</b>
<b>4.11</b>	<b>Aplicação de um Antiderrapante</b>	<b>29</b>
<b>4.12</b>	<b>Análise estrutural do projeto</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>33</b>

<b>APÊNDICES</b>	<b>36</b>
<b>APÊNDICE A – TAXA DE DESPERDÍCIO E ANÁLISE COMPARATIVA . . . . .</b>	<b>37</b>
<b>APÊNDICE B – CONSUMO POR HORA . . . . .</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICE C – CÁLCULOS REFERENTES AOS CENTROIDES E FOÇAS RESULTANTES DE CADA COMPONENTE . . . . .</b>	<b>41</b>
<b>APÊNDICE D – CÁLCULO DA VAZÃO IDEAL POR INTERPOLAÇÃO . . . . .</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE E – CÁLCULO DOS ESFORÇOS NA VIGA . . . . .</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE F – ESCOLHA DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE G – ESCOLHA DA CORREIA IDEAL PARA O SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO . . . . .</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE H – MATERIAL DO RECIPIENTE DE ADMISSÃO DOS GRÃOS DE CAFÉ . . . . .</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE I – DIMENSIONAMENTO DAS BASES DO PROTÓTIPO . . . . .</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE J – CRONOGRAMA . . . . .</b>	<b>71</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Pequenos produtores rurais de café geralmente não possuem condição financeira para investir em máquinas automáticas de descascamento de café de grande porte. Muitos conservam, portanto, técnicas tradicionais manuais. Normalmente é usado um descascador com funcionamento a manivela (o que necessita de grande esforço físico por parte do operador), além de consumir maior tempo para a realização da tarefa. Outro método utilizado por eles, mas que gera grandes despesas, trata-se da contratação dos serviços prestados por um caminhão que possui um descascador automático embutido.

O caráter inovador deste projeto delinea-se a partir de sua proposta de promover o descascamento do café de forma automática em uma máquina de pequeno porte, com custo acessível ao pequeno produtor. Para tanto, acopla-se ao equipamento de manivela um motor e um sistema de redução por polias, para que a velocidade de rotação seja reduzida e transmitida para o rolo compressor da máquina. Será feita ainda ampliação no sistema de admissão de grãos e o posterior acoplamento da bica de jogo<sup>1</sup>, o processo será realizado em menor tempo, e com acionamento, desligamento programável. A melhora na eficiência garantirá uma maior produtividade para o pequeno produtor rural, culminando assim em inclusão social devida a inserção no mercado.

Dessa forma, a construção de uma máquina que viabilize o funcionamento de um descascador de café, destinado ao atendimento de agricultores familiares, seria viável economicamente e teria eficiência produtiva de acordo com a demanda projetada?

## 1.1 Justificativa

Segundo o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017) “[...] são cerca de 287 mil produtores, predominando mini e pequenos, em aproximadamente 1.900 municípios, que, fazendo parte de associações e cooperativas, distribuem-se em 15 Estados [...]”. Assim, na perspectiva social, notou-se benefícios em relação à maior disponibilidade do produtor rural, já que com a utilização da máquina, ele realizará o processo de descascar os grãos de café em menor tempo. Tempo este que ele poderá investir em outras atividades ou dedicar-se a sua família, promovendo inclusão social e melhora de vida.

Do ponto de vista acadêmico o trabalho servirá de base para pesquisas futuras que poderão usufruir dos métodos e mecanismos propostos, como o sistema de redução e o

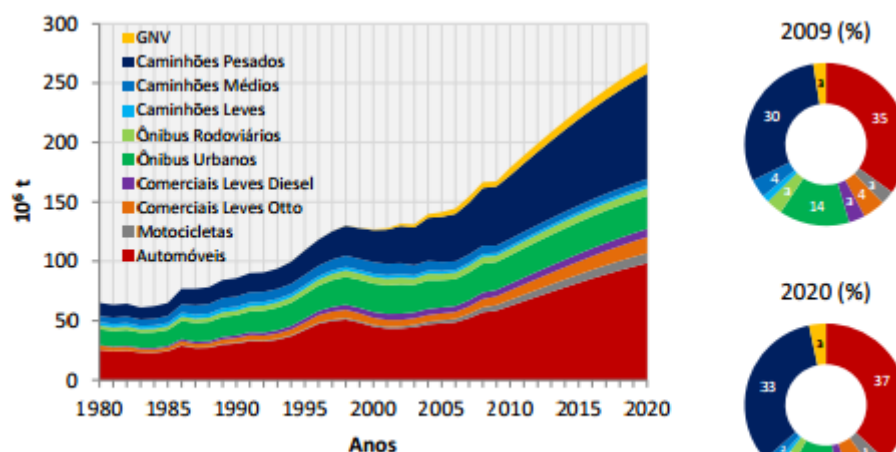
---

<sup>1</sup> A bica de jogo tem como função separar a semente do café de sua casca e sujeiras vindas com após o processo de desacoplagem da casaca.

aumento do sistema de admissão dos grãos. Além disso, o projeto integra conhecimentos variados intrínsecos da Engenharia Mecânica.

Destaca-se, como benefício ambiental, a diminuição da emissão de gases poluentes por parte da máquina quando comparado ao serviço de descascar grãos prestado pelo caminhão, que emite gases poluentes ( $CO_2$ ) conforme pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Emissões de  $CO_2$  por categoria de veículos



Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2011

Dessa forma, o produto desenvolvido neste projeto busca atender à demanda de agricultores familiares de forma prática e com um custo acessível. No que tange a essa acessibilidade econômica, o valor de custo para a prototipagem deste equipamento é da ordem de R\$ 600,00. Este valor foi estimado com base em uma lista de materiais para a construção da máquina. Este valor poderá diminuir de acordo com a produção elevada de exemplares e também com o barateamento da matéria prima.

### 1.1.1 Benefícios esperados

As vantagens almejadas com a realização do projeto são:

- Obter a semente descascada e limpa de café seco;
- Fácil manuseio e inspeção (utilização de mecanismos simples);
- Possibilidade de alocação em período ocioso do equipamento (fonte de renda extra);
- Contribuição ergonômica, evitando lesão por esforço repetitivo.



### 1.1.2 Descrição das principais premissas

O sucesso deste projeto está condicionado ao atendimento da demanda de cafés secos que precisam ser descascados por produtores de pequeno porte, os quais não necessitam de um maquinário de tecnologia demasiadamente robusta para suprir suas necessidades. O produto final será composto por sistema de polias, que irá reduzir a velocidade de rotação do rolo compressor de modo que não danifique a estrutura das sementes.

Além disso, será projetada a vazão ideal de sementes a fim de quantificar a eficiência deste equipamento quanto à capacidade produtiva, levando em consideração a taxa de desperdício (Quantidade de sementes que não são descascadas por completo ou que são destruídas durante o processo).

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivos Gerais

Verificar se uma máquina que automatize mecanicamente o funcionamento de um descascador de café, destinado ao atendimento de agricultores familiares, é viável do ponto de vista da produção e do custo que ela teria em escala comercial.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Substituir a manivela do descascador de café por um sistema de polias ligado a um motor, a fim de automatizar o processo;
- b) Aperfeiçoar o tempo e a quantidade de grãos descascados, a partir do aumento do sistema de admissão dos grãos, acoplando sobre o descascador uma estrutura de admissão maior;
- c) Calcular a vazão ideal de acordo com as especificações do motor de modo que o equipamento opere com a potência mínima mantendo a produção;
- d) Calcular o torque necessário para realizar a atividade sem danificar a estrutura dos grãos;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Descascador de café

Durante o processo na fabricação do café este passa por uma etapa, após seu cultivo e secagem dos grãos, que tem como função desacoplar a casca que envolve a sementes de café. Utiliza-se equipamentos para este procedimento e um deles trata-se do descascador de café manual. Com intuito de melhorar a produtividade oferecida por este equipamento e fornecer uma máquina viável economicamente, automatizou-se mecanicamente essa máquina.

De acordo com Mesquita (2016) após a lavagem-separação, o café é descascado, por fricção, em descascadores mecânicos. Existem descascadores de diversos portes, nível de tecnificação/automação, indo desde os mais simples, de acionamento manual, até outros de alta tecnologia e alto rendimento.

Segundo Silva (2016,p.7) “nesse tipo de descascador de cerejas, os frutos maduros e facilmente esmagáveis são forçados a passar pelas frestas de uma placa vazada quando pressionados por um cilindro alveolado”.

Um dos métodos utilizados pelos pequenos produtores trata-se do uso do pilão no beneficiamento do café. Como infere Cintra (1935) esse procedimento é constituído por um toco de madeira na posição vertical, possuindo uma cavidade na parte superior, completada com uma haste de madeira. Enchia-se então o pilão com os grãos de café já secos, e então, o trabalhador subia a haste e descia comprimindo os grãos até descasca-los. Mas devido ao cansaço promovido por este procedimento, o desenvolvimento desta máquina automática irá contribuir para a produtividade deste trabalho realizado.

A invenção deste dispositivo contribuiu para o processo de beneficiamento de café, inovando o método de descascar o grão, técnica essa que pode ser continuamente desenvolvida com o objetivo de fornecer um meio cada vez mais eficaz, como é visto como meta deste projeto.

### 2.2 Motor elétrico

O dispositivo que foi empregado para propor o movimento automático do descascador, refere-se ao motor elétrico, que é capaz de fornecer a potência, o torque (a força ideal na compressão dos grãos) e a rotação essencial nesse procedimento de beneficiamento do café.

Segundo Gomes (2003,p.50) “o motor elétrico exerce sua função a partir da propriedade da corrente elétrica gerar um campo magnético que varia em relação a um condutor, provocando uma corrente elétrica. A grosso modo, formam-se dois ímãs, um no estator e outro no rotor, cuja interação provoca o movimento do motor.”

É a partir desse mecanismo que se pode gerar o movimento do descascador, substituindo o trabalho braçal exercido até então na máquina manual, por um movimento obtido através da eletricidade.

A regulação das características do motor que irão ser transferidas para o equipamento de descascar, foram estabelecidas através de testes e aplicadas no equipamento com o auxílio da utilização de um sistema de redução por polias. Como explica Gomes (2003,p.50) “[...] o motor se auto-regula para atender à carga no eixo: se aumenta a carga, diminui a rotação, aumenta a corrente do motor e aumenta a potência elétrica fornecida.”

Conforme Silveira; Marques (2012, p.115) “a invenção do primeiro motor de indução aconteceu no verão de 1883 em Estrasburgo (França) pelo cientista e inventor sérvio-americano Nikola Tesla (1856-1946). A patente do seu primeiro motor de indução aconteceu em 1888”.

Com a consagração desse modelo de motor em vários tipos de máquinas, sua aplicação no descascador para torná-lo automático por meio da indução eletromagnética, ira satisfazer as necessidades quanto ao torque, rotação e potência imprescindíveis para a realização do processo de descascar café de maneira mais efetiva em relação ao trabalho braçal.

## 2.3 Sistema de redução por polias

No sistema onde o processo de descascar grãos de café foi automatizado mecanicamente, tornou-se imprescindível o uso de polias, com o objetivo de reduzir as rotações vindas do motor para atingir o desempenho ideal do rolo compressor, que tem como função desacoplar a casca que envolve a semente do café.

Polias são definidas como peças cilíndricas, as quais são movimentadas por meio da rotação do eixo do motor e correias. A polia é constituída de uma coroa ou face, na qual se envolve a correia, sendo que a face é conectada a um cubo de roda através do disco ou braços [...] cuja característica é definida pela não transmissão de potência no acionamento. É empregada no tencionamento de correias, quando as distâncias entre centros são muito pequenas. (FRANCESCHI; ANTONELLO. p.72-73)

A história da criação e das primeiras utilizações do sistema de redução por polias, é retratado por OLIVEIRA (2015, p.5):

Este elemento de máquina não tem uma origem bem definida, porém há registros de que os mesopotâmios já utilizavam polias para erguer objetos em meados de 1500 a.C., já o primeiro sistema de roldanas foi usado por Arquimedes em 287 a.C., este foi um matemático, físico, engenheiro, inventor, e astrônomo grego, se utilizou deste sistema para a movimentar grandes quantidades de peso exercendo menos força. Com seu invento ocorreu um grande avanço nos mais diversos trabalhos executados de forma manual até então, trabalhos estes que exigiam grande esforço e muita mão de obra.

O motivo pelo qual se optou pela utilização do sistema de redução por polias, se deve ao seu custo quando comparado a outros sistemas de redução e sua eficiência em realizar a função de redução.

Para Melconian (2012) normalmente os motores possuem velocidades fixas, assim esses conjuntos transmissores de velocidade são capazes também de modificar a velocidade original do motor para atender às necessidades operacionais da máquina, sistema conhecido como sistema de redução.

Na etapa de determinação da rotação ideal que deveria chegar no rolo compressor transmitida pelo motor, utilizou-se o método científico com a realização de testes no descascador manual, onde os resultados obtidos caracterizaram a força necessária que o rolo compressor deveria produzir sobre as sementes e a rotação que este deveria ter.

Segundo GALL; STREDA; MOLIN (2013, p.3):

Para considerar um sistema ampliador, o movimento deverá passar da engrenagem maior para a engrenagem menor, aumentando desta forma a rotação. Já pelo contrário em um sistema redutor o movimento deverá passar da engrenagem ou polia menor para a maior, reduzindo assim a rotação do sistema.(apud ANTUNES E FREIRE, 2000)

Após os resultados com os testes, foi possível dimensionar as polias que deveriam ser usadas para que o sistema forneça a rotação ideal ao rolo, reduzindo a rotação vinda do motor. As dimensionadas utilizadas possuem os diâmetros correspondentes a 150 mm no eixo do descascador e 50 mm no eixo do motor.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Métodos utilizados para montagem

Utilizou-se o método científico que parte da observação sistemática de fatos, seguido da realização de experiências, das deduções lógicas e da comprovação científica dos resultados obtidos.

Com base em uma pesquisa exploratória, objetivou-se proporcionar maior familiaridade com o assunto em questão; envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o assunto pesquisado e análise de exemplos; assume em geral a forma de pesquisas bibliográficas e estudos de caso.

Os dados fundamentais para a construção do Descascador de Café Automático foram coletados por meio de pesquisas bibliográficas em livros, revistas especializadas, e por meio de pesquisas de campo, onde foram realizadas entrevistas semiestruturadas junto a pessoas e profissionais vinculados ao tema proposto pelo projeto, a partir dos quais adquiriu-se conhecimentos fundamentais para a execução do mesmo.

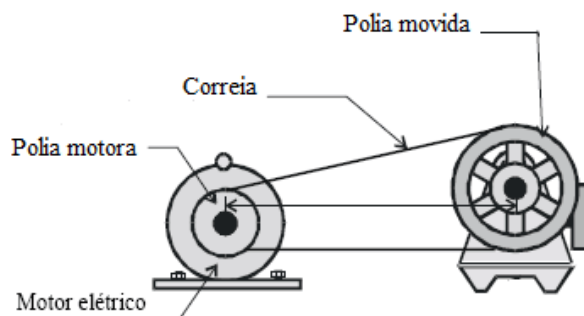
Desse modo, com o objetivo de facilitar e organizar o desenvolvimento da atividade, a metodologia empregada neste projeto foi dividida em cinco etapas:

Etapa 1 – Reunindo as informações e dados que serviram de base para a construção do mecanismo proposto a partir do tema do projeto, notou-se que as pesquisas bibliográficas serviram como um modo de se aprofundar no assunto em questão, propiciando conhecimentos fundamentais para tornar tangíveis as ideias geradas. As pesquisas de campo realizadas com empresas da área agrícola (Emater e Cooxupé) e com pessoas físicas (Zenaido Fonseca – Engenheiro Agrônomo da Emater) foram responsáveis por extrair dados e informações diretamente da realidade do objeto de estudo, definindo também os objetivos e hipóteses do projeto, assim como gerou soluções para a situação ou problema abordado na pesquisa.

Etapa 2 – Percepção das peças necessárias para a construção do Descascador de Café Automático através dos dados coletados nas pesquisas bibliográficas e nas pesquisas de campo. Inicialmente, era fundamental conseguir um sistema capaz de descascar grãos de café secos, e, com o auxílio de pesquisas e consultas feitas, chegou-se à conclusão de que um descascador de café manual seria o essencial para o projeto.

Em seguida, verificou-se que um sistema de redução por polias e um motor elétrico seriam primordiais para automatizar o equipamento mecanicamente, cortando assim a exaustão que o trabalho manual de descascar grãos de cafés causaria.

Figura 2 – Sistema de redução por polias



Fonte: Google Imagens (Acesso em: 14 nov. 2017)

Por fim, constatou-se que aumentar o sistema de admissão de grãos de café do equipamento seria relevante para o projeto levando em consideração a demanda desigual que cada usuário da máquina apresentaria. Percebeu-se também a necessidade de preservação do equipamento, ficando evidente que a construção de uma estrutura abrangendo a máquina seria fundamental para prolongar a vida útil do mesmo.

Etapa 3 – Com as peças necessárias compreendidas e a tarefa de cada uma especificada, foi feita a montagem da parte mecânica e dos componentes fixos e móveis do projeto com o auxílio de especialistas e profissionais da área, aplicando preceitos de Engenharia Mecânica.

A montagem consistiu primeiramente em acoplar as polias (alumínio) e a correia (borracha) no descascador de café manual e no motor elétrico. Foi construída também uma base de madeira para dar estrutura aos componentes do projeto.

Figura 3 – Polias acopladas ao Descascador de Café e ao motor



Fonte: Próprios autores

Logo após, acoplou-se o sistema de admissão de grãos (aço) ao descascador de café, e, por fim, foi feita uma estrutura de aço com os apoios fixados na mesma.

Figura 4 – Descascador de Café automatizado mecanicamente



Fonte: Próprios autores

Etapa 4 – Testes do equipamento considerando um cenário de uso. Nesta etapa foram realizados testes com o Descascador de Café Automático, tendo em vista um cenário onde ele será utilizado e levando em consideração as solicitações em casos extremos.

Etapa 5 – Avaliação dos resultados obtidos.

## 3.2 Materiais

A seguir, tem-se a Tabela 1 com todos os materiais utilizados na composição do projeto, separado por etapas do processo:

Tabela 1 – Materiais utilizados

Descascador de café	Sistema de redução por polias	Estrutura
Rolo compressor	Polias	Base de madeira
Sistema de admissão	Correia	Parafusos e porcas
Buchas e rolamentos	Motor elétrico	Estrutura de aço
Anéis de trava	Antiderrapante	Apoios de aço

Fonte: Próprios autores

## 4 ANÁLISE DE DADOS

### 4.1 Análise da eficiência do motor

O motor utilizado nesse projeto trata-se de um motor de indução monofásico com capacitor permanente. Segundo Silveira e Marques (2012), dentre os motivos que regem a escolha deste motor estão: Capacidade de trabalhar em regime intermitente; facilidade em alterar sua velocidade (por meio da troca do capacitor); quando este vence seu regime de estabilidade e alcança sua velocidade nominal ele é silencioso e vibra menos que outros motores monofásicos.

A contribuição deste capacitor, considerado permanente (enrolamento auxiliar e o capacitor ficam sempre ligados), destaca-se por ele ser capaz de desviar a corrente elétrica em  $90^\circ$ , criando um campo magnético girante. Estes campos oscilantes são gerados por bobinas alimentadas com correntes elétricas alternadas.

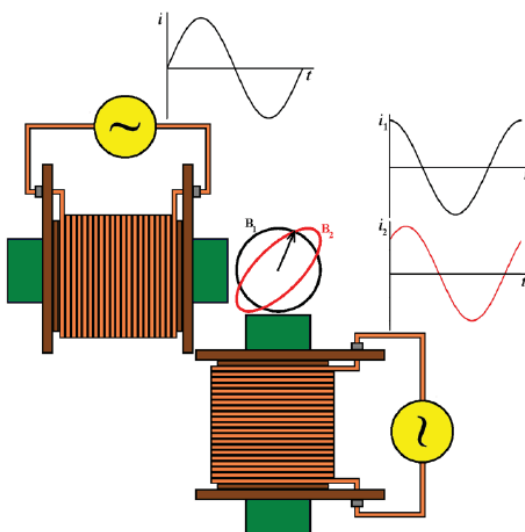
O campo magnético em um ponto próximo a uma bobina com tal alimentação oscilará em fase com a CA (corrente alternada), cuja frequência é 60 Hz. Se considerarmos um ponto sobre o eixo de simetria de uma bobina, haverá uma indução magnética orientada segundo o eixo da bobina, que terá sua intensidade e seu sentido variando harmonicamente no tempo com período de  $1/60$  s. (Silveira e Marques, 2012 p. 118).

A figura 5 representa duas bobinas percorridas por correntes elétricas senoidais. Os gráficos traçados em função do tempo indicam que a bobina superior (horizontal) possui fase inicial nula. Já a bobina inferior (vertical) possui duas correntes elétricas  $i_1(t)$  e  $i_2(t)$  com fases iniciais diferentes de zero e diferentes entre si. A fase inicial para  $i_1$  corresponde a  $\frac{1}{4}$  de ciclo (ou  $90^\circ$ ); a fase inicial para  $i_2$  corresponde a  $\frac{1}{8}$  de ciclo (ou  $45^\circ$ ).

Dessa forma é notório que o campo magnético girante é obtido pela diferença de fase inicial entre as correntes elétricas quando estas não são nulas. Além disso, toda essa conjuntura está relacionada à escolha do motor para o descascador de café automático, pois no instante em que o grão está sendo descascado, o motor foge do seu regime de estabilidade e isso causa alterações no campo magnético girante, alterando assim, os valores de correntes elétricas, quando trabalha sob uma exigência maior. Logo, este estudo visa estabelecer as condições necessárias para que o equipamento crie um campo magnético pouco variável.



Figura 5 – Bobinas gerando campo magnético girante quando as correntes elétricas que percorrem tenham fases iniciais diferentes

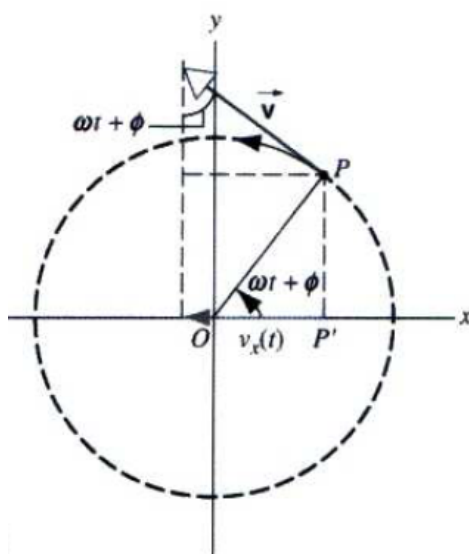


Fonte: “Motor elétrico: Uma das dez maiores invenções de todos os tempos”, Silveira e Marques, 2012

Abordagem do movimento harmônico simples e amortecido:

Quando o descascador está descarregado o motor opera no seu regime de estabilidade, alcançando sua velocidade nominal de rotação, gerando um movimento circular e uniforme no rotor e no rolo compressor. Neste caso o Movimento Harmônico Simples pode ser descrito como a projeção do Movimento Circular Uniforme ao longo de um diâmetro do círculo, como mostra a figura 6.

Figura 6 – Descrição do MHS como a projeção do MCU

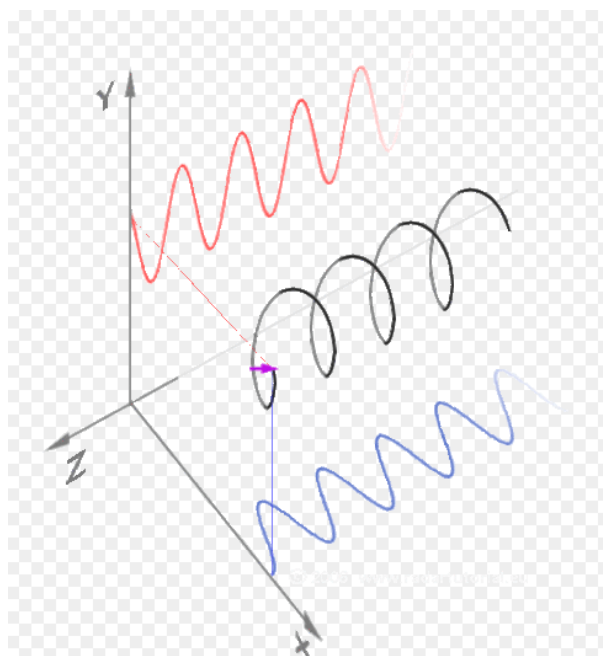


Fonte: HALLIDAY, RESNICK, WALKER, Física 2, 2007, p. 97

Ao carregar este descascador, o motor passa a descrever um Movimento Harmônico Amortecido, pois este sai do seu regime de estabilidade. Este movimento oscilante perde amplitude devido a um amortecimento causado pelo atrito entre os grãos de café no momento do descascamento. Este fator causa modificações no campo magnético girante do motor do descascador.

Para se criar um campo magnético pouco variável é necessário que a diferença de fase inicial deva ser de  $\frac{1}{4}$  de ciclo (ou  $90^\circ$ ). Se o grau de defasagem for inferior a  $90$  graus, como diz Del Toro (1999, p. 349) “um campo girante pode ainda ser desenvolvido, mas o lugar geométrico do vetor de fluxo resultante será uma elipse e não um círculo.”, o que comprometeria todo o funcionamento do motor. A Figura 7 mostra a formação da elipse retratada.

Figura 7 – Ilustração da elipse formada



Fonte: <<https://dicasdozébio.com>> (Acesso em: 15 de nove. 2017)

Por meio desta análise de campo magnético não é possível relacionar as perdas mecânicas sofridas pelo descascador com a diminuição da amplitude do campo magnético girante descrito pelo motor, quando este sistema passa a exercer Movimento Harmônico Amortecido. O que ocorre de fato é uma diminuição do comprimento de onda e não de amplitude.

Dessa forma, os motores de indução monofásicos precisam ser adequadamente dimensionados para uma melhor eficiência, sendo eles geralmente aplicados em casos de baixa potência. Compreendendo o funcionamento desses motores é possível também entender fenômenos eletromagnéticos e a geração de movimentos mecânicos.

## 4.2 Consumo por hora

Para a implementação de um equipamento no mercado faz-se necessário uma pré-análise da viabilidade econômica do mesmo, visando tornar este produto acessível aos consumidores.

Diante disso, foram quantificados os gastos totais do equipamento desenvolvido.

Sabe-se que há dois principais tipos de gastos com este equipamento: consumo de energia elétrica e manutenção.

I) Preço em reais (R\$) pago pela energia elétrica consumida por hora:

$$E = P \cdot \Delta T \rightarrow \text{Preço} = P \cdot \Delta T \cdot \text{CustoKWh}$$

$$\text{Consumo}_{\text{energético}} = 0,10 \text{R\$/h}$$

II) Preço em reais (R\$), pago pela manutenção da máquina:

- $M_{\text{rolo compressor}} = \text{R\$}0,30$  (gastos com limpeza);
- $M_{\text{funil de admissão}} = \text{R\$}0,15$  (gastos com limpeza);
- $M_{\text{polias}} = \text{R\$}0,80$  (gastos com lubrificante);

Através dos cálculos feitos no apêndice B, foi possível verificar que o gasto total do equipamento em relação ao seu tempo de uso, que é de 1,35R\$/hora.

## 4.3 Taxa de desperdício e análise comparativa

Durante a realização dos experimentos percebeu-se que certa quantidade de grãos era perdida durante o processo de descascamento. Diante desta análise e levando em consideração que uma saca de café contém 60Kg e custa R\$ 500,00, notou-se a necessidade de determinar a viabilidade econômica deste descascador na prática. Para tanto, foram realizados os cálculos, vide apêndice A, resultando em um gasto total por saca R\$ 3,716.

Além disso, foi considerado a mesma quantidade de café (64,5 Kg) sendo descascada manualmente por um funcionário que trabalha 8 horas por dia e recebe um salário mínimo:

- Sabe-se (experimento) que 1Kg de café leva em média 3 minutos para ser descascado manualmente, utilizando um descascador à manivela, ou seja, para descascar 64,5 Kg, seria necessário em média 3 h e 13 min.
- O valor do salário mínimo é R\$ 937,00, levando em consideração as taxas trabalhistas, o valor deste funcionário sairia na faixa de R\$ 1800,00

Diante do contexto acima, conclui-se que para uma mesma jornada trabalhada de 8 horas diárias segue a seguinte relação custo benefício:

Tabela 2 – Relação custo benefício / dia

	Manualmente	Descascador automático
Sacas descascadas	2,67	16
Custo(R\$)	60	11,45

Fonte: Próprios autores

Portanto, comprova-se que o debulhador automático é eficiente e prático para o consumidor.

Custo por saca debulhada:

- Manual =  $60 / 2,67 = 22,47$  R\$/ saca
- Automático =  $11,45 / 16 = 0,716$  R\$/ saca
- Manual / automático = 31,4

Gasto manual é aproximadamente 31 vezes mais caro que com a máquina.

#### 4.4 O resfriamento do motor

O processo de resfriamento do motor possui grande influência na eficiência do mesmo, visto que este processo pode minimizar os efeitos da dilatação do rotor do motor e do eixo do rolo compressor, além de garantir maior tempo em sua vida útil. Para concretizar este processo de resfriamento do motor será necessário acoplar um ventilador ao motor. O ventilador é o mecanismo responsável por ventilar o motor.

Todo o motor é dimensionado de modo que a sua velocidade nominal de rotação gire o ventilador rápido o suficiente para que o fluxo de ar prossiga através das passagens de sua carcaça e seja o necessário para resfriá-lo dentro das condições nominais de operação do motor.

Segundo Oliveira (2009):

As perdas no ventilador acontecem devido à energia requerida para soprar o ar sobre a superfície do motor. Como a energia mecânica gerada no motor é obtida através da conversão de energia elétrica, as perdas mecânicas são contabilizadas nas perdas elétricas. (Oliveira, 2009, p. 23).

Em detrimento a esta conjuntura foram realizados cálculos, baseados em experimentos (Figura 8) quanto à dilatação sofrida pelo rotor (componente que mais sofre aquecimento) e pelo eixo do rolo compressor do descascador.

$$\Delta L = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

Sabe-se que na prática trabalha-se com objetos em três dimensões, mas a análise de dilatação será feita considerando apenas a dilatação linear do alongamento sofrido por estes componentes. A equação acima fornecerá a dilatação linear do rotor feito de ferro considerando a variação de temperatura do mesmo em um período de uma hora com o motor em funcionamento e descascando em média duas sacas (120 kg) por hora. O material do eixo do rolo compressor é ferro fundido.

Dilatação do rotor:

$$\Delta L = 40[mm] \cdot 12 \cdot 10^{-6} [^{\circ}C^{-1}] \cdot 20,6 [^{\circ}C]$$

$$\Delta L = 9,888 \cdot 10^{-3} mm$$

Dilatação no diâmetro do eixo do rolo compressor

$$\Delta L = 12,1[mm] \cdot 10,5 \cdot 10^{-6} [^{\circ}C^{-1}] \cdot 9,6 [^{\circ}C]$$

$$\Delta L = 1,22 \cdot 10^{-3} mm$$

Figura 8 – Monitoramento térmico



Fonte: Próprios Autores

Dessa forma, com a utilização de um ventilador os efeitos da dilatação afetaria em menor proporção a vida útil do motor utilizado. Além disso, o superaquecimento do motor pode influir em perdas mecânicas, essas perdas compreendem a conversão de

energia mecânica em energia térmica devido ao atrito e perdas por viscosidades. Aqui estão inclusas principalmente as perdas nos rolamentos e no ventilador.

Além disso, sabe-se que o princípio de funcionamento de um motor elétrico é constituído por ímãs que criam um campo magnético variante. Através dessa variação gera-se corrente elétrica. Como o material que constitui o rotor do motor é o ferro (ferrite), cabe salientar que a ferrita deixa de possuir propriedades magnéticas a 768°C, isto implica que se o motor sofrer um grande aquecimento, o motor para de funcionar devido à falta de campo magnético.

Tabela 3 – Coeficiente de dilatação linear

MATERIAL	$\alpha(^{\circ}\text{C})$
Ferro	$12.10^{-6}$
Ferro fundido	$10,5.10^{-6}$

Fonte: <<http://www.clubedaeletronica.com.br/>> (Acesso em: 15 nove. 2017)

## 4.5 Análise da troca de calor do motor com o meio

No motor utilizado neste projeto, o ar ambiente circula livremente no interior do equipamento retirando calor das partes aquecidas. Com o intuito de monitorar essa troca de calor com o meio externo, foi feita outra análise térmica, porém esta objetiva analisar a quantidade de calor trocada com o meio, do componente que mais se aquece em todo o equipamento (rotor interno ao motor, feito de ferro), sem a presença de um ventilador, ou seja, operando em condições extremas. O experimento realizado nesta etapa trata-se da figura 8 (“Monitoramento Térmico”).

$$Q = m[g].c \left[ \frac{\text{cal}}{g} \cdot ^{\circ}\text{C} \right] \cdot \Delta T[^{\circ}\text{C}]$$

A equação acima trata-se da equação fundamental da calorimetria, a qual fornece a quantidade de calor através da massa, do calor específico do material analisado e da variação de temperatura sofrida pelo mesmo. Através dos parâmetros analisados por meio do experimento, temos:

$$Q = 843[g].0,11 \left[ \frac{\text{cal}}{g} \cdot ^{\circ}\text{C} \right] \cdot 20,6[^{\circ}\text{C}]$$

$$Q = 1910,238\text{cal}$$

Sabe-se que:

$$1\text{cal} \rightarrow 4,184\text{Joules}$$

$$\therefore 1910,238cal \rightarrow 7992,44Joules$$

Analisando esta quantidade de calor trocada, considerando uma massa de ar arbitrária, temos ainda que:

$$1910,238cal = 100[g].0,24 \left[ \frac{cal}{g} \cdot ^\circ C \right] \cdot \Delta T [^\circ C]$$

$$\therefore \Delta T = 79,6^\circ C$$

Dessa forma, foi possível verificar que o equipamento irá gerar uma intensa troca de calor com o meio, quando o motor trabalha em condições extremas (sem ventilação). Este fato seria inconveniente para as condições de trabalho do operador e, além disso, teria um aumento significativo na temperatura ambiente em que a máquina se alocaria. Para tanto, será necessário o uso de um ventilador que gire com na velocidade nominal do motor, otimizando assim, o sistema de arrefecimento de todo equipamento.

Tabela 4 – Calor específico

Elemento	Calor específico $\left[ \frac{cal}{g} \cdot ^\circ C \right]$
Ferro	0,11
Ar	0,24

Fonte: [https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/2\\_PROPRIEDADES%20DO%20AR%20ATMOSFERICO.pdf](https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/2_PROPRIEDADES%20DO%20AR%20ATMOSFERICO.pdf). Acesso em: 15 nov 2017.

## 4.6 Escolha do sistema de transmissão de movimento

Para o sistema de transmissão de movimento foi escolhido o uso de correia ao invés de corrente devido á alguns fatores:

- O custo de uma correia ser menor do que o de uma corrente.
- Se adequa a pequenas distancias entre os eixos;
- Propicia uma redução de velocidade necessária para o produto em questão;
- Protege a unidade motora;
- Não possui ruídos;
- Pequenas vibrações em relação á correntes.

- Manutenção de um sistema com correia é mais simples e mais barato, já que no sistema de corrente tem que levar em consideração materiais como óleos e graxas a serem usados para lubrificar.
- A vida útil de uma correia é bem maior que a vida útil de uma corrente, pois a corrente tem maior desgaste devido ao fato de estar em atrito com outro material metálico no caso as coroas dentadas. Não se sabe ao certo o tempo de vida de uma correia, mas de acordo com a tabela 11 e levando em consideração o número de horas máximo de uso da correia, a vida útil de uma correia é de 8,3 meses aproximadamente.

Os critérios mais detalhados para a escolha do sistema de transmissão de movimento se encontram vide apêndice F.

## 4.7 Escolha da correia ideal para o sistema de transmissão

O emprego da correia trapezoidal ou em V é preferencial ao da correia plana porque:

- Praticamente não apresenta deslizamento;
- Permite o uso de polias próximas;
- Elimina os ruídos e choques.

O formato em “V” da correia proporciona vantagens diferenciadas das demais. Destaca-se seu dimensionamento compactado com diferentes tamanhos, de modo a ser utilizada em espaços reduzidos, o que garante maior flexibilidade. Ressalta-se ainda sua fácil instalação, o que propicia sua utilização em vários motores com inúmeras funções. Sendo assim, de acordo com tais requisitos, foi visto que a correia em “V” seria a ideal para o projeto em questão.

A opção pelo material polímero em relação ao metal, deve-se a uma série de vantagens conquistadas por meio da permuta de materiais em algumas aplicações, como a diminuição do peso, redução do custo, melhor desenvoltura na resistência química e, sobretudo, redução significativa do barulho emitido pelo sistema. Além disso, é possível produzir peças com geometria complexa.

Os estudos mais detalhados para a escolha deste material (correia) se encontram vide apêndice G



## 4.8 Material do recipiente de admissão dos grãos de café

O recipiente original do descascador de café manual adquirido foi substituído por um outro de maior volume. Com isso, quando o recipiente está cheio de grãos de café, estes tais grãos exercem um desgaste as paredes do envoltório com o passar do tempo. Portanto é necessário estudar qual propriedade mecânica está relacionada a este desgaste e como preveni-lo.

Em geral, as propriedades mecânicas dos materiais indicam a reação do material quando sujeito a cargas externas, sua capacidade de resistir ou transmitir esses esforços sem se romper ou deformar de forma descontrolada.

A dureza é uma medida da resistência de um material a uma deformação plástica localizada (por exemplo, uma pequena endentação ou um risco). Existem diferentes tipos de dureza de uma material, tais como a Dureza Brinell e a Dureza Rockwell. Os ensaios Rockwell constituem o método mais comumente utilizado para medir a dureza, pois eles são muito simples de executar e não exigem qualquer habilidade especial. Os penetradores incluem bolas de aço esféricas endurecidas, com diâmetros de 1/16, 1/8, 1/4 e 1/2 polegada, e um penetrador cônico de diamante para os metais mais duros. Nos ensaios de dureza Brinell, como nas medições Rockwell, um penetrador esférico e duro é forçado contra a superfície do material a ser testado. O diâmetro do penetrador de aço endurecido (ou carbeto de tungstênio) é de 10,00mm. As cargas padrões variam entre 50 e 3000 kg, em incrementos de 500 kg. Durante o ensaio a carga é mantida constante durante um tempo específico (entre 10 e 30 s). O índice de dureza Brinell é função tanto da magnitude da carga como do diâmetro de impressão resultante.(CALLISTER, 2016 p.175-176)

Os valores mínimos das Durezas Rockwell e Brinell para o aço 1020 são respectivamente 68HRB e 121MPa. O recipiente em si, foi construído de aço SAE (Society of Automotive Engineers - EUA) 1020, que é um aço com pouco teor de carbono em sua composição (Tabela 5) e muito macio, porém é o necessário para suportar o desgaste sofridos pelos grãos de café, uma vez que este desgaste é quase nulo devido a pequena densidade de massa dos grãos. Além disso, este aço tem excelente relação custo benefício comparado com aços mais ligados para o mesmo propósito e possui excelente conformabilidade e soldabilidade. A composição química do aço 1020 é demonstrada na Tabela 5.

O estudo mais preciso das propriedades mecânicas e das fases deste aço, com essa porcentagem de carbono, se encontra vide apêndice H.

Tabela 5 – Composição química do aço 1020.

Elemento	Concentração(%)
Manganês, Mn	0,30 a 0,60
Carbono, C	0,18 a 0,23
Enxofre, S	0,05(max)
Fósforo, P	0,04(max)
Ferro, Fe	O que sobra

Fonte: <<http://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>>

## 4.9 Otimização - Cálculo da Vazão Ideal

Com o objetivo de ampliar a eficiência do equipamento, foram necessários alguns testes. A tabela 6 mostra os resultados de um experimento, onde foi feito o monitoramento de algumas variáveis que influenciam na produção, como a o tempo necessário para descascar certa quantidade de grãos de café e as interferências na frequência de rotação do motor escolhido.

Tabela 6 – Análise do processo e suas interferências na rotação do motor

Frequência (Hz)	Massa descascada (g)	Período de descascamento (s)	Vazão (g/s)
60	0	0	0
53,5	200	6,62	30,21
47	400	12,71	31,47
40,52	600	18,54	32,36
34,03	800	23,86	33,53
27,54	1000	29,57	33,82

Fonte: Próprios autores

Com o intuito de obter a vazão (massa/tempo de descascamento) ideal do equipamento, foram realizados os seguintes cálculos por meio de interpolação usando a forma de Lagrange:

$$P_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x)f(x_i) \quad L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \frac{(x - x_j)}{(x_i - x_j)}$$

$$P_n(x_n) = L_0(x_n)f(x_0) + L_1(x_n)f(x_1) + \dots + L_n(x_n)f(x_n)$$

Para seis pontos têm-se:

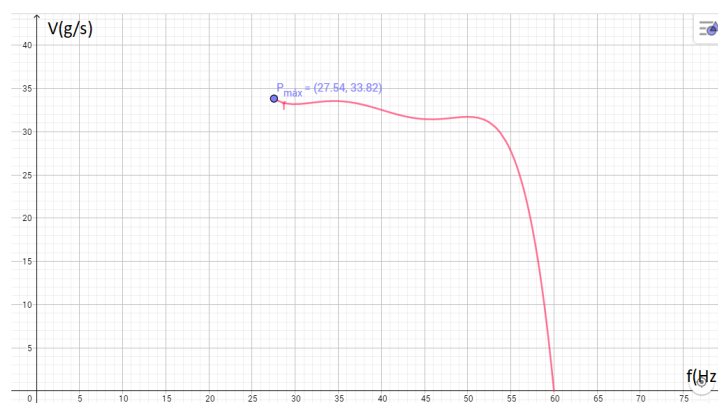
$$P_5(x) = L_0(x)f(x_0) + L_1(x)f(x_1) + L_2(x)f(x_2) + L_3(x)f(x_3) + L_4(x)f(x_4) + L_5(x)f(x_5)$$

Diante dos cálculos (vide Apêndice D) obteve-se, o seguinte polinômio:

$$-1,882535108 \cdot 10^{-5}x^5 + 3,77143635 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,298066888x^3 + 11,60911973x^2 + 222,832432x + 1720,342345$$

A partir do polinômio construiu-se o gráfico abaixo:

Figura 9 – Gráfico vazão por frequência:



Fonte: Próprios autores

Após a definição do polinômio, foi encontrado o ponto de máximo global desta função, obtendo o valor de 33,82. Esse valor representa a vazão máxima, ou seja, a ideal de grãos de café descascados. De acordo com esse resultado, foi verificado através da tabela 6 que a massa correspondente a esta vazão é de 1000 gramas. Portanto, é notório que o equipamento opera com máximo rendimento quando submetido a descascar 1000 gramas de café, operando com frequência máxima de 27,54 Hertz.

Além disso, diante dos cálculos (Apêndice D) será viável produzir um funil de admissão que caiba apenas a quantidade de 1000 gramas de grãos, para que o agricultor obtenha o máximo de eficiência em seu processo.

## 4.10 Estrutura e composição química do café

A bebida café é apreciada no mundo inteiro, e seu valor comercial vem crescendo ao longo dos anos. Devido à grande concorrência mundial, o café brasileiro tem se adequadado às exigências do mercado consumidor e, com isso, diversas técnicas estão sendo utilizadas para a análise de qualidade do café. Dos processamentos dos grãos de café, o mais simples envolve procedimentos como separação de semente, secagem dos grãos, torra e moagem dos grãos secos. A qualidade caracterizada por seu sabor e aroma, é influenciada por diversos fatores pré e pós-colheita que garantem a expressão final da qualidade da bebida café. A partir das técnicas de análises químicas e sensoriais pode-se determinar essa qualidade. A composição química dos grãos é influenciada por fatores genéticos, ambientais e culturais, pelos métodos de colheita, processamento, armazenamento, torração e moagem, que podem

afetar diretamente os atributos da bebida. Na etapa de torrefação, ocorrem consideráveis mudanças químicas responsáveis pelo aroma e sabor final da bebida, que fazem do café um dos produtos mais modificados durante o processamento.

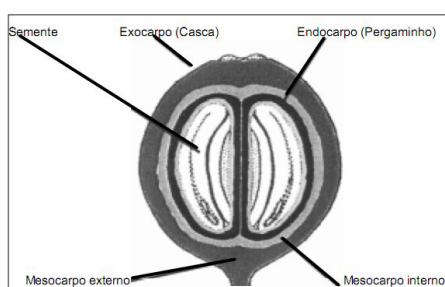
O sabor e o aroma da bebida café são complexos, resultantes da presença combinada de vários constituintes químicos voláteis e não voláteis (Na área de Química, volátil é tudo que se pode reduzir a gás ou a vapor. Uma substância volátil é um produto químico que tem a propriedade de se evaporar em temperatura ambiente), entre eles os ácidos, aldeídos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos, compostos fenólicos, incluindo também a ação de enzimas em alguns destes constituintes, dando produtos de reações, compostos que interferirão no sabor da prova de xícara. Dentre estes compostos, 29 já foram identificados como os principais responsáveis pelo aroma característico do café torrado e moído (SARRAZIN et al., 2000).

Segundo Toledo (1997 apud TOCI, 2006) a composição química do café cru depende da espécie e do cultivar em questão, e também de outros fatores como práticas agrícolas, grau de maturação do fruto do café, processamento primário e condições de estocagem.

⇒ Estrutura do fruto do café

Segundo Elias (1978 apud LIMA, 2006) pode-se dizer que o fruto do café apresenta o exocarpo, mesocarpo e o endocarpo, este conhecido como pergaminho, que envolve a semente. O mesocarpo externo, denominado polpa, representa cerca de 29% do peso seco do fruto inteiro, sendo composto de 76% de água, 10% de proteína, 2% de fibras, 8% de cinzas e 4% de extrato livre de nitrogênio, os quais são representados pelos taninos, substâncias pécnicas, açúcares redutores e não redutores, cafeína, ácido clorogênico e ácido caféico, celulose, hemicelulose, lignina, aminoácidos, minerais como potássio, cálcio, ferro, sódio, magnésio e outros. A mucilagem que se situa na parte no mesocarpo interno e está fortemente aderida ao pergaminho do grão é um sistema de hidrogel, sendo quimicamente composta por água, substâncias pécnicas, açúcares redutores e ácidos orgânicos, na figura abaixo consta o corte longitudinal de um grão de café.

Figura 10 – Corte longitudinal de um grão de café.



Fonte: Avallone (2000 apud LIMA 2006).

⇒ Composição química de um grão de café

Os compostos químicos nos grãos de café são reflexos de uma série de atributos que, somados, conferem ao café sabor e aromas peculiares (MALTA; NOGUEIRA; GUIMARÃES, 2003). Para Abrahão (2007) qualidade da bebida café é determinada pelos componentes químicos precursores de sabor e aroma que se encontram no endosperma e que dependem do processo de torração utilizado, quando vários componentes químicos podem ser gerados, convertidos em outros componentes, ou serem termoestáveis, sendo esses últimos poucos susceptíveis a transformações. Os principais constituintes que compõem o café estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Principais constituintes do grão do café.

Constituintes do grão	Teor presente no grão(%)
Lipídeos	13 a 20
Água	8 a 11
Proteínas	6 a 12
Ácidos clorogênicos	6 a 9
Cafeína	1 a 2,5
Açúcares	7 a 30
Minerais	3 a 4
Celulose	15 a 20

Fonte: HOFFMANN, 2001.

O ambiente onde o café está sendo cultivado é fator muito importante, já que a diversidade climática proporciona variações quanto à acidez, corpo, doçura e aroma do café. No período de maturação dos frutos e principalmente na etapa de amadurecimento, em que as mudanças metabólicas são mais aceleradas, ocorrem alterações importantes nas características físicas e composição química dos grãos.

As transformações químicas que ocorrem no grão de café, proporcionando com isso, uma qualidade de bebida inferior, são de natureza enzimática. Essas enzimas são constituintes do próprio grão ou de microrganismos que contaminam os frutos quando os mesmos apresentam umidade elevada, facilitando a multiplicação desses organismos e o conseqüente aumento dessas enzimas, por isso é indispensável que o café colhido seja preparado e submetido em seguida a secagem para evitar o desenvolvimento de processos fermentativos, sendo que fermentação do café é o processo pelo qual mesocarpo mucilaginoso, aderido ao pergaminho, é degradado por enzimas que ocorrem naturalmente no café cereja e/ou elaborados pela microbiota do produto natural (ANGÉLICO,2008).

⇒ Análise físico-químicas

Visando melhorar a qualidade do café para a comercialização são realizadas algumas análises físico-químicas, a fim de caracterizar melhor o produto, tais como: acidez titulável do café (A acidez titulável é a quantidade total de ácido em uma solução), condutividade

elétrica (É indicativa da facilidade com a qual um material é capaz de conduzir uma corrente elétrica), teores de açúcares totais, compostos fenólicos (Compostos fenólicos são estruturas químicas presentes em pequenas quantidades, em alimentos de origem vegetal, que podem exercer efeitos preventivos e/ou curativos em distúrbios fisiológicos no ser humano, devido à sua ação antioxidante não enzimática) e atividade da polifenol oxidase (É uma espécie de enzima que causa escurecimento no grão através de uma reação catalisadora) (ROSSETTI, 2007).

## 4.11 Aplicação de um Antiderrapante

As correias, inevitavelmente, sofrem esforços durante todo o tempo em que estiverem operando, pois estão sujeitas às forças de atrito e de tração. As forças de atrito geram calor e desgaste, e as forças de tração produzem alongamentos que vão lasseando-as. Além desses dois fatores, as correias estão sujeitas às condições do meio ambiente como umidade, poeira, resíduos, substâncias químicas, que podem agredi-las.

Um dano típico que uma correia pode sofrer é a rachadura. As causas mais comuns deste dano são: altas temperaturas, polias com diâmetros incompatíveis, deslizamento durante a transmissão, que provoca o aquecimento, e poeira. As rachaduras reduzem a tensão das correias e, conseqüentemente, a sua eficiência.

Deste modo, fez-se necessário a utilização de um Antiderrapante para correias, que é um produto especialmente desenvolvido para aumentar a vida útil de correias e eliminar ruídos. Age evitando o derrape das correias de transmissão, mesmo com folga moderada, e protege contra óleos, graxas e água. O Antiderrapante usado não contém ácidos e tem propriedades físico-químicas e composição química listadas a seguir:

Tabela 8 – Propriedades Físico-Químicas

Estado físico	Líquido em aerosol
Cor	Transparente
Odor	Característico
pH	NA
Ponto de ebulição	220°C
Ponto de fusão °F/°C	ND
Faixa de destilação	ND
Ponto de congelamento	< 10°C
Densidade(20°C/4°C)	0,800kg/L
Solubilidade	Insolúvel em água
Ingredientes perigosos	Butano/Propano

Fonte: <[http://specialmix.com.br/fispq/FISPQ\\_ASX13\\_Antiderrapante\\_para\\_correias.pdf](http://specialmix.com.br/fispq/FISPQ_ASX13_Antiderrapante_para_correias.pdf)>. Acesso em: 14 nov 2017.

⇒ Composição química

Polímeros – O polímero presente no Antiderrapante é o polibuteno, produzido por polimerização catalítica a partir de uma corrente de hidrocarboneto C4 de origem petroquímica e de alta pureza, com predominância de isobuteno. É um líquido com ampla faixa de viscosidade (evita o deslizamento) que possui excelentes propriedades lubrificantes, dispondo também de uma eficiente barreira contra gases e vapor d'água.

Solventes orgânicos - Um solvente orgânico é uma substância química orgânica, que apresenta certa volatilidade e solubilidade, sendo utilizadas como diluentes, dispersantes ou solubilizante. São também utilizados na limpeza de metais e lavagem a “seco”. O solvente orgânico presente no Antiderrapante é o hexano.

Gás propelente - Propelente ou propulsante é um material utilizado com o objetivo de impulsionar o produto para o meio externo. Em relação ao meio ambiente, o propelente utilizado é isento de CFC (Clorofluorcarboneto) e não agride a camada de ozônio. A mistura de butano e propano é utilizada como propelente no Antiderrapante.

## 4.12 Análise estrutural do projeto

Foi essencial para o projeto fazer uma análise estrutural do mesmo, onde foi constituída a idealização do comportamento da estrutura e teve como objetivo determinar os esforços internos e externos (Forças de cisalhamento, Momentos fletores e reações de apoio) presentes na viga que sustenta o equipamento.

Para fazer a análise estrutural do equipamento foi necessário determinar os esforços atuantes sobre a viga. Para a determinação do centro de gravidade do equipamento e a força resultante aplicada por ele sobre a viga, fez-se necessário o seccionamento do mesmo em partes, de modo que em uma futura substituição de uma peça, os resultados obtidos não sofram grandes alterações. A determinação desses centros de gravidade correspondentes ao motor, sistema de admissão e descascador, irão contribuir com a localização das forças peso resultantes que irão atuar sobre a viga. Os cálculos se encontram vide Apêndice B.

Tabela 9 – Forças e Centroides

Componentes	Força Peso (N)	Centroide (m)
Motor	39,24	$\bar{x} = 0,055; \bar{y} = 0,065; \bar{z} = 0,065$
Descascador	39,24	$\bar{x} = 0,065; \bar{y} = 0,065; \bar{z} = 0,055$
Sistema de Admissão	55,99	Eixo de simetria da Tramonha

Fonte: Próprios autores

Com os esforços atuantes sobre a viga determinados e conhecendo o centro de gravidade de cada parte, prosseguiu-se com os cálculos com o objetivo de se obter as forças

externas e internas atuantes na viga. Os resultados obtidos estão presentes na tabela abaixo e os cálculos realizados se encontram no Apêndice E.

Tabela 10 – Forças, Reações e Momentos na viga

$F_A$	88,4 N
$F_B$	45,9 N
Momento fletor máximo	7,1 N.m
Força de cisalhamento máxima	88,4 N

Fonte: Próprios autores

Com base nesses dados, observa-se que o Momento Fletor máximo e a Força Cortante máxima que a viga iria ter que suportar seriam de 7,1 N.m e 88,4 N respectivamente. Conhecendo o ponto crítico dessa viga e pensando na relação custo-benefício, foram realizados testes em madeiras com o intuito de definir qual madeira seria a ideal para o protótipo. A partir desses testes, foi definido que a madeira ideal a ser utilizada no projeto visando a relação custo-benefício foi a Madeira Roxinho.

Com os cálculos estruturais feitos, notou-se que as bases do lado A da viga iriam sofrer esforços maiores que as bases do lado B da viga (Lado A – 88,4 N / Lado B – 45,9 N). Assim sendo, precisou-se determinar a área de secção transversal mínima que as bases do lado A precisariam ter para resistirem aos esforços ao qual lhe seriam submetidas, visando assim prevenir uma eventual ruptura destas bases. Para os cálculos, apenas o lado A foi analisado por ser um ponto crítico dessa viga. Portanto, as dimensões das bases do lado A da viga que vão ser encontradas serão adotadas para as bases do lado B da viga visando assim a estética do equipamento.

Com os cálculos efetuados (vide Apêndice I), encontrou-se que a área de secção transversal mínima que as bases do equipamento precisariam ter utilizando Aço SAE 1020 é  $0,631 \text{ mm}^2$ . Uma área de secção transversal menor que  $0,631 \text{ mm}^2$  extrapolaria os seus critérios de segurança, mas não necessariamente haveria a ruptura do material.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante da conjuntura retratada nesse projeto, verifica-se a importância do estudo da engenharia aplicada ao contexto da inovação no meio rural, permitindo que agricultores de pequeno porte possam fazer uso de um dispositivo prático e acessível. A motivação encontrada para desenvolver tais ideias partiu do interesse mútuo em solucionar ou facilitar processos do dia a dia utilizando recursos da Engenharia Mecânica.

Com efeito, este projeto nasceu a partir de tecnologias já difundidas e na medida em que ele se distanciou destas tornou-se novo, ou seja, a junção de mecanismos e tecnologias já conhecidas com novas incorporações gerou uma nova máquina. As ideias trabalhadas poderão ser utilizadas como fonte para futuras pesquisas que denotem interesse em aperfeiçoar este novo equipamento.

Além disso, o amadurecimento dentro de um curto intervalo de tempo também foi notório, uma vez que, para a realização deste projeto foi necessário buscar a compreensão de conteúdos de períodos mais avançados do que o atual em questão. Para tanto, os conceitos foram trabalhados minuciosamente com o auxílio dos professores, a fim de integrar e relacionar as aplicações das disciplinas com as necessidades.

Por fim, a ideia deste projeto foi aprovada por pequenos agricultores no “Seminário e Feira Pró-genética de Arcos” e por técnicos e professores na “Feira Internacional de Negócios, Inovação e Tecnologia” (FINIT), trazendo a percepção de que a engenharia é capaz de expandir os horizontes e que através dela o dia a dia dos cidadãos pode ser melhorado e inserido em um contexto cada vez mais moderno.

Figura 11 – Feira Internacional de Negócios, Inovação e Tecnologia (FINIT)



Fonte: Próprios autores

## 6 Referências

- ABRAHÃO, S.A. Qualidade da bebida e atividade antioxidante em in vivo e invitro. 2007.87f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- ANGÉLICO, C.L. Qualidade do café (*Coffea arábica* L.) em diferentes estádios de maturação e submetido a cinco tempos de ensacamentos antes da secagem. 2008.149f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- ANTUNES, I.FREIRE.M.A.C. Elementos de Máquina. São Paulo. Editora Érica, 2000.
- ASSIS, Cintra. Origem do Maquinário do café — Revista do Instituto do Café. São Paulo, dezembro de 1935.
- BRASKEM. Polibutenos. Disponível em:<<http://www.baixii.com/upload/files/2015/3/-24131741294.pdf>>. Acesso em: 14 nov 2017.
- CALLISTER, William D. Jr. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9ª edição. Rio de Janeiro: LTC. 2016.
- EL HALAL, Shanise Lisie Mello. Composição, processamento e qualidade do café. Disponível em:<<https://quimicadealimentos.files.wordpress.com/2009/08/caffe.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2017.
- ESPINDULA AMORAS JR, Luiz Claudio; ANASTÁCIO NOGUEIRA, Nicolas Leiria; LAURO BERNARDES, Felipe; BATISTA DO ESPÍRITO SANTO, Clemer. Sistema de Transmissão por Correntes. Disponível em:<<https://pt.slideshare.net/LuizAmoras/sistema-de-transmisso-por-correntes>>. Acesso em: 15 nov 2017.
- ESSEL.Polias e correias II. 2016. Disponível em:<<http://essel.com.br/cursos/material/01-/Manutencao/24manu2.pdf>>. Acesso em: 14 nov 2017.
- FRANCESCHI, A; ANTONELLO, M.G. Elementos de Máquina. P.72-73. 2014. Disponível em:<[http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos\\_mecanica/primeira\\_etapa/elementos\\_maquina.pdf](http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_mecanica/primeira_etapa/elementos_maquina.pdf)>. Acesso em: 27 Nov 2017.
- GALL, J.V; STREDA, V.E; MOLIN, A.D. Desenvolvimento de uma bancada didática de transmissões mecânicas. P.3. 2013. Disponível em:<[http://www.fahor.com.br/publicacoes/sief/2013/desenvolvimento\\_de\\_uma.pdf](http://www.fahor.com.br/publicacoes/sief/2013/desenvolvimento_de_uma.pdf)>. Acesso em: 27 nov 2017.
- GOMES, A. P. G. Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.
- H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor, 4a edição, Editora Edgard Blücher, 2002.

- HALLIDAY, RESNICK, WALKER. Física 2. Vol. 2. 5 ed. Editora LTC, 2007.
- HIBBELER, R. C. Estática: Mecânica para Engenharia. 10<sup>a</sup> ed. PEARSON, 2005.
- HOFFMANN, C.E. Resfriamento no processo de torra nas características de qualidade tecnológica e sensorial do café. 2001.86f. Dissertação (Mestrado em ciências) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.
- LIMA, M. V. Propriedades físico-químicas do café (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes métodos de preparo pós-colheita Engenheiro Agrônomo. 2006.117f. Tese (Mestrado em produção vegetal) -Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ.
- MALTA, M.R.; NOGUEIRA, D.F.; GUIMARÃES, P.T.G. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. Ciências agrotécnicas, Lavras. v.27, n.6, p.1246-125, 2003.
- MELCONIAN, S. Elementos de Máquinas. 7. ed., Editora Érica, 2012.
- MESQUITA, Carlos Magno de et al. Manual do café: colheita e preparo (*Coffea arábica* L.)Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 52 p. il.
- MSPC. Correias e polias. Disponível em: <[www.mspc.eng.br/tecdiv/corPol160.shtml](http://www.mspc.eng.br/tecdiv/corPol160.shtml)>-. Acesso em: 15 nov 2017.
- OLIVEIRA, João Gabriel Souza Martins de. Materiais usados na construção de motores elétricos. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul Faculdade de Engenharia Departamento de Engenharia Elétrica. Porto Alegre, 2009. Disponível em:<[http://www.motor-eletrico.net/upload/materiais\\_motores.pdf](http://www.motor-eletrico.net/upload/materiais_motores.pdf)>. Acesso em: 22 nov 2017.
- OLIVEIRA, Marcos A. Polias. Curitiba 2015. Disponível em:<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAg7wUAC/polias>>. Acesso em: 14 nov 2017.
- PELLICIARI DE LIMA, Carmo Roberto. Introdução a metalografia do aço carbono. Disponível em:<[https://aprender.ead.unb.br/pluginfile.php/324483/mod\\_resource/content/1/acos%20carbono%20metalografia%20es333.pdf](https://aprender.ead.unb.br/pluginfile.php/324483/mod_resource/content/1/acos%20carbono%20metalografia%20es333.pdf)>. Acesso em: 15 nov 2017.
- PIZUTT, Euzébio. Dicasdozébio.com, 2014. Disponível em:<<https://dicasdozebio.com/2014/12/31/dica-conheca-e-conserte-os-ventiladores-de-teto/>>. Acesso em: 25 nov 2017.
- ROSSETTI, R.P. Determinação de fenóis totais em frutos do café: Avaliações em diferentes fases de maturação. 2007.72f. Dissertação (mestrado em ciências) Universidade de São Paulo. São Carlos.
- RUSSEL, J.B. Química Geral, Vol 1. 2 edição, São Paulo; Makron Books, 1994.
- SARRAZIN, C.; LEQUÉRE, J. L.; GRETSCH, C.; LIARDON, R. Representativeness of coffee aroma extracts: a comparison of different extraction methods, Food Chemistry, v.70, p.99-106, 2000.

- SILVA, J. de S. e; MORELI, A. P.; SOARES, S. F.; DONZELES, S. M. L.; VITOR, D. G. Produção de café cereja descascado: equipamento e custo de processamento. 2013.
- SILVEIRA, F. L. da.; MARQUES, N. L. R. Motor elétrico de indução: "Um das dez maiores invenções de todos os tempos". Instituto de Física.
- SITE IHGP. ENGELBERG, Evaristo Conrado. Disponível em: <[http://wiki.ihgp.org.br/-ENGELBERG,\\_Evaristo\\_Conrado](http://wiki.ihgp.org.br/-ENGELBERG,_Evaristo_Conrado)>. Acesso em 14 nov 2017.
- SPECIALMIX. Ficha de Informações de Segurança do Produto Químico. 2013. Disponível em: <[http://specialmix.com.br/fispq/FISPQ\\_ASX13\\_Antiderrapante\\_para\\_correias.pdf](http://specialmix.com.br/fispq/FISPQ_ASX13_Antiderrapante_para_correias.pdf)>. Acesso em: 14 nov 2017.
- STEWART, James. Cálculo, volume I. 7a. edição. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- STEWART, J. Cálculo. 6ª edição. Editora Pioneira Thomson Learning, 2009. v. 2.
- TOCI, A.; FARAH, A.; TRUGO, L.C. Efeito do processo de descafeinação com diclorometano sobre a composição química dos cafés arábica e robusta antes e após a torração. Química Nova, v. 29, n. 5, p. 965-971, 2006.
- UFRGS, Porto Alegre – RS; Instituto Federal Sul-rio-grandense, Pelotas – RS. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n1p114/21607>>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- ULTRALUB. Antiderrapante para correias. Disponível em: <[http://www.ultralub.com.br/index\\_naval.php?ultralub=nav/antiderrapante%20correias](http://www.ultralub.com.br/index_naval.php?ultralub=nav/antiderrapante%20correias)>. Acesso em: 25 de nov. 2017.
- VOIGDLENDER, Thiago. Escoamento e transferência de calor em motores elétricos de indução. Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87014/208191.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 out 2017.

# Apêndices

# APÊNDICE A – Taxa de desperdício e análise comparativa

A sequencia de cálculos para determinação da taxa de desperdícios e do gasto total por saca segue abaixo:

I) O valor médio da massa de café foi pesado antes do processo se iniciar e comparado com o valor da massa depois do descascamento, obtendo assim o valor real médio de massa de café descascado.

$$200g - 186g = 14g$$

O valor encontrado acima é um indicador de massa total de café desperdiçada quando submetida ao processo de descascamento. Logo, nota-se que em 1Kg a massa desperdiçada de grãos é de 70 g (supondo que o processo varie linearmente).

II) A partir dos resultados obtidos, calculou-se a taxa de desperdício:

$$1000g - - - - - 100\%$$

$$70g - - - - - x$$

$$x = 7\%$$

III) Cálculo da quantidade de massa de grãos de café necessários para obter 60 Kg de café descascado utilizando este equipamento, levando em consideração a taxa de desperdício:

⇒ Massa real de café descascado em 1Kg : 930g → 0,930Kg

$$\frac{60}{0,930} \cong 64,5$$

Dessa forma, é necessário descascar 64,5 Kg de café para obter uma saca.

IV) Cálculo do tempo necessário para descascar 64,5 Kg:

$$1Kg - - - - - 29,6s$$

$$64,5Kg - - - - y$$

$$y = 1.907s \rightarrow 0,53h$$

V) Cálculo do gasto total para 0,53 horas de uso:

$$\begin{array}{ccc} \text{A} & \text{X} & \text{B} \\ \left[ \begin{array}{cc} 0,10 & 0,30 \\ 0 & 0,15 \\ 0 & 0,80 \end{array} \right] \cdot \left[ \begin{array}{c} x \\ y \end{array} \right] & = & \left[ \begin{array}{c} 0,10x + 0,30y \\ 0x + 0,15y \\ 0x + 0,80y \end{array} \right] \\ \text{R\$/h} & \text{horas de uso} & \text{gasto total} \end{array}$$

$$\left[ \begin{array}{cc} 0,10 & 0,30 \\ 0 & 0,15 \\ 0 & 0,80 \end{array} \right] \cdot \left[ \begin{array}{c} 0,53 \\ 0,53 \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} 0,212 \\ 0,080 \\ 0,424 \end{array} \right]$$

Gasto total por saca  $\Rightarrow$  R\$0,716

## APÊNDICE B – Consumo por hora

I) Preço em reais (R\$) pago pela energia elétrica consumida por hora:

Cálculo da energia elétrica gasta pelo motor:

$$E = P.\Delta T \rightarrow [E] = [KW].[h]$$

$$E = 0,186KW.1h = 0,186KWh$$

$$Preço = E.Custo \text{ do } KWh(\text{zona rural})$$

$$[Preço] = [KWh]. \left[ \frac{R\$}{KWh} \right] = [R\$]$$

$$Preço = \frac{0,186KWh}{h} \cdot \frac{R\$0,54177069}{KWh} = R\$0,10$$

$$Consumo_{energético} = R\$0,10$$

II) Preço em reais (R\$), pago pela manutenção da máquina:

- $M_{\text{rolo compressor}} = R\$0,30$  (gastos com limpeza);
- $M_{\text{funil de admissão}} = R\$0,15$  (gastos com limpeza);
- $M_{\text{polias}} = R\$0,80$  (gastos com lubrificante);

$$A = \begin{bmatrix} Consumo_{energético} & 0,30 \\ 0 & 0,15 \\ 0 & 0,80 \end{bmatrix}$$



$$\begin{array}{ccc} \text{A} & \text{X} & \text{B} \\ \left[ \begin{array}{cc} 0,10 & 0,30 \\ 0 & 0,15 \\ 0 & 0,80 \end{array} \right] \cdot \left[ \begin{array}{c} x \\ y \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} 0,10x + 0,30y \\ 0x + 0,15y \\ 0x + 0,80y \end{array} \right] \\ \text{R\$/h} & \text{horas de uso} & \text{gasto total} \end{array}$$

Observação:  $X=Y$ , pois o funcionamento de ambas as partes ocorrem simultaneamente.

$A \cdot X = B$ , em que:

- $A \rightarrow$  Matriz coeficiente dos gastos por hora;
- $X \rightarrow$  Matriz das incógnitas(tempo);
- $B \rightarrow$  Matriz dos resultados(gastos totais).

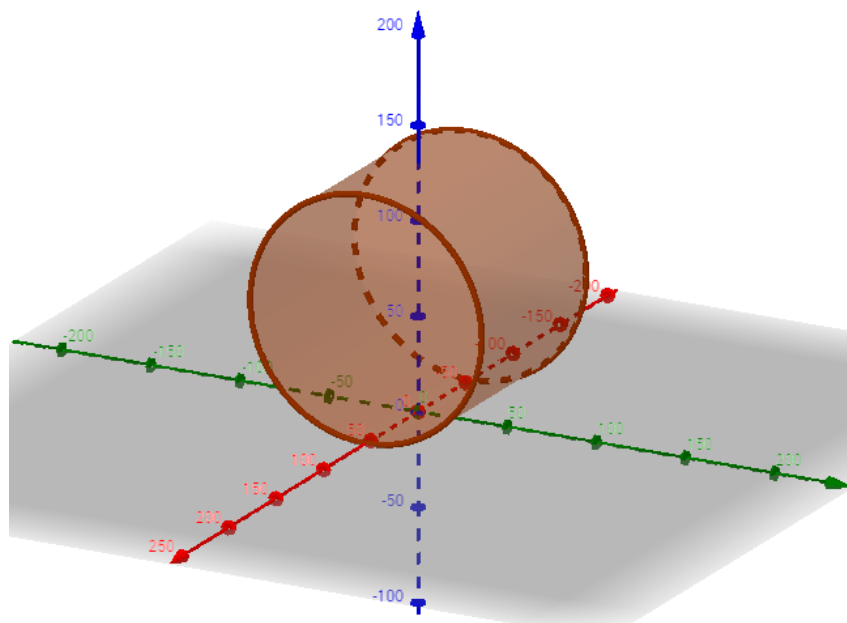
A partir dos cálculos acima, foi possível verificar que o gasto total do equipamento em função do seu período de uso é de 1,35 R\$/hora.

## APÊNDICE C – Cálculos referentes aos centroides e forças resultantes de cada componente

⇒ Motor

A forma geométrica que define o motor, será simplificada para a de um cilindro, de forma a facilitar o cálculo do centro de gravidade, que por sua vez irá ser equivalente ao centroide do sólido.

Figura 12 – Representação do motor



Fonte: Próprios autores

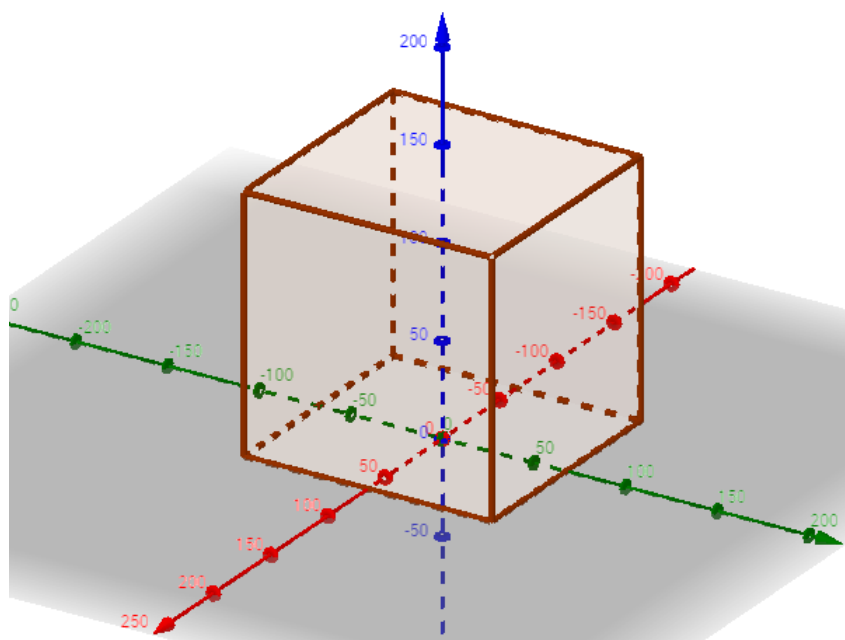
- Massa do motor: 4 kg
- Força peso: 39,24 N
- Diâmetro: 0,13 m
- Altura: 0,11 m

$$\bar{x} = \frac{0,11}{2} = 0,055m \quad \bar{y} = \frac{0,13}{2} = 0,065m \quad \bar{z} = \frac{0,13}{2} = 0,065m$$

⇒ Descascador

A forma geométrica condizente ao descascador, constituirá de forma simplificada um paralelepípedo, de modo a realizar os cálculos de centro de gravidade de maneira simples, que por sua vez é análogo ao centroide do sólido.

Figura 13 – Representação do descascador



Fonte: Próprios autores

- Massa do descascador: 4 kg
- Força peso: 39,24 N
- Comprimento: 0,13 m
- Altura: 0,135 m
- Largura: 0,135 m

$$\bar{x} = \frac{0,13}{2} = 0,065m \quad \bar{y} = \frac{0,135}{2} = 0,0675m \quad \bar{z} = \frac{0,11}{2} = 0,055m$$

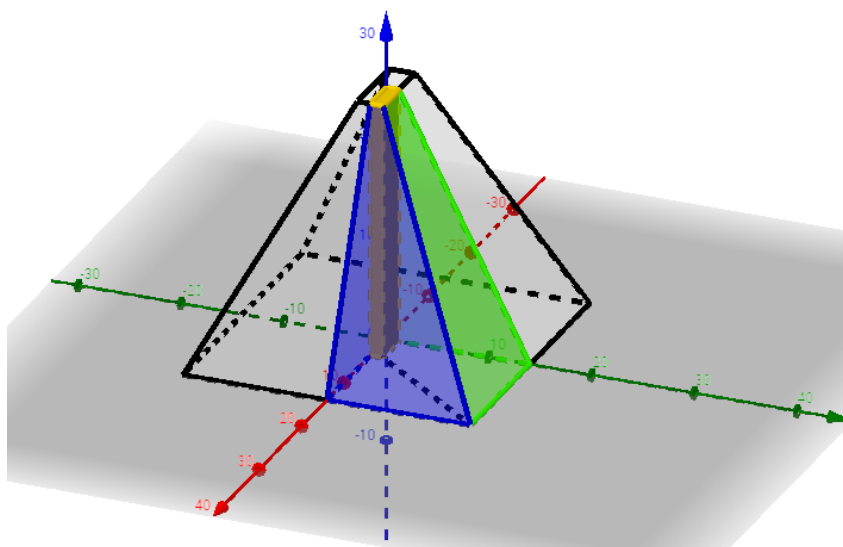
⇒ Sistema de admissão

Primordialmente será encontrado a força peso resultante que atua no eixo de simetria da “Tremonha”, ou seja, que se localiza no centroide de volume do sólido (desconsiderando-se a altura, que não irá influenciar nos cálculos de esforços sobre a viga).

- Massa da estrutura: 2 kg

Para a determinação da força peso total exercida pelo sistema de admissão, é necessário identificar a força peso efetuada pelos grãos de café juntamente com a força peso realizada pela estrutura. Fez-se então a análise do sistema de admissão completamente cheio e a determinação da densidade do grão de café, que foi obtida através de testes, onde

Figura 14 – Sistema de admissão



Fonte: Próprios autores

foi considerado que a variação da densidade é mínima, argumentando que os esforços que os grãos fazem uns sobre os outros é desprezível.

Determinação da densidade do café:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Caracterização do teste para determinar densidade do café:

O teste se baseou no enchimento de café em um sólido de volume conhecido (garrafa pet de 500 ml), e após a realização deste se obteve a massa de café que ocupa este sólido utilizando uma balança (foi desprezado as distancias intersticiais dos grãos que ocupam a garrafa).

Dados obtidos de acordo com o teste:

- Massa: 0,236 kg
- Volume do sólido: 500 ml = 0,0005 m<sup>3</sup>

Portando,

$$\rho = \frac{0,236}{0,0005} = 472 \text{ kg/m}^3$$

O valor encontrado corresponde a uma aproximação do valor verdadeiro da densidade de café, visto que em sua determinação foi desprezado algumas características que iriam influenciar na obtenção de um resultado ideal.

Para a definição da força peso resultante realizado pelos grãos, foi primeiramente definido o volume da tremonha, utilizando o artifício das integrais duplas e a determinação das funções correspondentes a estrutura utilizando equações de retas.

Equação da reta que delimita o domínio:

$$m = \frac{y - y_0}{x - x_0} \rightarrow m = \frac{14 - 1,25}{14 - 3,75} = \frac{51}{41}$$

$$y - y_0 = m(x - x_0) \rightarrow y - 1 = \frac{51}{41}(x - 3,75)$$

$$y = \frac{51x}{41} - \frac{191,25}{41} + 1 \rightarrow y = \frac{-100x}{41} + \frac{1400}{41}$$

Equação do plano que delimita a segunda parte da estrutura:

$$m = \frac{z - z_0}{x - x_0} \rightarrow m = \frac{25 - 0}{3,75 - 14} = \frac{-100}{41}$$

$$z - z_0 = m(x - x_0) \rightarrow z - 0 = \frac{-100}{41}(x - 14)$$

$$z = \frac{-100x}{41} + \frac{1400}{41}$$

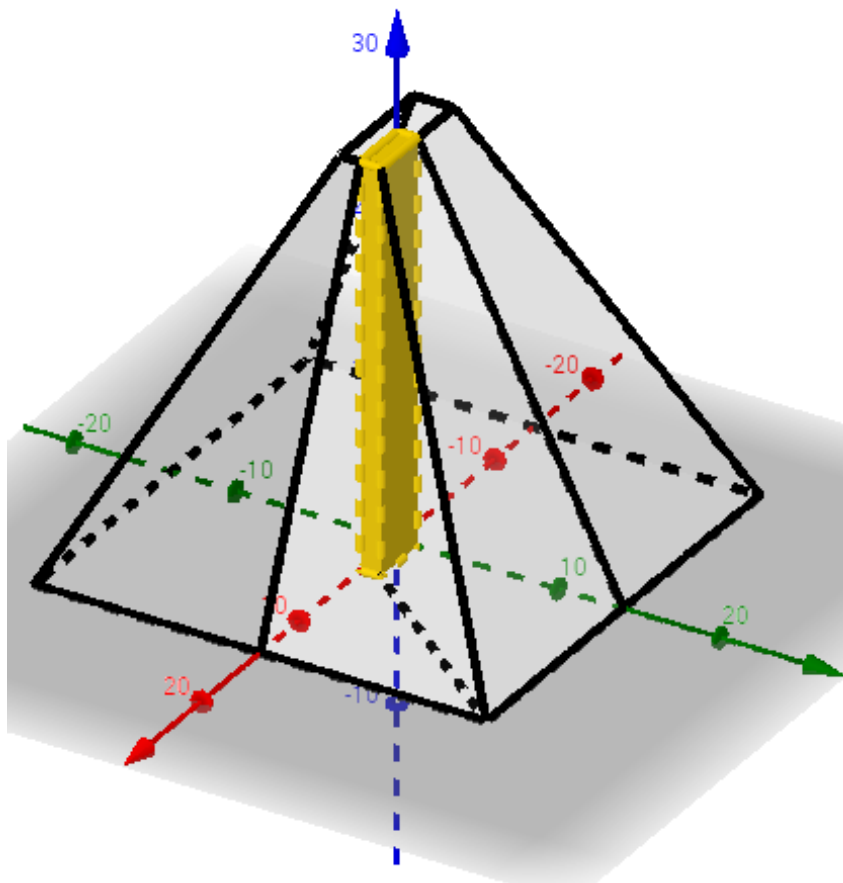
Equação do plano que delimita a terceira parte da estrutura:

$$\frac{z - z_0}{y - y_0} \rightarrow m = \frac{25 - 0}{1,25 - 14} = \frac{-100}{51}$$

$$z = \frac{-100y}{51} + \frac{1400}{51}$$

Volume primeira parte:

Figura 15 – Representação do volume 1 do sistema de admissão



Fonte: Próprios autores

$$(2, 15.3, 95).25 = 117, 1875cm^3$$

Volume segunda parte:

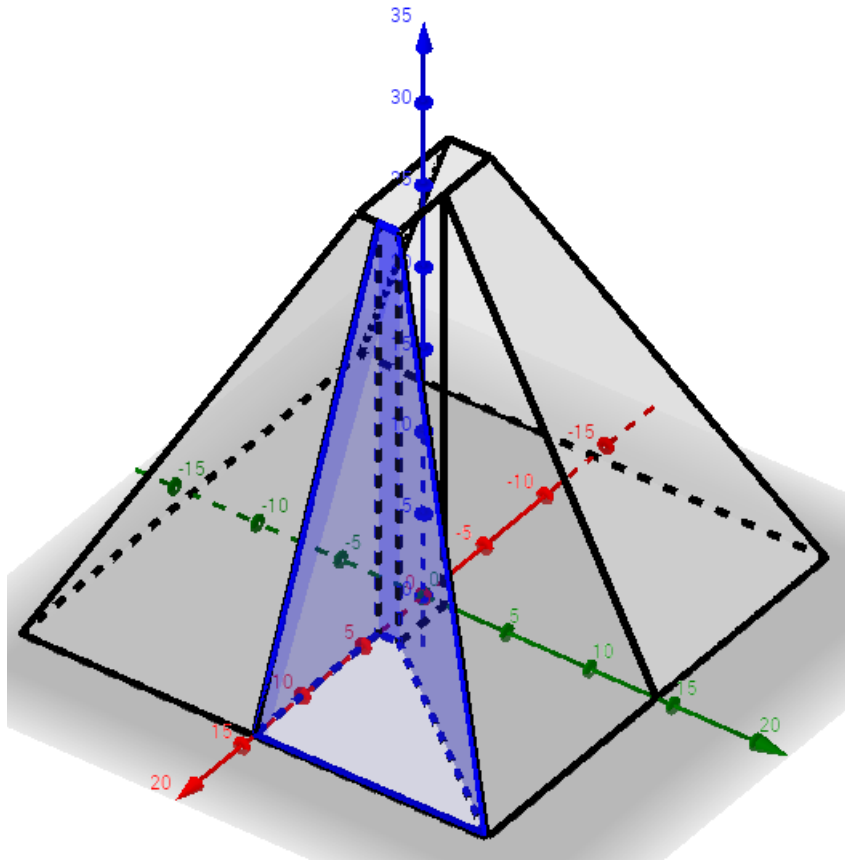
$$\int_{3,75}^{14} \int_0^{\frac{51x}{41} - \frac{601}{41}} \frac{-100x}{41} + \frac{1400}{41} dy dx$$

$$\int_{3,75}^{14} \left[ \frac{-100xy}{41} + \frac{1400y}{41} \right] \Bigg|_0^{\frac{51x}{41} - \frac{601}{41}} dx$$

$$\int_{3,75}^{14} \frac{5100x^2}{1681} + \frac{60100x}{6724} + \frac{71400x}{1681} - 125, 134 dx$$

$$= \left( -\frac{5100x^2}{1681} + \frac{60100x}{6724} + \frac{71400x}{1681} - 125, 134 \right) \Bigg|_{3,75}^{14}$$

Figura 16 – Representação do volume 2 do sistema de admissão



Fonte: Próprios autores

$$(-2775,014872 + 875,937 + 4162,52 - 1751,876) - (-53,33042088 + 62,846 + 298,65 - 469,2525) = 672,646\text{cm}^3$$

Volume terceira parte:

$$\int_{1,25}^{14} \int_0^{\frac{164y+601}{204}} -\frac{100y}{51} + \frac{1400}{51} dx dy$$

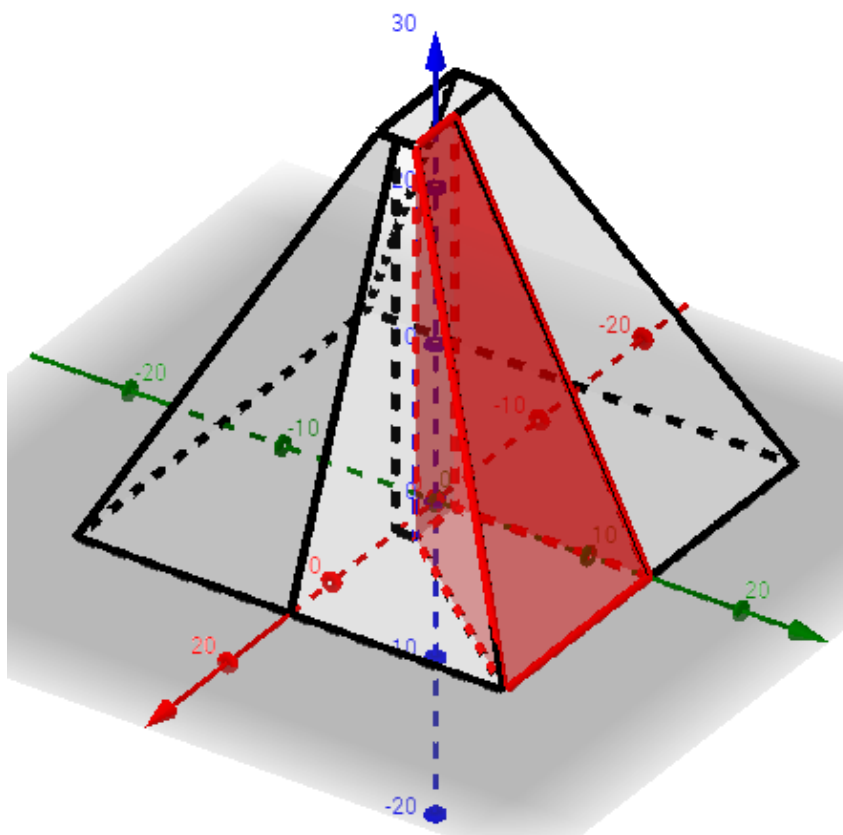
$$\int_{1,25}^{14} \left[ -\frac{100xy}{51} + \frac{1400x}{51} \right] \Bigg|_0^{\frac{164y+601}{204}} dx$$

$$\int_{1,25}^{14} -\frac{16400y^2}{10404} - \frac{60100y}{10404} + \frac{229600y}{10404} + \frac{841400}{10404} dy$$

$$= \left( -\frac{16400y^3}{31212} + \frac{169500y^2}{20808} + \frac{841400y}{10404} \right) \Bigg|_{1,25}^{14}$$

$$(-1441,804434 + 1596,597463 + 1132,218378) - (-1,026247917 + 12,72797722 + 101,0909266) = 1174,218751\text{cm}^3$$

Figura 17 – Representação do volume 3 do sistema de admissão



Fonte: Próprios autores

Volume total = 1º parte + 2º parte + 3º parte (para 1/4 do volume total do sistema de admissão)

$$117,1875 + 672,646 + 1174,218751 = 1505,430641 \text{ cm}^3$$

Multiplicando por 4 temos e passando para metros:

$$4.1505,430641 = 7,8562088.10^{-3} \text{ m}^3$$

Com a determinação desse volume, esse será relacionado com a densidade do café, obtendo assim a massa total condizente ao sistema de admissão completamente cheio de café.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

- Volume encontrado:  $7,86.10^{-3} \text{ m}^3$  -  $\rho$ (densidade do café) =  $472 \text{ kg/m}^3$

$$472 = \frac{m}{7,86.10^{-3}}$$



- Massa total:  $3,708\text{kg}(\text{massa dos grãos})+2\text{kg}(\text{massa da tremonha})=5,708$

- Força peso total:  $5,708 \cdot 9,81(\text{gravidade})=55,9\text{N}$

Portanto, essa será a força peso resultante que atuará na viga e estará localizada no eixo de simetria da tremonha.

# APÊNDICE D – Cálculo da vazão ideal por interpolação

Utilizando interpolação pela forma de Lagrange para calcular o polinômio:

$$P_5(x) = \sum_{i=0}^5 L_i(x)f(x_i) \quad L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^5 \frac{(x - x_j)}{(x_i - x_j)}$$

$$P_5(x) = L_0(x)f(x_0) + L_1(x)f(x_1) + L_2(x)f(x_2) + L_3(x)f(x_3) + L_4(x)f(x_4) + L_5(x)f(x_5)$$

$$L_0(x)f(x_0) = \frac{(x - 53, 5)(x - 47)(x - 40, 52)(x - 34, 03)(x - 27, 54)}{(60 - 53, 5)(60 - 47)(60 - 40, 52)(60 - 34, 03)(60 - 27, 54)}.0$$

$$L_1(x)f(x_1) = \frac{(x - 60)(x - 47)(x - 40, 52)(x - 34, 03)(x - 27, 54)}{(53, 5 - 60)(53, 5 - 47)(53, 5 - 40, 52)(53, 5 - 34, 03)(53, 5 - 27, 54)}.30, 21$$

$$L_2(x)f(x_2) = \frac{(x - 60)(x - 53, 5)(x - 40, 52)(x - 34, 03)(x - 27, 54)}{(47 - 60)(47 - 53, 5)(47 - 40, 52)(47 - 34, 03)(47 - 27, 54)}.30, 47$$

$$L_3(x)f(x_3) = \frac{(x - 60)(x - 53, 5)(x - 47)(x - 34, 03)(x - 27, 54)}{(40, 52 - 60)(40, 52 - 53, 5)(40, 52 - 47)(40, 52 - 34, 03)(47 - 27, 54)}.32, 36$$

$$L_4(x)f(x_4) = \frac{(x - 60)(x - 53, 5)(x - 47)(x - 40, 52)(x - 27, 54)}{(34, 03 - 60)(34, 03 - 53, 5)(34, 03 - 47)(34, 03 - 40, 52)(34, 03 - 27, 54)}.33, 53$$

$$L_5(x)f(x_5) = \frac{(x - 60)(x - 53, 5)(x - 47)(x - 40, 52)(x - 34, 03)}{(27, 54 - 60)(27, 54 - 53, 5)(27, 54 - 47)(27, 54 - 40, 52)(27, 54 - 34, 03)}.33, 82$$

Obtêm-se então o seguinte polinômio, no qual gerou o gráfico 18(vazão/frequência):

$$f(x) = -1, 882535108.10^{-5}x^5 + 3, 77143635.10^{-3}x^4 - 0, 298066888x^3 + 11, 60911973x^2 - 222, 832432x + 1720, 342345 \quad (1)$$

Para calcular o ponto máximo absoluto, foi aplicado os testes das derivadas:

$$f' = -9, 41267554.10^{-5}x^4 - 0, 015085745x^3 - 0, 894200664x^2 + 23, 21823946x - 222, 832432$$

Aplicando o teste da primeira derivada encontra-se os pontos críticos:

$$f' = 0$$

$$x_1 = 29,95085095590943$$

$$x_2 = 34,51273442322968$$

$$x_3 = 45,77628582061488$$

$$x_4 = 50,03065906437531$$

Como a função é limitada entre,  $27,54 \leq x \leq 60$ , os pontos  $x_5 = 27,54$  e  $x_6 = 60$ , também são pontos críticos

Aplicando o teste da segunda derivada encontra-se os pontos de máximos e mínimos:

$$f'' = -3,765070216 \cdot 10^{-4} x^3 + 0,045257235 x^2 - 1,788401328 x + 23,21823946$$

$$f''(29,95085095590943) = 0,13644967 \rightarrow f''(x_1) > 0 \text{ mínimo}$$

$$f''(34,51273442322968) = -0,07505269 \rightarrow f''(x_2) < 0 \text{ máximo}$$

$$f''(45,77628582061488) = 0,07138052 \rightarrow f''(x_3) > 0 \text{ mínimo}$$

$$f''(50,03065906437531) = -0,12477909 \rightarrow f''(x_4) < 0 \text{ máximo}$$

Como o que interessa é somente o máximo global, substitui-se os valores encontrados de máximos no polinômio (1).

$$f(34,51273442322968) = 33,5390731$$

$$f(50,03065906437531) = 31,714111$$

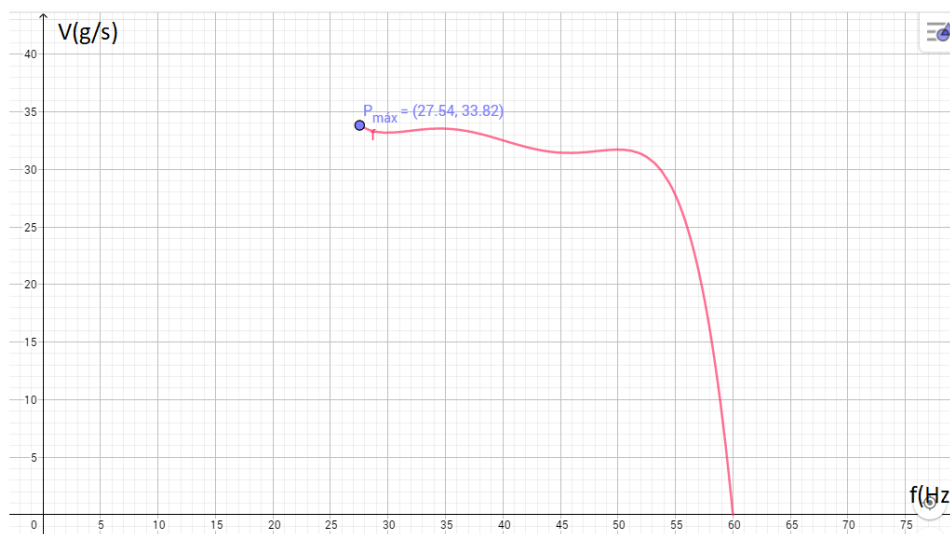
Substituindo os pontos  $x_5$  e  $x_6$  no polinômio (1) temos:

$$f(27,54) = 33,82$$

$$f(60) = 0$$

Como  $f(x_4) < f(x_5) > f(x_2)$ , então o ponto  $(27,54;33,82)$  é o valor máximo absoluto.

Figura 18 – Gráfico gerado pelo polinômio (1) (vazão/frequência)



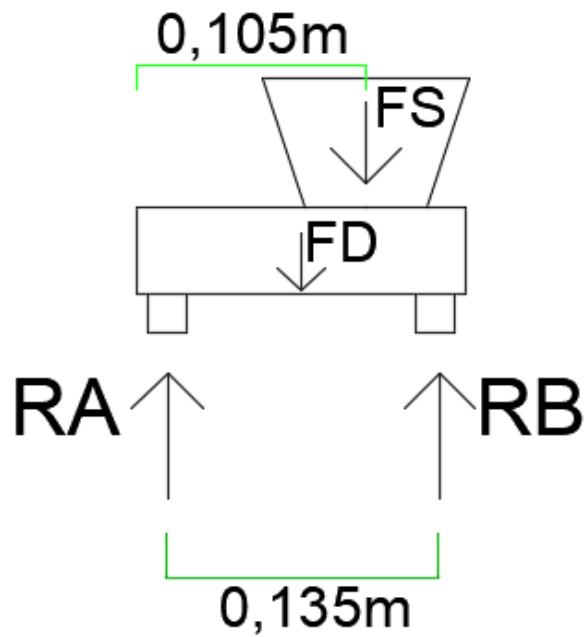
Fonte: Próprios autores

Após a definição do polinômio, foi encontrado o ponto de máximo global desta função, obtendo o valor de 33,82. Esse valor representa a vazão máxima, ou seja, a ideal de grãos de café descascados. De acordo com esse resultado, foi verificado através da tabela 6 que a massa correspondente a esta vazão é de 1000 gramas. Portanto, é notório que o equipamento opera com máximo rendimento quando submetido a descascar 1000 gramas de café, operando com frequência máxima de 27,54 Hertz.

Além disso, diante dos cálculos será viável produzir um funil de admissão que caiba apenas a quantidade de 1000 gramas de grãos, para que o agricultor obtenha o máximo de eficiência em seu processo.

# APÊNDICE E – Cálculo dos esforços na viga

Figura 19 – Esforços do descascador



Fonte: Próprios autores

$$F_S = 55,9N$$

$$F_D = 39,2N$$

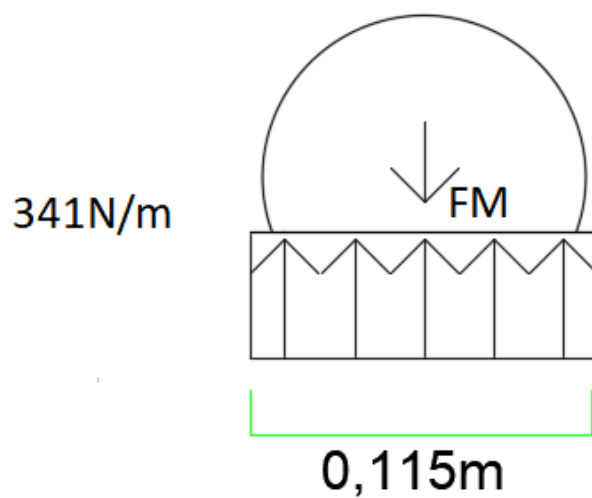
$$+ \circlearrowleft \sum M_A = 0$$

$$R_B \cdot 0,135 - 39,2 \cdot 0,067 - 55,9 \cdot 0,105 = 0 \rightarrow R_B = 63N$$

$$+ \uparrow \sum F_y = 0$$

$$R_A + 63 - 39,2 - 55,9 = 0 \rightarrow R_A = 32,1N$$

Figura 20 – Esforços do motor

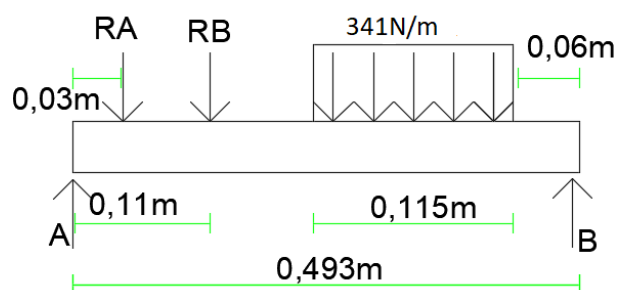


Fonte: Próprios autores

$$F_M = 39,2N$$

Cálculo das reações na viga:

Figura 21 – Reações na viga



Fonte: Próprios autores

$$+ \circlearrowleft \sum M_A = 0$$

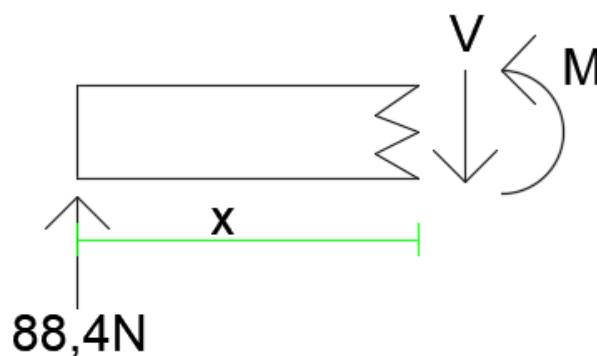
$$-32,1 \cdot 0,030 - 63 \cdot 0,110 - 39,2 \cdot 0,375 + B \cdot 0,493 = 0 \rightarrow B = 45,9N$$

$$+ \uparrow \sum F_y = 0$$

$$A - 32,1 - 63 - 39,2 + 45,9 = 0 \rightarrow A = 88,4N$$

⇒ Cálculo da força de cisalhamento e momento fletor na viga:

Figura 22 – Primeira parte



Fonte: Próprios autores

$$0 \leq x < 0,030$$

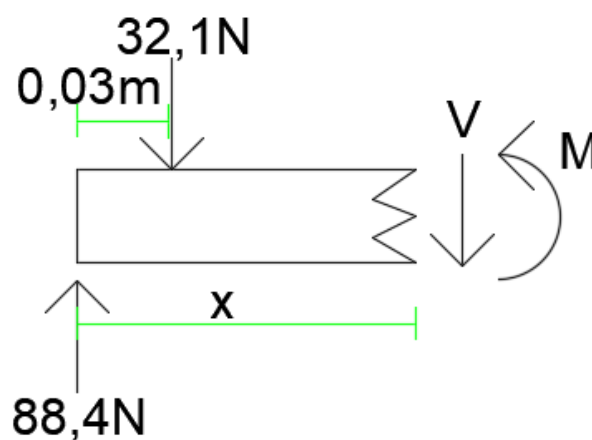
$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$88,4 - V = 0 \rightarrow V = 88,4 \text{ N}$$

$$+\circlearrowleft \sum M_A = 0$$

$$M - 88,4x = 0 \rightarrow M = (88,4x) \text{ N.m}$$

Figura 23 – Segunda parte



Fonte: Próprios autores

$$0,030 < x < 0,110$$

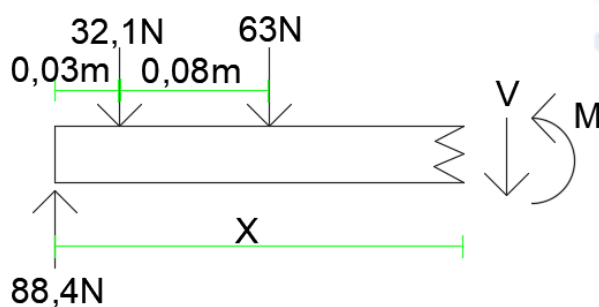
$$+ \uparrow \sum F_y = 0$$

$$88,4 - V - 32,1 = 0 \rightarrow 56,3N$$

$$+ \circlearrowleft \sum M_A = 0$$

$$M - 88,4x + 32,1(x - 0,030) = 0 \rightarrow M = (56,3x + 0,96)N.m$$

Figura 24 – Terceira parte



Fonte: Próprios autores

$$0,11 < x < 0,318$$

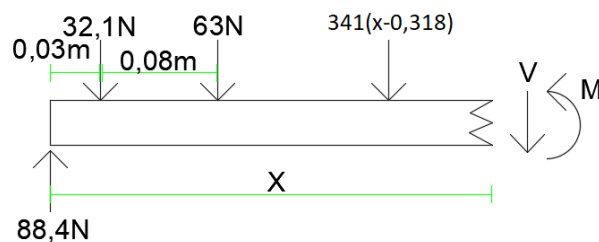
$$+ \uparrow \sum F_y = 0$$

$$88,4 - 32,1 - 63 - V = 0 \rightarrow V = -6,7N$$

$$+ \circlearrowleft \sum M_A = 0$$

$$M - 88,4x + 32,1(x - 0,030) + 63(x - 0,110) = 0 \rightarrow M = (-6,7x + 7,9)N.m$$

Figura 25 – Quarta parte



Fonte: Próprios autores



$$0,318 < x < 0,433$$

$$+ \uparrow \sum F_y = 0$$

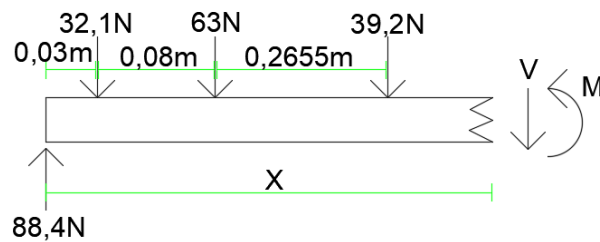
$$88,4 - 32,1 - 63 - 341(x - 0,318) - V = 0 \rightarrow V = (-341x + 101,74)N$$

$$+ \circlearrowleft \sum M_A = 0$$

$$M - 88,4x + 32,1(x - 0,030) + 63(x - 0,110) + 341(x - 0,318) \left( \frac{x - 0,318}{2} \right) = 0$$

$$M = (-170,5x^2 + 102,08x - 9,46)N.m$$

Figura 26 – Quinta parte



Fonte: Próprios autores

$$0,433 < x < 0,493$$

$$+ \uparrow \sum F_y = 0$$

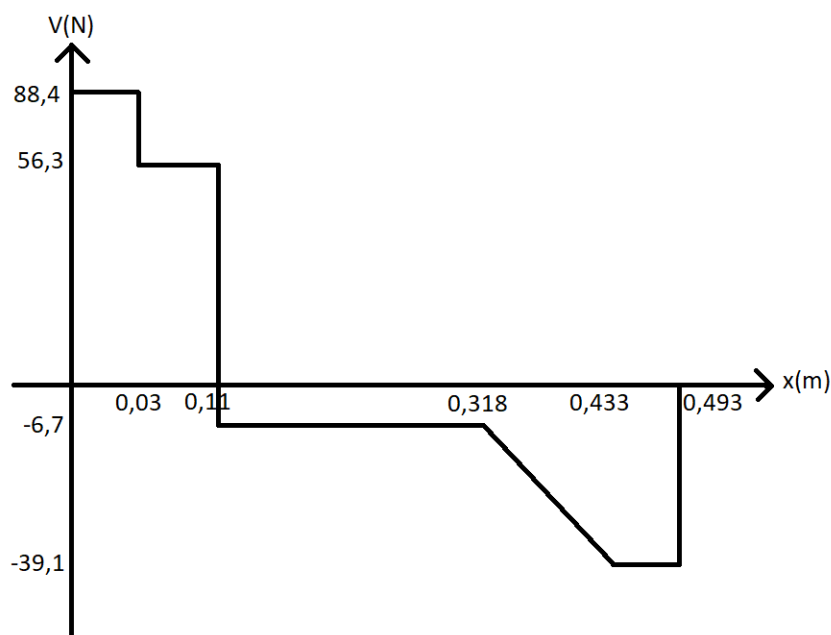
$$88,4 - 31,8 - 63 - 39,2 - V = 0 \rightarrow V = -45,9N$$

$$+ \circlearrowleft \sum M_A = 0$$

$$M - 88,4x + 32,1(x - 0,030) + 63(x - 0,110) + 39,2(x - 0,375) = 0$$

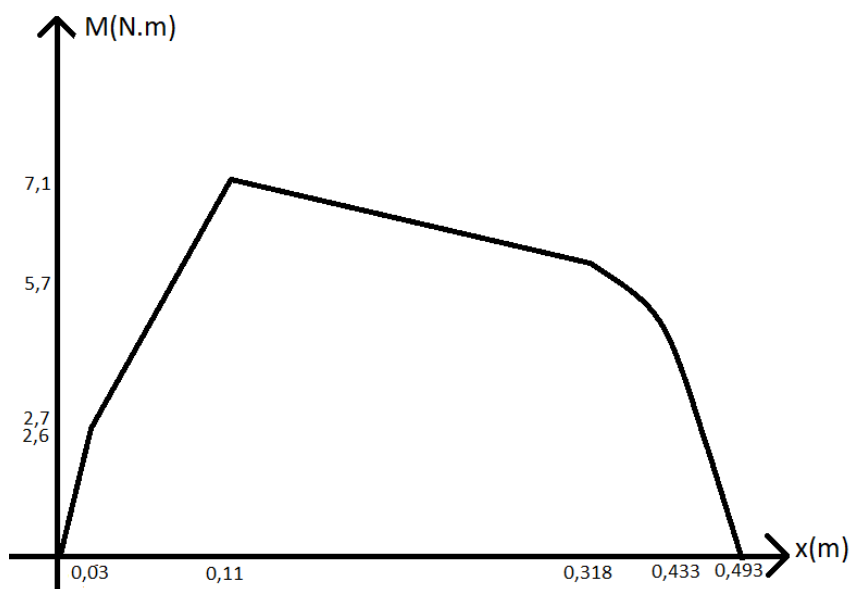
$$M = (-45,9x + 22,613)N.m$$

Figura 27 – Diagrama força de cisalhamento



Fonte: Próprios autores

Figura 28 – Diagrama momento fletor



Fonte: Próprios autores

Com base nesses dados, observa-se que o Momento Fletor máximo e a Força Cortante máxima que a viga iria ter que suportar seriam de 7,1 N.m e 88,4 N respectivamente. Conhecendo o ponto crítico dessa viga e pensando na relação custo-benefício, foram realizados testes em madeiras com o intuito de definir qual madeira seria a ideal para o protótipo. A partir desses testes, foi definido que a madeira ideal a ser utilizada no projeto visando a relação custo-benefício foi a Madeira Roxinho.

## APÊNDICE F – Escolha do sistema de transmissão de movimento

A transmissão por correntes, muitas vezes, é usada em sistemas pesados. Por ser formada por materiais de alta densidade alcança grande momento de inércia e, com isso, transmite alta quantidade de energia no movimento. O aço é o elemento principal na composição do sistema. O atrito gerado pelo trabalho rotacional entre a engrenagem e a corrente provocam vibrações, choque e ruídos, além do desgaste em detrimento da fadiga e tensão superficial entre os elos. O sistema de transmissão por correntes tem potencial melhor quando utilizado numa distância maior entre os eixos, o que não se aplica no produto aqui apresentado, uma vez que a distância entre os eixos é razoavelmente curta.

Na transmissão por correias observa-se que as rotações são projetadas de forma reduzida ou multiplicada. Podendo ser utilizada numa mesma instalação, com uma única correia, obtendo-se diferentes relações de velocidade a partir da alternância da colocação da correia nos pares de polia. Um grande diferencial da transmissão de rotações é a obtenção de rotações no mesmo sentido (correias abertas) ou em sentidos opostos (correias cruzadas).

Para o sistema de transmissão de movimento foi escolhido o uso de correia ao invés de corrente devido á alguns fatores:

- O custo de uma correia ser menor do que o de uma corrente.
- Se adequa a pequenas distancias entre os eixos;
- Propicia uma redução de velocidade necessária para o produto em questão;
- Protege a unidade motora;
- Não possui ruídos;
- Pequenas vibrações em relação á correntes.
- Manutenção de um sistema com correia é mais simples e mais barato, já que no sistema de corrente tem que levar em consideração materiais como óleos e graxas a serem usados para lubrificar.
- A vida útil de uma correia é bem maior que a vida útil de uma corrente, pois a corrente tem maior desgaste devido ao fato de estar em atrito com outro material metálico no caso as coroas dentadas. Não se sabe ao certo o tempo de vida de

uma correia, mas de acordo com a tabela 11 e levando em consideração o número de horas máximo de uso da correia, a vida útil de uma correia é de 8,3 meses aproximadamente.

Tabela 11 – Tempo de vida útil para correias

Aplicação	Equipamentos/condições de operação	Tempo em 10 <sup>3</sup> horas
Agrícola	Estacionários, contínua	6 a 12
	Estacionários, intermediante	2 a 6
	Móveis(máquinas de correia, etc)	0,5 a 1
Automotiva	Automóveis e utilitários	1 a 3
	Caminhões, ônibus, tratores	5 a 10

Fonte: <<http://www.mspc.eng.br/tecdiv/corPol160.shtml>>. Acesso em: 15 nov 2017

Porém estes valores são hipotéticos, pois a vida útil tanto da correia quanto da corrente varia de acordo com, o uso do material, a frequência e os elementos externos que influenciam no desgaste, como o tempo e poeira.

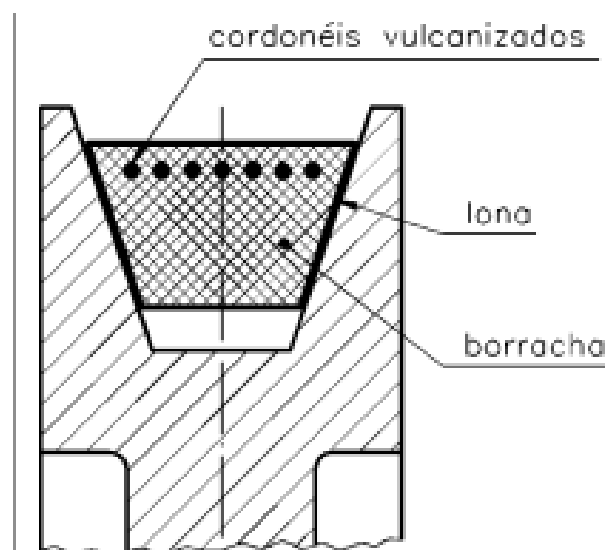
## APÊNDICE G – Escolha da correia ideal para o sistema de transmissão de movimento

Segundo CALLISTER (2016, p.583), "[...] um compósito, no presente contexto, é um material multifásico feito artificialmente, em contraste com um material que ocorre ou que se formado naturalmente".

Os materiais compósitos são identificados por obterem mais de um material (fase) em sua composição e, além disso, por possuírem dois componentes essenciais: o reforço (que diz respeito as propriedades mecânicas como dureza, resistência a tração, tenacidade) e a matriz, que por sua vez, tem como função o manuseio das fibras em sentido correto, proteção mediante ao desgaste por fricção e aos efeitos ambientais, e o deslocamento e divisão das tensões.

Desse modo, a correia é considerada um material compósito pois possui mais de um elemento em sua composição, sendo a borracha sintética (matriz) revestida de lona (geralmente de algodão ou náilon) e cordonéis vulcanizados (Figura 29). Estes cordonéis, para correias em V, são feitos de fibra de poliéster, fibra de vidro ou aramida, e são colocados em matrizes de borracha com a finalidade de diminuir a elasticidade e aumentar tanto o coeficiente de atrito na superfície da correia, quanto a transição de potência e torque.

Figura 29 – Materiais de composição da correia.

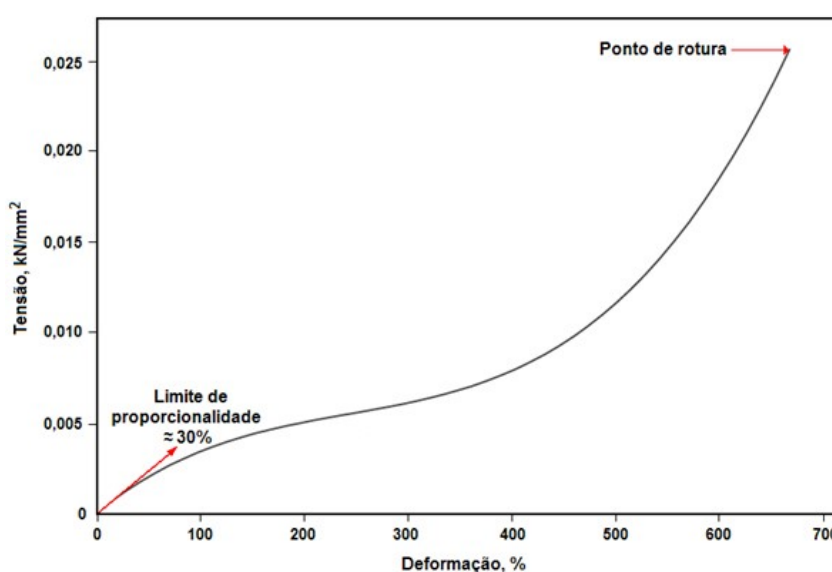


Fonte: <http://professor.luzerna.ifc.edu.br/charles-assuncao/wp-content/uploads/sites/33/2016/07/Apostila-Elementos-de-M%C3%A1quina-SENAI.pdf>. Acesso em 15 nov 2017.

A correia deve apresentar características mecânicas específicas, tais como resistência à tração e ao desgaste, fatores estes que são obtidos através de sua composição química. Entretanto, analisar os processos aos quais a correia é sujeitada tem suma importância no momento de selecionar o produto em questão.

Para ter a certeza que um material pode ser classificado como borracha, deve-se verificar sua capacidade de elasticidade, ou seja, mesmo quando submetida a uma alta deformação, retorna ao seu modelo original. Devido a isso, a borracha possui uma curva típica tensão-deformação (Figura 30).

Figura 30 – Curva Tensão-Deformação para uma borracha



Fonte: <[https://ctborracha.com/?page\\_id=1471](https://ctborracha.com/?page_id=1471)> Acesso em: 15 nov 2017.

O emprego da correia trapezoidal ou em V é preferencial ao da correia plana porque:

- Praticamente não apresenta deslizamento;
- Permite o uso de polias próximas;
- Elimina os ruídos e choques.

O formato em “V” da correia proporciona vantagens diferenciadas das demais. Destaca-se seu dimensionamento compactado com diferentes tamanhos, de modo a ser utilizada em espaços reduzidos, o que garante maior flexibilidade. Ressalta-se ainda sua fácil instalação, o que propicia sua utilização em vários motores com inúmeras funções. Sendo assim, de acordo com tais requisitos, foi visto que a correia em “V” seria a ideal para o projeto em questão.

A opção pelo material polímero em relação ao metal, deve-se a uma série de vantagens conquistadas por meio da permuta de materiais em algumas aplicações, como a diminuição do peso, redução do custo, melhor desenvoltura na resistência química e, sobretudo, redução significativa do barulho emitido pelo sistema. Além disso, é possível produzir peças com geometria complexa.

A alta capacidade de recuperação da borracha, pós pequenas ou grandes deformações, seja em ação de tração, de compressão, de corte ou de torção, é devido à armazenagem de grande quantidade de energia. Entretanto, tal fato não se verifica com os metais, como por exemplo, o aço estrutural, que ao sofrer deformação, não retornam às dimensões originais.

## APÊNDICE H – Material do recipiente de admissão dos grãos de café

O recipiente original do descascador de café manual adquirido foi substituído por um outro de maior volume. Com isso, quando o recipiente está cheio de grãos de café, estes tais grãos exercem um desgaste as paredes do envoltório com o passar do tempo. Portanto é necessário estudar qual propriedade mecânica está relacionada a este desgaste e como preveni-lo.

Em geral, as propriedades mecânicas dos materiais indicam a reação do material quando sujeito a cargas externas, sua capacidade de resistir ou transmitir esses esforços sem se romper ou deformar de forma descontrolada.

A dureza é uma medida da resistência de um material a uma deformação plástica localizada (por exemplo, uma pequena endentação ou um risco). Existem diferentes tipos de dureza de uma material, tais como a Dureza Brinell e a Dureza Rockwell. Os ensaios Rockwell constituem o método mais comumente utilizado para medir a dureza, pois eles são muito simples de executar e não exigem qualquer habilidade especial. Os penetradores incluem bolas de aço esféricas endurecidas, com diâmetros de 1/16, 1/8, 1/4 e 1/2 polegada, e um penetrador cônico de diamante para os metais mais duros. Nos ensaios de dureza Brinell, como nas medições Rockwell, um penetrador esférico e duro é forçado contra a superfície do material a ser testado. O diâmetro do penetrador de aço endurecido (ou carbeto de tungstênio) é de 10,00mm. As cargas padrões variam entre 50 e 3000 kg, em incrementos de 500 kg. Durante o ensaio a carga é mantida constante durante um tempo específico (entre 10 e 30 s). O índice de dureza Brinell é função tanto da magnitude da carga como do diâmetro de impressão resultante. (CALLISTER, 2016 p.175-176)

Os valores mínimos das Durezas Rockwell e Brinell para o aço 1020 são respectivamente 68HRB e 121MPa. O recipiente em si, foi construído de aço SAE (Society of Automotive Engineers - EUA) 1020, que é um aço com pouco teor de carbono em sua composição (Tabela 12) e muito macio, porém é o necessário para suportar o desgaste sofridos pelos grãos de café, uma vez que este desgaste é quase nulo devido a pequena densidade de massa dos grãos. Além disso, este aço tem excelente relação custo benefício comparado com aços mais ligados para o mesmo propósito e possui excelente conformabilidade e soldabilidade. A composição química do aço 1020 é demonstrada na Tabela 12:



Tabela 12 – Composição química do aço 1020.

Elemento	Concentração(%)
Manganês, Mn	0,30 a 0,60
Carbono, C	0,18 a 0,23
Enxofre, S	0,05(max)
Fósforo, P	0,04(max)
Ferro, Fe	O que sobra

Fonte: <<http://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>>

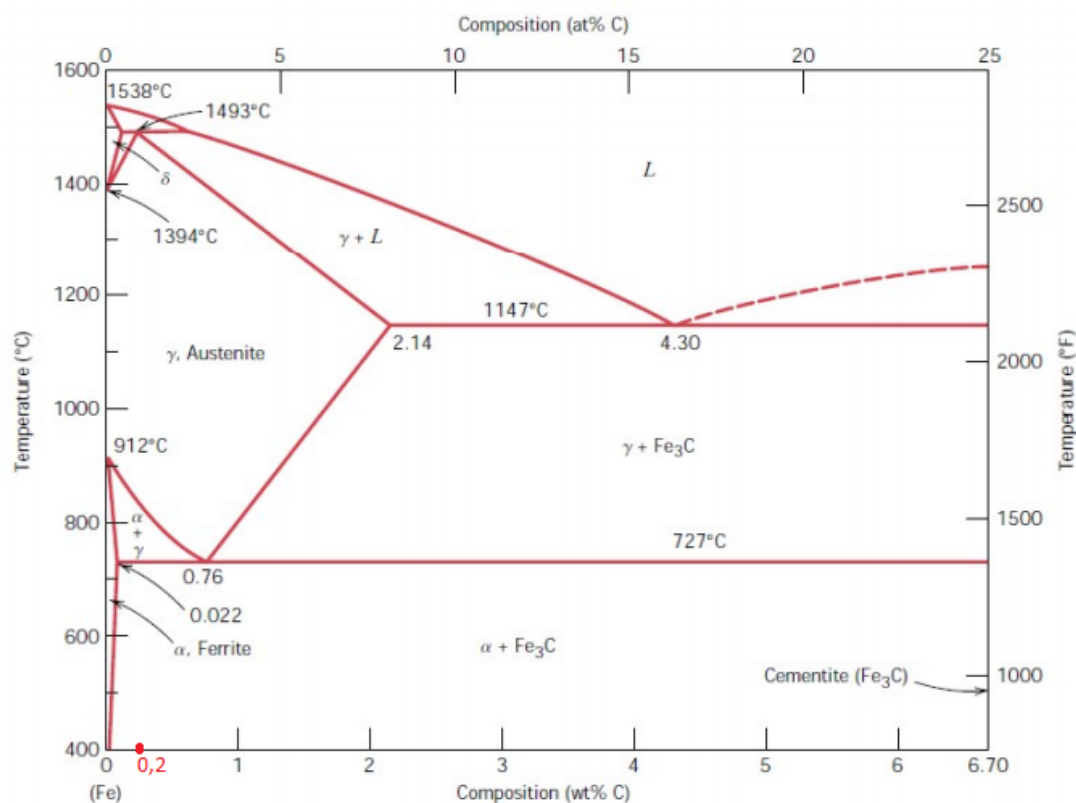
De acordo com estes dados, verifica-se que este aço pode ser considerado tanto “Aço Baixo Carbono”, quanto “Aço Médio Carbono”, pois as porcentagens de carbono em ambos os casos se referem respectivamente à 0,008% até 0,2% e de 0,2% até 0,5%.

Durante um processo de fabricação, em um diagrama de ferro-carbono (Figura 31) é possível identificar que este aço é hipoeutetóide pois sua porcentagem de carbono presente na liga está entre o intervalo de 0,022% e 0,76%, mais precisamente 0,2% de carbono (Figura 31). E nesta liga hipoeutetóide, em seu resfriamento, a fase Austenita ( $\gamma$ ) se transforma em Perlita ( $Fe_3C + \alpha$  eutetóide) mais ferrita proeutetóide. Portanto, não pode estar na fase ferrita alfa ( $\alpha$ ) em nenhum momento, pois a região alfa ferrita está na região a esquerda do diagrama com uma porcentagem de 0,008% até 0,02% de carbono e existe até a temperatura de 912°C. Esta fase é formada por ferro (CCC) com um porcentagem pequena de carbono em solução sólida.

Já a austenita ( $\gamma$ ) também é uma solução sólida de carbono em ferro, porém com a diferença fundamental de que o ferro está em sua forma de célula de face centrada (CFC). A solubilidade do carbono no ferro CFC é maior do que no ferro CCC, atingindo um limite de 2,11% a 1.148 °C (figura 31). Com isso, o aço está na fase austenita quando a sua temperatura está entre um intervalo de 850 °C até 1.450 °C aproximadamente.

E por outro lado, com esse teor de carbono, se analisar o diagrama de fases (Figura 31), fica evidente que a ferrita proeutetóide mais a austenita está presente no material em um intervalo de 730 °C até 850 °C.

Figura 31 – Diagrama de fases Ferrita - Cementita



Fonte: <[http://speed.eng.br/moodle/pluginfile.php/1237/mod\\_resource/content/1/Aula%209.pdf](http://speed.eng.br/moodle/pluginfile.php/1237/mod_resource/content/1/Aula%209.pdf)>  
Acesso em: 15 nov 2017.

A fração mássica de  $\alpha$  (ferrita) para 0,2% de carbono dessa liga logo abaixo da linha isoterma (a 727°C) que se encontra no ponto de limite de solubilidade de carbono na fase ferrita (0,022% C), é obtida através da regra da alavanca. Desse modo a fração mássica de  $\alpha$  proeutetóide é de aproximadamente 0,76 e o restante, ou seja, 0,24 é de Perlita:

$$C_{\alpha pro} = \frac{0,76 - 0,2}{6,7 - 0,022} = 0,76$$

$$C_p = 1 - 0,76 = 0,24$$

Agora para determinar a fração mássica de cementita e da ferrita eutetóide, é só fazer outra regra da alavanca, primeiro para determinar a fração mássica de  $\alpha$  total, que é igual a 0,97, e portanto o que sobrou, ou seja, 0,03 é cementita. Destes 0,97 de  $\alpha$  total, sabe-se que 0,76 é de  $\alpha$  proeutetóide, então 0,21 é de  $\alpha$  eutetóide, como pode-se notar a seguir:

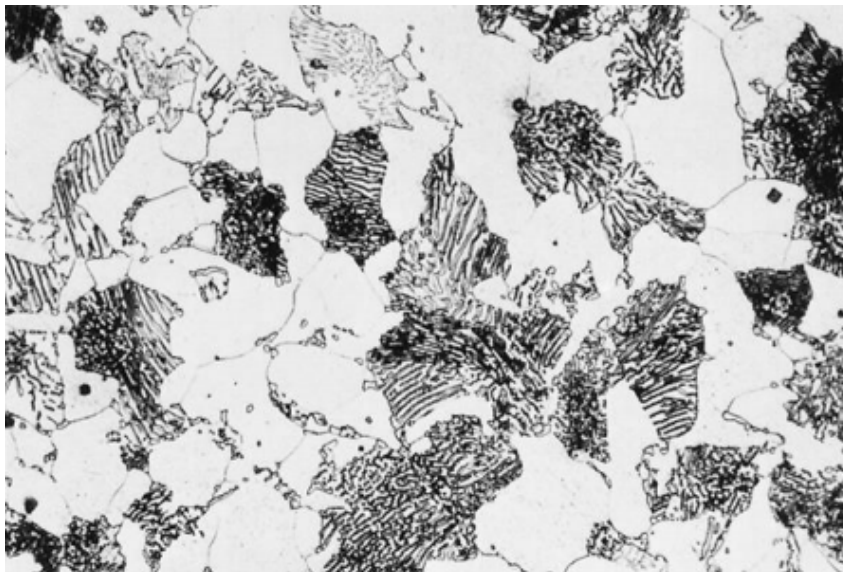
$$C_{\alpha tot} = \frac{6,7 - 0,2}{6,7 - 0,022} = 0,97$$

$$C_{cem} = 1 - 0,97 = 0,03$$

$$C_{\alphaeut} = C_{\alpha tot} - C_{\alpha pro} = 0,97 - 0,76 = 0,21$$

A microestrutura desse aço hipoeutetóide no resfriamento, quando abaixo da linha isoterma é composta por  $\alpha$  proeutetóide e Perlita, aonde a parte em branco condiz com a ferrita e a parte escuras em lamelas finas refere-se a cementita (Figura 32).

Figura 32 – Microestrutura do aço hipoeutetóide



Fonte: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2087291/mod\\_resource/content/0/Diagrama%20de%20fases.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2087291/mod_resource/content/0/Diagrama%20de%20fases.pdf)> Acesso em: 23 nov 2017.

# APÊNDICE I – Dimensionamento das bases do protótipo

Com os cálculos estruturais feitos, notou-se que as bases do lado A da viga iriam sofrer esforços maiores que as bases do lado B da viga (Lado A – 88,4 N / Lado B – 45,9 N). Assim sendo, precisou-se determinar a área de secção transversal mínima que as bases do lado A precisariam ter para resistirem aos esforços ao qual lhe seriam submetidas, visando assim prevenir uma eventual ruptura destas bases. Para os cálculos, apenas o lado A foi analisado por ser um ponto crítico dessa viga. Portanto, as dimensões das bases do lado A da viga que vão ser encontradas serão adotadas para as bases do lado B da viga visando assim a estética do equipamento.

Primeiramente, era preciso determinar o material ideal no qual estas bases seriam feitas. Depois de várias pesquisas e consultas realizadas, definiu-se que as bases seriam feitas de Aço SAE 1020, um dos aços ao carbono mais comumente utilizado pois possui excelente relação custo-benefício comparado com aços mais “ligados”. De acordo com a Tabela 13, o Aço SAE 1020 possui uma tensão limite de escoamento de 210 MPa, de onde teve início os cálculos para dimensionar a área da secção transversal mínima necessária para as bases do lado A da viga.

Tabela 13 – Propriedades Mecânicas dos Aços

Tipo de aço	Teor de Carbono (%)	Limite de elasticidade $f_{el}(GPa)$	Limite de escoamento $f_y(MPa)$	Limite de resistência à tração $f_u(MPa)$	Alongamento (%)
ASTM-A-36	0,25 a 0,30	200	250	400 a 500	20
Comercial	-	±190	±240	370 a 520	20
ASTM-A570	0,25	185	230	360	23
SAE 1008	0,08	135	170	305	30
SAE 1010	0,10	145	180	325	28
<b>SAE 1020</b>	<b>0,20</b>	<b>170</b>	<b>210</b>	<b>380</b>	<b>25</b>
SAE 1045	0,45	250	310	560	17
ASTM-A242	< 0,22	250	290 a 350	435 a 480	18
ASTM-A441	-	220 a 275	275 a 345	415 a 485	±18
ASTM-A572	-	220 a 275	290 a 345	415 a 450	±18
ASTM-A588	-	230 a 280	290 a 350	415 a 450	±18
COR-TEN A/B	-	275	345	480	±19
COR-TEN C	-	330	415	550	±19
ABNT MR250	-	200	250	400	
ABNT MR290	-	230	290	415	
ABNT MR345	-	275	345	450	

Fonte: [http://www.ebah.com.br/content/ABAAABa\\_QAL/ensaio-tracao-relatorio](http://www.ebah.com.br/content/ABAAABa_QAL/ensaio-tracao-relatorio) (Acesso em: 20 nov. 2017)

Conhecendo o material que seria utilizado e a tensão limite de escoamento do mesmo, o próximo passo seria determinar um fator de segurança para o projeto, que é um número maior que 1 a fim de evitar maior possibilidade de falha. Valores específicos dependem dos tipos de materiais usados e da finalidade pretendida da estrutura ou máquina. De acordo com a Tabela 14, definiu-se que o Coeficiente de Segurança para o projeto teria um valor de 1,5.

Tabela 14 – Coeficientes de Segurança

Coeficiente	Carregamento	Tensão no material	Propriedades do material	Ambiente
1,2 - 1,5	Exatamente conhecido	Exatamente conhecida	Exatamente conhecidas	Totalmente sob controle
1,5 - 2,0	Bem conhecido	Bem conhecida	Exatamente conhecidas	Estável
2,0 - 2,5	Bem conhecido	Bem conhecida	Razoavelmente conhecidas	Normal
2,5 - 3,0	Razoavelmente conhecido	Razoavelmente conhecida	Ensaiadas aleatoriamente	Normal
3,0 - 4,0	Razoavelmente conhecido	Razoavelmente conhecida	Não ensaiadas	Normal
4,0 - 5,0	Pouco conhecido	Pouco conhecida	Não ensaiadas	Variável

Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABZuAAL/ensaio-tracao-conceitos-tensao?part=3>  
(Acesso em: 20 nov. 2017)

Posteriormente, para prosseguir com os cálculos, seria necessário estipular a tensão admissível para as bases do protótipo, que é a tensão do material a um nível seguro e que é dado pela seguinte relação:

$$\text{Tensão Admissível} = \frac{\text{Tensão Limite De Escoamento}}{\text{Fator De Segurança}}$$

Portanto:

$$\text{Tensão Admissível} = \frac{210 \text{ MPa}}{1,5} = 140 \text{ MPa}$$

Logo depois, foi calculado o peso total que as bases da viga no lado A estariam submetidas levando em consideração o fator de impacto que o equipamento causaria (Na partida do equipamento, para saída da inércia é feito um esforço maior, portanto tem de ser considerado um fator de impacto causado pelo equipamento) e o esforço no qual estas bases do lado A da viga estariam submetidas:

$$\text{Peso total} = \text{Fator de Impacto} \cdot \text{Esforço}$$

$$\text{Peso total} = 2 \cdot (88,4 \text{ N}) \rightarrow \text{Peso total} = 176,8 \text{ N}$$

Como o lado A da viga é composto por 2 bases, dividiu-se este peso total por 2 e calculou-se a área da secção transversal mínima pela seguinte relação:

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}}$$

Dessa forma:

$$\text{Área} = \frac{\frac{176,8N}{2}}{140.10^6 Pa} = 6,31.10^{-7}m^2 \text{ ou } 0,631mm^2$$

Portanto, conclui-se que a área de secção transversal mínima que as bases do equipamento precisam ter utilizando Aço SAE 1020 é 0,631 . Uma área de secção transversal menor que 0,631 extrapolaria os seus critérios de segurança, mas não necessariamente haveria a ruptura do material.

## APÊNDICE J – Cronograma

Para a consolidação do projeto fez-se necessário a construção de um cronograma, que retrata as etapas iniciais, intermediárias e finais realizadas pelos autores:

Tabela 15 – Cronograma 2017

ETAPAS DO PROJETO	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Levantamento de referências bibliográficas	X				
Estudo sistemático sobre métodos para o descascamento de grãos	X	X			
Aplicações de matérias		X	X	X	X
Pesquisas de campo e visitas técnicas	X	X			
Aquisição das peças		X	X		
Processo de montagens		X	X		X
Testes			X	X	
Cruzamento dos dados e informações			X	X	
Coleta de informações sobre o desempenho do protótipo				X	X
Relatório final		X	X	X	X
Resultados e discussões					X

Fonte: Próprios autores