



**ASSOCIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA BENEFICIAMENTO DE
CAFÉ EM PRODUÇÃO DE PEQUENA ESCALA NO INTERIOR DE
MINAS GERAIS**

KAROL CATTÁ PRETA CARNEIRO DE SOUSA

**MONOGRAFIA DE PROJETO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA MECÂNICA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ASSOCIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA BENEFICIAMENTO DE
CAFÉ EM PRODUÇÃO DE PEQUENA ESCALA NO INTERIOR DE
MINAS GERAIS**

KAROL CATTÀ PRETA CARNEIRO DE SOUSA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL
EM ENGENHARIA MECÂNICA.

APROVADA POR:

Prof. DIANNE MAGALHÃES VIANA (UnB)
(ORIENTADOR)

Prof. AIDA ALVES FADEL (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

Prof. ANDRÉA CRISTINA DOS SANTOS (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 26 DE SETEMBRO DE 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em princípio, à Deus por estar sempre ao meu lado. Por me guiar, proteger, consolar e confortar. Agradeço também a Ele pelas pessoas que colocou no meu caminho.

Aos que me ensinaram o valor e a importância da educação, dedico esse parágrafo. À minha mãe, Kátia, que é meu exemplo de dedicação e amor à profissão. Ao meu pai, Bill, que se fez presente todos os dias, sempre com um sorriso no rosto. Aos meus avós pelo modelo de amor, família e princípios que propagam.

À minha irmã, Kamila, minha melhor amiga e confidente. Agradeço-a pela parceria nos estudos e por ser meu exemplo de força e resiliência. Ao meu irmão, Kadu, por sua tranquilidade e carinho, sua companhia é fundamental em todos os momentos.

Demonstro minha gratidão ao meu parceiro de vida, Bruno, você é peça fundamental nas minhas decisões e vitórias. Seu suporte foi essencial principalmente nas vésperas de provas, de entregas, de projetos e de finais de semestre. Muito obrigada por confiar em mim mesmo quando eu não acreditei que seria possível.

Agradeço ao meu sogro, Erli, pela inspiração para este projeto, não teria sido possível sem você. À minha sogra, Angélica, pelas palavras que trazem leveza, diversão e suporte. Minha eterna gratidão e admiração a vocês.

Gostaria de agradecer às importantes amigas que tive a sorte de conhecer. Rafaella e Amanda obrigada por tornar meus dias mais leves e fáceis. Vocês fizeram parte de todos os momentos da minha vida, desde o ensino fundamental, e tê-las ao meu lado me transmite calma e alegria.

Aos amigos de curso que dividiram comigo essa caminhada de aprendizados, angústias e superações sempre com muito bom humor. Zaza, Simba, Cassebe e Gabriel, os surtos do semestre aconteceram, mas após encontrar ou conversar com vocês foi muito mais fácil “render”. Muito obrigada pela parceria sempre.

Dedico esse parágrafo à minha professora orientadora, Dianne Magalhães. Qualquer Universidade ou aluno se beneficiaria em ter à senhora como educadora. O respeito e simpatia com os quais sempre agiu são essenciais e necessários no meio acadêmico, agradeço muito por todos os ensinamentos, carregarei todas as experiências que a senhora transmitiu por toda minha vida profissional.

Por fim, à banca examinadora, agradeço por dispor de seu tempo e contribuir com conhecimento e ensinamentos.

FICHA CATALOGRÁFICA

CATTA PRETA, KAROL

Associação de Equipamentos para Beneficiamento de Café em Produção de Pequena Escala no Interior de Minas Gerais. 2022. 170p., 297 mm (ENM/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2022)

Monografia de Projeto de Graduação - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Mecânica.

I. ENM/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CATTA PRETA (2022). Associação de Equipamentos para Beneficiamento de Café em Produção de Pequena Escala no interior de Minas Gerais. Monografia de Projeto de Graduação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 170 págs.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Karol Catta Preta Carneiro de Sousa

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO DE GRADUAÇÃO: Associação de Equipamentos para Beneficiamento de Café em Produção de Pequena Escala no interior de Minas Gerais. Bacharel em Engenharia Mecânica/ 2022.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto de Graduação pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Karol Catta Preta Carneiro de Sousa

SMLN Privê 1 Quadra 3, Rua D, casa 11.

Lago Norte. 71539320 – Brasília/DF – Brasil.

RESUMO

O café é um dos principais insumos de exportação e consumo no Brasil representando um importante produto para economia brasileira. Dessa forma, o pequeno produtor, com porcentagens de área de plantação relevantes, ocupa um espaço produtivo importante. Compreende-se, por conseguinte, a relevância do agricultor familiar e a necessidade de aprimorar os maquinários e, por conseguinte, o aumento da produção agrícola e da cafeicultura. Nesse contexto descreve-se as etapas de produção do café ressaltando as discrepâncias entre os maquinários industriais e aqueles destinados ao pequeno produtor. Em seguida analisa-se o processo produtivo de café em uma Fazenda, detalhando os procedimentos de cada etapa, com o intuito de avaliar os processos que proporcionariam melhor benefício ao produtor e, portanto, serão otimizados. Destacaram-se as etapas de descascamento, separação das cascas e torrefação. Portanto, o enfoque é otimizar os maquinários de descasque e torra disponíveis na fazenda por um processo de *retrofitting* e projetar uma máquina intermediária a esses processos com a função de separação. Deste modo torna-se o processo menos oneroso e de realização mais rápida e eficiente. O funcionamento atual das máquinas sujeitas ao retrofit foi analisado priorizando a solução de problemas específicos. Em seguida analisou-se o melhor funcionamento para o equipamento intermediário. Por fim, com o auxílio do *Software SolidWorks* foi realizada uma montagem prévia do maquinário proposto a fim de ilustrar as decisões do projeto conceitual. Concluiu-se que a máquina cumpre os requisitos de projeto e realizou-se o dimensionamento dos sistemas de redução, dos eixos e do equipamento intermediário nas etapas seguintes.

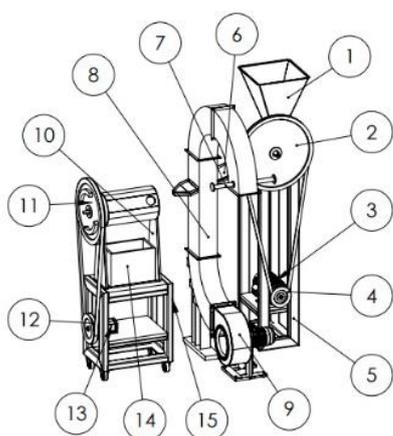
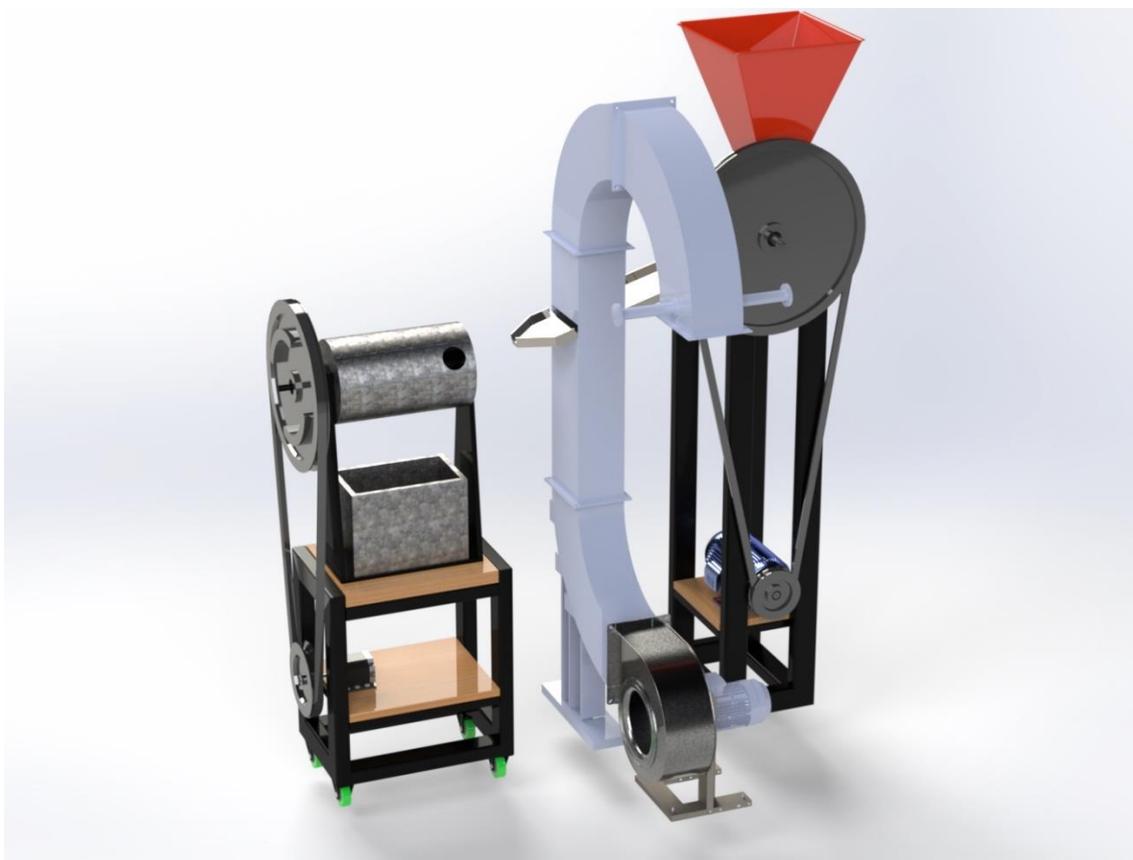
Palavras-chave: Café, Retrofitting, Produtor Rural, Separador Pneumático, Torrador, Descascador.

ABSTRACT

Coffee is one of the main export and consumption inputs in Brazil, representing an important product for the Brazilian economy. In this way, the small coffee producer, with relevant percentages of planted area, occupies an important productive space. It is understood, therefore, the importance of the family farmer and the need to improve machinery and, consequently, the increase in agricultural production and coffee production. In this context, the stages of coffee production are described, highlighting the discrepancies between industrial machinery and those intended for small producers. Next, the coffee production process on a farm is analyzed, detailing the procedures of each stage, in order to evaluate the processes that would provide the best benefit to the producer and, therefore, will be optimized. The steps of peeling, separation of coffee husks and roasting stood out. Therefore, the focus is on optimizing the debarking and roasting machinery available on the farm through a retrofitting process and designing an intermediate machine for these processes with the separation function. In this way the process becomes less costly and faster and more efficient. The current functioning of the machines subject to the retrofit was analyzed prioritizing the solution of specific problems. Then, the best performance for the intermediate equipment was analyzed. Finally, with the help of *SolidWorks Software*, a pre-assembly of the proposed machinery was carried out in order to illustrate the conceptual design decisions. It is concluded that the machine meets the design requirements, and the design of reduction systems, axles and intermediate equipment was carried out in the following steps.

Key words: coffee, retrofitting, rural producer, pneumatic separator, peeler, roaster.

**ASSOCIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA BENEFICIAMENTO DE CAFÉ EM
PRODUÇÃO DE PEQUENA ESCALA NO INTERIOR DE MINAS GERAIS**



Número da peça	Descrição	Equipamento
1	SISTEMA DE ADMISSÃO	DESCASCADOR
2	POLIA MOVIDA	DESCASCADOR
3	MOTOR WEG	DESCASCADOR
4	POLIA MOTORA	DESCASCADOR
5	SUPORTE DESCASCADOR	DESCASCADOR
6	RAMPA DE LIGAÇÃO	CONEXÃO
7	SUPORTE SACOLA	SEPARADOR
8	TUBULAÇÃO	SEPARADOR
9	VENTILADOR	SEPARADOR
10	SUPORTE LATERAL	TORRADOR
11	POLIA MOVIDA	TORRADOR
12	POLIA MOTORA	TORRADOR
13	MOTOR DE PASSO	TORRADOR
14	CAIXA COLETORA	TORRADOR
15	SUPORTE TORRADOR	TORRADOR

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos.....	17
1.2	Metodologia.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	Evolução histórica do café	20
2.2	Importância econômica e social do café no Brasil	21
2.3	Etapas de produção do café	24
2.3.1	Etapa 1 – Plantio e Colheita	25
2.3.2	Etapa 2 – Secagem.....	28
2.3.3	Etapa 3 – Descascamento	31
2.3.4	Etapa 4 – Separação.....	34
2.3.5	Etapa 5 - Torrefação	36
2.3.6	Etapa 6 - Moagem.....	41
3	METODOLOGIA.....	44
3.1	Pré-Desenvolvimento.....	45
3.1.1	Normas de segurança aplicáveis.....	63
3.2	Desenvolvimento	65
3.2.1	Projeto conceitual	65
3.2.2	Projeto detalhado	81
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	137
5	BIBLIOGRAFIAS	141
6	APÊNDICES	153
6.1	Apêndice 1 – Dimensões propostas para o sistema de admissão do descascador	153
6.2	Apêndice 2 – Decisão do componente motor e dimensionamento das polias e correias do descascador	155
6.3	Apêndice 3 – Dimensionamento do eixo do motor no descascador..	160
6.4	Apêndice 4 – Determinação das áreas das cascas e grãos de café....	162

6.5	Apêndice 5 – Dimensionamento da tubulação e do ventilador para o separador de grãos e cascas	164
6.6	Apêndice 6 – Processo decisório do componente motor e dimensionamento das polias e da correia do torrador	166

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da metodologia aplicada no projeto – Pré-Desenvolvimento	19
Figura 2 - Fluxograma da metodologia aplicada no projeto – Desenvolvimento	19
Figura 3 - Produção total de café no Brasil por ano a partir de 2001.	22
Figura 4 - Tecnologia de irrigação subterrânea.	25
Figura 5 - Irrigação de um cafeeiro via pivô central.....	26
Figura 6 - Lançamento da primeira colhedora de café do mundo.	27
Figura 7 - Colhedora de café para lavoura.....	27
Figura 8 - Terreiro barçaça.	28
Figura 9 - Secagem de grãos de café em estufa.....	29
Figura 10 - Secador rotativo.	30
Figura 11 - Pilão para descascar os grãos de café.....	31
Figura 12 - Descascador de café mecânico.....	32
Figura 13 – Descascador de café automático.	33
Figura 14- Peneira manual para separação de café.....	34
Figura 15 - Peneira vibratória industrial.	35
Figura 16 - Padrão de torrefação segundo SCAA.....	38
Figura 17 – Torrador de café elétrico com manivela e capacidade de 2 kg.	39
Figura 18 - Torrador de café industrial de 15 kg.	40
Figura 19 - Moedor de café fabricado na década de 1810.	41
Figura 20 - Moedor de café utilizado em Fazenda.	42
Figura 21 - Moinho CTS – 120.	43
Figura 22 - Vista aérea da Fazenda Caxambu.	45
Figura 23 - Arbustos cafeeiros na Fazenda Caxambu.	46
Figura 24 - Ramo de um arbusto cafeeiro com destaque aos grãos de café verdes.	46
Figura 25 - Recipiente para depósito dos grãos pós-colheita.	47
Figura 26 - Separação precedente ao descascamento.	48
Figura 27 - Preenchimento do caixote componente do descascador.	48
Figura 28 - Procedimento de descasque dos grãos.	49
Figura 29 - À esquerda antes do processo de separação e à direita após este.....	49
Figura 30 - Demonstrativo da inserção dos grãos de café na máquina de torrefação.	50
Figura 31 - Equipamento de torra após 10 minutos de funcionamento.	51
Figura 32 - Resfriamento pós torrefação.	51
Figura 33 - Moedor de Café utilizado na Fazenda Caxambu.	52
Figura 34 - Requisitos de Projeto.	55
Figura 35 - Descascador para café manual Botini.	57
Figura 36 – Ampliação da moenda do descascador.....	57
Figura 37 - Torrador de grãos de café elétrico.	60
Figura 38 - Fixação da máquina de torra.	60
Figura 39 - Proteção de polias conforme NR-12.....	63

Figura 40 - Proteção do motor.....	64
Figura 41 - Fluxograma do Processo.....	65
Figura 42 – Procedimento experimental para determinar a força mínima de acionamento do descascador.....	67
Figura 43 - Massa total necessária para o acionamento da manivela.....	68
Figura 44 - Procedimento para verificação da densidade dos grãos e cascas.....	72
Figura 45 - Sistema básico de separação por aspiração.....	73
Figura 46 - Ventiladores centrífugos: A - aspiração, B- descarga, C- rotor.....	74
Figura 47 – Ilustração da projeção digital do descascador.....	75
Figura 48 - Vista do Maquinário Integrado.....	78
Figura 49 - Vista do Maquinário Integrado com peça oculta.....	79
Figura 50 - Projeto Conceitual do Torrador.....	79
Figura 51 - Projeto Conceitual do Descascador.....	80
Figura 52 - Projeto Conceitual do Separador.....	80
Figura 53 - Sistema de admissão inicial representado em SolidWorks.....	82
Figura 54 - Sistema de admissão de grãos com volume interno preenchido.....	82
Figura 55 - Sistema de admissão final representado em SolidWorks.....	83
Figura 56 - Sistema de admissão de grãos atualizado com volume interno preenchido.....	83
Figura 57 - Seção de Correia em V.....	87
Figura 58 - Trações atuantes nas correias em V.....	91
Figura 59 - Forças e torques em polias.....	92
Figura 60 - Diagrama de Esforços no Eixo do descascador.....	98
Figura 61 - Determinação das reações dos Apoios.....	99
Figura 62 - Determinação dos Esforços.....	99
Figura 63 - Determinação do Momento Fletor.....	99
Figura 64 - Dimensões do equipamento descascador e do respectivo suporte.....	100
Figura 65 - Concepção final descascador.....	101
Figura 66 - Forças atuantes em uma partícula sujeita à corrente de ar ascendente.....	103
Figura 67 – Cascas e grãos de café selecionadas.....	104
Figura 68 - Imagem das cascas obtida via MatLab.....	105
Figura 69 - Área das cascas obtida via MatLab.....	105
Figura 70 - Imagem dos grãos obtida via MatLab.....	106
Figura 71 - Área dos grãos obtida via MatLab.....	106
Figura 72 - Somatório de peso das seis cascas escolhidas para estudo.....	108
Figura 73 - Somatório de peso dos seis grãos escolhidos para estudo.....	108
Figura 74 - Trajetória automática definida pelo Tracker para as quatro cascas de café.....	110
Figura 75 - Posição no eixo Y em função do tempo para a casca 1.....	111
Figura 76 - Posição no eixo Y em função do tempo para a casca 2.....	111
Figura 77 - Posição no eixo Y em função do tempo para a casca 3.....	112
Figura 78 - Posição no eixo Y em função do tempo para a casca 4.....	112
Figura 79 - Trajetória automática definida pelo Tracker para os quatro grãos de café.....	114

Figura 80 - Posição no eixo Y em função do tempo para o grão 1	115
Figura 81 - Posição no eixo Y em função do tempo para o grão 2	115
Figura 82 - Posição no eixo Y em função do tempo para o grão 3	116
Figura 83 - Posição no eixo Y em função do tempo para o grão 4	116
Figura 84 – Duto retangular	118
Figura 85 - Gráfico de rendimento ventilador Sirocco modelo SVSL 200	123
Figura 86 - Suporte para sacola coletora de cascas	124
Figura 87 - Recipiente para armazenamento das cascas	125
Figura 88 - Dimensões do equipamento separador	126
Figura 89 - Concepção final do separador	126
Figura 90 - Ilustração da caixa escolhida para coleta dos grãos após a torrefação	128
Figura 91 - Caixa de inox	128
Figura 92 - Altura da base do torrador antes da modificação	129
Figura 93 - Altura da base do torrador após da modificação	129
Figura 94 - Curva de torque em função da velocidade para o AK34/100F8FN1.8	131
Figura 95 - Dimensões do equipamento torrador	136
Figura 96 - Concepção final do torrador	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção mundial de café e distribuição percentual - ano cafeeiro de 2020/21	21
Tabela 2 – Número de estabelecimentos agropecuários, quantidade produzida, área colhida e valor da produção por agricultura familiar e não familiar do café.....	23
Tabela 3 - Requisitos de Projeto.....	53
Tabela 4 - Critérios de Pontuação.....	53
Tabela 5 - Diagrama de Mudge	54
Tabela 6 - Características relevantes ao projeto - descascador manual	58
Tabela 7 - Características relevantes ao projeto - torrador de café elétrico	61
Tabela 8 - Caracterização de problemas e determinação das análises do Projeto Conceitual	62
Tabela 9 - Rotações da manivela por ciclo de 60 segundos	69
Tabela 10 - Rotações da manivela do torrador por ciclo de 60 segundos.....	76
Tabela 11 - Motor trifásico escolhido para o descascador.....	85
Tabela 12 - Fatores de Serviço Ks para transmissões por correias em V	86
Tabela 13 – Resultados obtidos de parâmetros importantes no dimensionamento das polias	87
Tabela 14 – Seção A de correia em V padronizada.....	87
Tabela 15 - Circunferências Internas Padronizadas de Correias em V	89
Tabela 16 - Fator de correção do ângulo de contato para transmissão por correias em V.....	90
Tabela 17 - Fator de correção para comprimento de correia	90
Tabela 18 - Parâmetro de correias em V em função de sua seção	91
Tabela 19 – Alguns parâmetros para correias em V de seção A	93
Tabela 20 - Saída de dados - Conjunto Proposto para o descascador.....	94
Tabela 21 - Propriedades do material escolhido para o eixo	95
Tabela 22 - Resultado obtidos no dimensionamento do eixo motor do descascador.....	97
Tabela 23 - Saída de dados – conjunto proposto para o eixo motor do descascador.....	98
Tabela 24 - Áreas obtidas com auxílio do <i>Software MatLab</i>	107
Tabela 25 - Valores obtidos experimentalmente para velocidade terminal das cascas.....	113
Tabela 26 - Valores obtidos experimentalmente para velocidade terminal dos grãos	117
Tabela 27 - Resultados obtidos para caracterizar o escoamento.....	119
Tabela 28 - Características fundamentais para seleção do ventilador	122
Tabela 29 - Motor de passo escolhido para o torrador	130
Tabela 30 - Resultados obtidos de parâmetros importantes no dimensionamento das polias.....	131
Tabela 31 – Seção B de correia em v padronizada	132
Tabela 32 - Circunferências Internas Padronizadas de Correias em V	133
Tabela 33 - Fator de correção para comprimento de correia	133
Tabela 34 - Alguns parâmetros para correias em V de seção B	134
Tabela 35 - Saída de dados - Conjunto proposto para o torrador	135

1 INTRODUÇÃO

O café apresenta-se como um dos principais produtos da economia brasileira e pode-se, inclusive, perceber sua relevância a partir da história do Brasil. O café foi o artigo de maior exportação brasileira durante o século XIX até o início do século XX (SANTOS, V. E. D. et al. 2021).

Hodiernamente, nota-se que o café continua entre os produtos mais exportados pelo país, ocupando, em 2019, a décima posição dos produtos com maior saída do Brasil, segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX). Com informações disponibilizadas em 2022 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sabe-se que no ano de 2021, o Brasil exportou aproximadamente 43 milhões de sacas de 60 quilos de café. Em 2020, o país registrou o recorde de vendas ao mercado externo (GOVERNO DO BRASIL [2], 2022).

O estado de Minas Gerais é o maior exportador de café nesse cenário e os principais destinos de exportação incluem Estados Unidos, Alemanha, Itália e Japão. (BEUNO, S. 2022).

Além disso, vale ressaltar que a produção do café, com significativo percentual nas atividades do setor agropecuário, favorece a geração de empregos, arrecadação de impostos e contribui significativamente para o desenvolvimento econômico e social do Brasil. (FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S., 2007).

Perante o exposto, é evidente a importância do café no cenário histórico, econômico e social no Brasil. Diante disso, há necessidade de constante aprimoramento do processo produtivo e conseqüente introdução de máquinas cada vez mais automatizadas e tecnológicas no mercado. Ressalta-se que, neste caso, a alteração no processo produtivo repercute em maior especialização da mão de obra. O presente trabalho é voltado às necessidades do pequeno produtor de café nesse cenário.

No âmbito de trabalhos relacionados com pequenos produtores de café, realizados pela Faculdade de Tecnologia, na Universidade de Brasília, cita-se uma análise voltada para sustentabilidade da cadeia de suprimentos. Esta identifica, por meio de estudos de caso, realizados no Paraná e em Minas Gerais, alguns resultados considerando os aspectos ambientais, territoriais, sociais, culturais, políticos e econômicos relacionados com arranjos produtivos locais em produções de pequena escala (GIESBRECHT, I. C. B., 2015).

A discussão acerca da importância da agricultura familiar na produção de café não é recente e já foi tema analisado. Segundo o MAPA, em pesquisa realizada em 2017, as plantações cafeeiras ocupavam uma área de 2 milhões de hectares com cerca de 300 mil

produtores mostrando predomínio de mini e pequenos produtores (GOVERNO DO BRASIL [1], 2017).

Compreende-se, dessa maneira, a relevância do pequeno produtor rural e a necessidade de possibilitar a aquisição de maquinários e, por conseguinte, o aumento da produção agrícola e da cafeicultura. (GASPAR, M. S.; AMORIM, D. A., 2021).

Nota-se que, em operações com quantidades industriais utiliza-se, principalmente, maquinários com tecnologias mecanizadas. Ciente da expressiva contribuição do pequeno produtor rural, desenvolve-se esse projeto com a intenção de automatizar equipamentos utilizados usualmente em agriculturas familiares.

Expõe-se a definição de *retrofitting* conforme citada no 8º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica, em 2007:

Um equipamento com tecnologia obsoleta pode ser atualizado tecnologicamente através da aplicação de modernas técnicas e dispositivos de automação. Essa técnica é conhecida como retrofitting. O retrofitting de máquinas, também conhecido como reforma ou modernização, é muitas vezes a solução para empresas que desejam dar uma sobrevivida para máquinas antigas e obsoletas, mantendo suas características periféricas com perfeito estado de conservação mecânica. (RIBEIRO, A. S. et al. 2007).

Analisando tal definição percebe-se sua relevância em virtude de o presente projeto encaixar-se nesse contexto, uma vez que devem-se atualizar partes dos maquinários disponíveis em uma fazenda a fim de otimizar o processo produtivo. Visa-se melhorar o acionamento, bem como os mecanismos de controle, tornando os equipamentos mais confiáveis e práticos.

Estabelecido que o café é uma mercadoria de alta demanda mundial e que o pequeno produtor se destaca nesse cenário, há necessidade de constante aperfeiçoamento nas etapas de produção visando facilitar os procedimentos e melhorar o produto final que chega ao consumidor.

Portanto, o atual projeto tem como objetivo adaptar processos da manufatura cafeeira de pequenas produções por meio de soluções para integrar e/ou melhorar suas etapas. O intuito é optar pelos processos nos quais as alterações causariam impacto positivo na produção de uma fazenda no interior de Minas Gerais, no município de Lagamar- MG.

Para tanto, serão realizadas análises das operações adotadas hodiernamente para produção de café e do funcionamento original dos aparelhos em uso. A seguir deve-se ponderar os processos passíveis de alteração. Selecionados os equipamentos que sofrerão modificações, ato contínuo, serão propostas melhorias individuais para cada um dos equipamentos ou

processos e, também, uma possível sugestão de integração do maquinário escolhido para otimização.

É relevante que o processo de *retrofitting* a ser desenvolvido integre os processos pré-existentes na propriedade rural, eliminando etapas de alta demanda braçal e que proponha aprimoramentos em seu funcionamento. Dentre as características almejadas com o projeto destacam-se:

- Ampliação da tecnologia de produção;
- Diminuição do esforço físico demandado nas operações;
- Baixo custo de alteração do maquinário;
- Otimização do tempo;
- Integração dos equipamentos preexistentes na fazenda de maneira a proporcionar o mínimo de intervenção humana entre as etapas produtivas envolvidas;
- Redução da mão de obra demandada nas etapas.

Tendo em vista o impacto das plantações cafeeiras no território nacional, o presente estudo pode ser importante para os produtores rurais, já que demonstra uma análise acerca das etapas de produção e apresenta um projeto que implica em economia de tempo, bem como uma produção de melhor qualidade.

A metodologia utilizada no presente trabalho é inspirada nas etapas iniciais do Planejamento de Desenvolvimento de Produto proposto por Rozenfeld em 2006 e, também no método de planejamento de RP discutido por Amaral e Jung em 2010. Esta consiste nas seguintes etapas: Pré Desenvolvimento e Desenvolvimento. De tal forma que o pré Desenvolvimento engloba a Contextualização, o Planejamento de Projeto e o Projeto Informacional enquanto o Desenvolvimento subdivide-se em Projeto Conceitual e Projeto Detalhado. A metodologia será mais bem explicada no tópico 1.2 .

O projeto está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 diz respeito à revisão de literatura; a Seção 3 expõe a metodologia com o pré desenvolvimento e o desenvolvimento; por fim, a seção 4 refere-se às considerações finais

1.1 Objetivos

O objetivo geral consiste em adaptar e/ou dimensionar equipamentos com o intuito de integrar equipamentos para beneficiamento da produção de café, em uma fazenda no interior de Minas Gerais.

Para tanto são definidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar o processo de beneficiamento do café em diferentes escalas, incluindo os maquinários;
- Realizar estudo de campo para coletar dados sobre as etapas produtivas de uma propriedade;
- Desenvolver soluções para melhoria dos equipamentos e do processo.

1.2 Metodologia

Conforme mencionado anteriormente, o presente projeto se baseou no Processo de Desenvolvimento de Produto e na metodologia proposta por Amaral e Jung em 2010 (ROZENFELD et al. 2006, *apud* JUNG, C. F. 2012).

Tais metodologias foram adaptadas da maneira que se segue:

Na 1ª Etapa, tem-se:

a) Pré Desenvolvimento

Nesta etapa, será estudada a viabilidade do projeto através do planejamento. Analisar-se-ão todos os processos realizados hodiernamente no local em análise para a produção do café moído. E ao final será decidido quais processos serão alterados ou otimizados.

Além disso, apresenta-se um memorial descritivo do funcionamento dos processos submetidos a alterações e, detalhadamente, das máquinas que estão sujeitas ao *retrofit*. Tal descrição abrangerá detalhes da operação destes equipamentos com o intuito de facilitar a visualização dos processos individualmente. Ao final desse procedimento avaliar-se-á quais problemas serão o foco do projeto. Além disso, essa etapa inclui as metas almejadas com o projeto.

Já na 2ª Etapa que contempla o Desenvolvimento fica:

b) Desenvolvimento

A primeira parte do desenvolvimento diz respeito ao Projeto Conceitual. Neste, serão estudadas possíveis soluções para os problemas encontrados, iniciadas as tomadas de decisão e

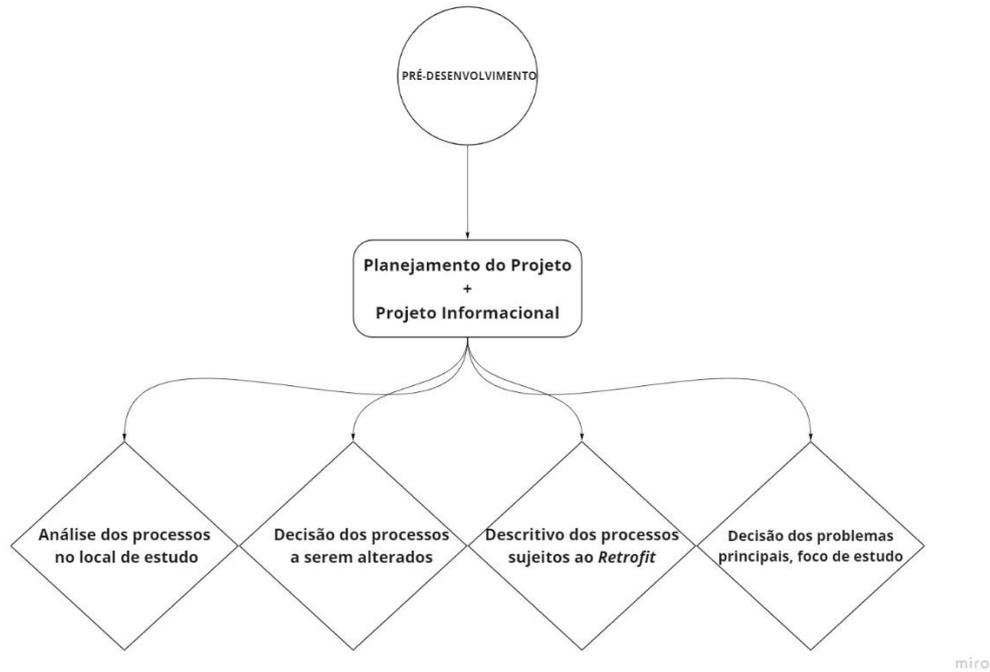
as especificações desejadas para o projeto final. Modificações e melhorias também serão propostas. O foco desta etapa é desenvolver a concepção do equipamento agrícola. Nessa parte, serão incluídos alguns desenhos técnicos a serem obtidos com auxílio do *Software SolidWorks* (*SOFTWARE SOLIDWORKS [1], 2020*).

A etapa de projeto detalhado apresentará o desenvolvimento e finalização das especificações de produto contendo decisão e descrição final dos componentes, dimensionamento das partes utilizadas no projeto e desenho da peça integrada com todas as devidas alterações. Além disso, nessa fase serão estabelecidas dimensões, materiais, processo de fabricação, entre outros, dos componentes das máquinas, com o intuito de estabelecer o *layout* otimizado com os desenhos técnicos de cada parte.

No Processo de Planejamento de Produto são previstas, ainda, as etapas de preparação do produto e de lançamento do produto. A etapa de preparação do produto consiste na obtenção dos recursos para produção do equipamento. Enquanto a etapa de Lançamento do Produto diz respeito à implementação definitiva da máquina e testes finais. Tais procedimentos serão objeto de trabalhos futuros.

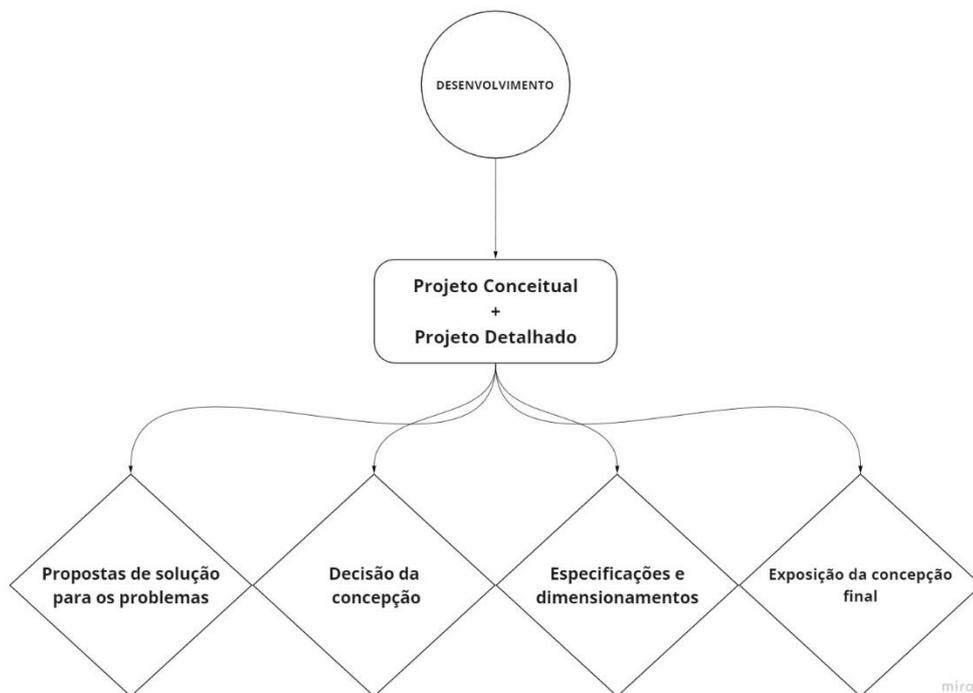
Resumidamente, tal método, adaptado a este trabalho, é apresentado em forma de fluxogramas que podem ser observados na Figura 1 e na Figura 2, obtidas com auxílio do *Software Miro Dashboard* (*MIRODASHBOARD, 2022*).

Figura 1 - Fluxograma da metodologia aplicada no projeto – Pré-Desenvolvimento



Fonte: Elaboração própria.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia aplicada no projeto – Desenvolvimento



Fonte: Elaboração própria.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Evolução histórica do café

Sabe-se, por relatos históricos, que a introdução do café no Brasil foi seguida de diversas reviravoltas. Todavia, têm-se conhecimento que as primeiras sementes chegaram ao Pará, no ano de 1727, pelas mãos de Francisco de Melo Palheta, um militar luso-brasileiro. Essa era uma época polêmica no que diz respeito às fronteiras do Brasil e das regiões limítrofes entre as capitânicas dominadas por países distintos (MARTINS, A. L., 2012).

Existem narrações que indicam que o café é conhecido e usufruído há mais de um milênio em todo território mundial. Desde sua introdução no consumo humano, a bebida é ingerida na primeira refeição do dia em virtude de considerar-se que tal bebida contribui para fornecer mais energia ao longo do dia (RODRIGUES, H. L.; DIAS, F. D., 2015).

Por motivos de aclimatação, a produção de café inicialmente se limitou às regiões Norte e Nordeste do país, apesar de os solos não serem os mais propícios. Entretanto, em face do quadro econômico precário e do incremento da pobreza na época, tendo em vista o aumento do consumo de café no cenário mundial, algumas mudas de Belém foram transportadas ao Rio de Janeiro (MARTINS, A. L., 2012).

Nessa conjuntura, os mineiros se dirigiam à região sul, desistindo de suas lavras. O açúcar da beterraba começava a concorrer com o açúcar da cana-de-açúcar, tornando-a um produto instável. Diante desses problemas, o café tornou-se um investimento cada vez mais atraente em quesitos econômicos e propagou-se de forma crescente e rápida (MARTINS, A. L., 2012).

A transferência da Corte Portuguesa ao Brasil, a partir de 1808, proporcionou a abertura dos portos brasileiros ao exterior. Portanto, ao transformar o território brasileiro na nova sede do governo português, expandiu-se o comércio do café ao exterior. (MARTINS, A. L., 2012).

O café representou, por inúmeras décadas, a mais importante riqueza brasileira. No seu auge de produção, chegou a representar 70% do valor das exportações brasileiras no período de 1925/1929, durante a República Oligárquica (EMBRAPA *apud* FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S., 2015).

2.2 Importância econômica e social do café no Brasil

É fundamental ressaltar a importância econômica e social do café no Brasil, não só de maneira histórica como também nos dias atuais através de sua relevância no setor agropecuário, a fim de contextualizar a complexidade e a abundância dos processos produtivos desta semente. A geração de empregos no setor, bem como a movimentação econômica significativa corroboram essa realidade (FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S., 2015).

Segundo dados divulgados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em novembro de 2021, no período de janeiro a outubro daquele ano os cafés produzidos no Brasil foram exportados para 119 países. Esse período totalizou uma exportação de volume físico equivalente a aproximadamente 34 milhões de sacas de 60 kg e receita cambial de 4,81 bilhões de dólares (FERREIRO, L. T., 2013).

Com o objetivo de ilustrar de maneira mais adequada as informações fornecidas no parágrafo anterior, pode-se acrescentar que a Organização Internacional do Café divulgou, em outubro de 2021, relatório sobre o mercado de café. Em tal relatório é evidenciado que a produção de todas as formas de café durante o ano cafeeiro de 2020/21 (outubro de 2020-setembro 2021) foi, em volume, de 169,64 milhões de sacas. Nota-se a distribuição percentual desse total por região produtora ressaltada na Tabela 1 (OIC, 2021).

Tabela 1 - Produção mundial de café e distribuição percentual - ano cafeeiro de 2020/21

Grandes regiões produtoras	Produção (milhões de sacas de 60kg)	Porcentagem da safra mundial
América do Sul	82,79	48,8 %
Ásia e Oceania	48,91	28,8 %
América Central e México	19,19	11,3 %
África	18,75	11,1 %

Fonte: OIC (2021).

Com o auxílio de dados de acompanhamento da safra brasileira de café disponibilizados no sítio da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB [2], 2021) extraiu-se àqueles acerca da série histórica de produção de café total no Brasil das safras de 2001 a 2022. Com esses dados inseridos no *Software Excel* foi possível construir o gráfico comparativo de produção total no país evidenciado na Figura 3 (MICROSOFT EXCEL, 2019).

Figura 3 - Produção total de café no Brasil por ano a partir de 2001.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do CONAB [2] (2021).

Destaca-se, com o intuito de melhorar a compreensão do gráfico, que o café é um produto cuja produção tipifica-se por períodos de maior produtividade. Têm-se, no caso desse insumo, que os anos se alternam com alta e baixa produção. Tal alternância pode ser entendida como própria da natureza fisiológica do cafeeiro (RENA & MAESTRI, 1985 *apud* MENDONÇA, R. F et al. 2011).

No caso exposto na Figura 3, os anos 2001, 2003, 2005 e, assim respectivamente, representam bienalidade negativa. Por outro lado, os anos cujos números finais são pares apresentam bienalidade positiva. (CONAB [1], 2021)

Na busca por informações relacionadas à contribuição da agricultura familiar em termos da produção nacional, foram encontrados dados disponíveis no Censo Agropecuário disposto no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006). Assim, foi possível construir a Tabela 2 de comparação, entre a agricultura familiar e não familiar, versando acerca do número de estabelecimentos agropecuários responsáveis pela quantidade produzida de café, área colhida e valor da produção vegetal.

Tabela 2 – Número de estabelecimentos agropecuários, quantidade produzida, área colhida e valor da produção por agricultura familiar e não familiar do café

Tipo de Produção vegetal – Café		
Ano: 2006		
	Agricultura Familiar Lei 11.326	Agricultura não familiar
Número de estabelecimentos agropecuários	190.571	47.929
Quantidade Produzida (kg)	659.527.368	1.290.168.152
Área Colhida	513.394	777.719
Valor da produção	2.299.168.225	5.377.190.790

Fonte: IBGE (2006).

A partir da análise dos dados evidenciados na Tabela 2, considerando o ano de 2006, pode-se observar a discrepância de potencial produtivo ao comparar a quantidade produzida e o valor da produção com o número de estabelecimentos e a área colhida. Nota-se que o valor da produção da agricultura não familiar é notavelmente maior do que o do familiar, mesmo esta possuindo maior número de estabelecimentos. Uma das possíveis justificativas para este fato é a discrepância de tecnologia de maquinário disponível nas categorias analisadas.

Mencionada na Tabela 2, vale salientar que a Lei 11.326/2006 estabelece o conceito de agricultor familiar e empreendedor familiar da seguinte maneira:

Considera-se aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos:

I – não detenha, a qualquer título área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais;

II – utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento;

III – tenha percentual mínimo de renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento, na forma definida pelo poder executivo;

IV - dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.

(BRASIL. Lei Nº 11.326, de 24 de julho de 2006.)

Ressalta-se a definição de módulo fiscal como uma unidade de medida, em hectares, cujo valor é fixado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) para cada município. Nota-se que alguns aspectos são levados em consideração como o tipo de exploração predominante no município, a renda obtida com a exploração predominante, entre outros. No Brasil, o módulo fiscal varia de 5 a 110 hectares. O valor do módulo fiscal em Minas Gerais no município de Lagamar é de 65 *ha* (EMBRAPA [1], 2012).

Consoante a definição fornecida pela EMBRAPA são considerados agricultores familiares os pequenos produtores rurais, assentados da reforma agrária, silvicultores, aquicultores, extrativistas e pescadores. Aproveita-se para destacar o fato de que, para fins do presente trabalho, os termos agricultor familiar e pequeno produtor são considerados sinônimos (EMBRAPA [2], 2010).

2.3 Etapas de produção do café

Como qualquer processo produtivo desenvolvido pelo ser humano, as etapas de produção do café tiveram algumas evoluções e melhorias tecnológicas ao longo de sua história. O desenvolvimento das máquinas de beneficiamento do café acompanhou o progresso da cafeicultura segundo Hugo Almeida, conforme o texto “A evolução das máquinas de beneficiar café no Brasil”. E, no Brasil, a evolução de tais máquinas foi considerável e rápida (LEME, H. A., 1953).

As etapas de produção do café consideradas no presente estudo incluem: plantar, colher, secar, descascar, catar, torrar e, finalmente, moer os grãos.

2.3.1 Etapa 1 – Plantio e Colheita

Notava-se, no princípio, que a otimização de lucros em plantações de café tinha como melhor alternativa, em princípio, a utilização do escravo para o plantio e irrigação de novos cafezais. Conforme a demanda pelo café aumentava percebiam-se maiores necessidades de implementar técnicas adequadas que correspondessem ao alto padrão de consumo (RIBEIRO, L. C. M., 2006).

Tendo em vista a produção pretendendo a qualidade conjuntamente à quantidade de café, introduziram-se nesse setor inúmeros equipamentos para auxiliar no plantio e, também, na colheita mecanizada incrementando progressivamente as etapas de plantação e colheitas cafeeiras (LOURENÇO, G. L. 2018).

Algumas técnicas foram utilizadas para aprimorar o plantio e a colheita. Entre elas, tem-se inicialmente o planejamento da área que favoreça o correto desenvolvimento do café, análise de condições climáticas e altitude, espaçamento entre as mudas de café e, também, adequada irrigação e fertilização. Diversas áreas de pesquisa desenvolveram-se nesse âmbito.

No que diz respeito aos maquinários utilizados na etapa de irrigação, podem-se citar diversos exemplos, como o sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo (ALBUQUERQUE, L., 2021).

Pode-se observar um maquinário desse tipo na Figura 4 que, segundo o engenheiro agrônomo da empresa responsável pela produção de tal máquina, auxilia o plantio com os benefícios de maior produtividade e significativa economia na utilização da água (ALBUQUERQUE, L., 2021).

Figura 4 - Tecnologia de irrigação subterrânea.



Fonte: ALBUQUERQUE, L. (2021).

Outra solução de maquinário mecânico utilizado nos dias atuais para irrigação do cafeeiro são os pivôs, que podem ser sistemas por aspersão ou irrigação localizada. Do modo elucidado na Figura 5.

Figura 5 - Irrigação de um cafeeiro via pivô central.



Fonte: FERNANDES, A. L. T.; LIMA, L. A. (2013).

Além do exposto, diversas técnicas, cada vez mais avançadas, desenvolvem o plantio do café por meio de fertilizações diversas do solo.

Acerca da etapa de colheita do café verifica-se historicamente que o lançamento da primeira colhedora de café do mundo se deu em 1979 pela empresa Máquinas Agrícolas Jato S/A e, para ressaltar sua importância, cita-se que contou com a presença do Vice-Presidente da República na época. Uma fotografia obtida na ocasião é destacada na Figura 6 (MARTIN, W. G., 2013).

Figura 6 - Lançamento da primeira colhedora de café do mundo.



Fonte: MARTIN, W. G. (2013).

A partir de então, são percebidas evoluções agronômicas constantes. Visando a mecanização total das lavouras, realizam-se pesquisas e desenvolvem-se variedades de máquinas com o propósito de colheita mecanizada que, na atualidade, contam com monitores, medidores de volume, antena GPS, mapeamento de produtividade, velocidade de colheita, entre outros (MARTIN, W. G., 2013).

Identifica-se neste âmbito a Figura 7 referente a um equipamento de colheita que possui depósito lateral com descarregamento automático, guincho hidráulico para descarga, ventilador para limpeza das folhas, gerador de energia acoplado ao motor e diversas outras comodidades para esse procedimento. Trata-se de uma máquina com grande eficiência de colheita e que não danifica o pé de café.

Figura 7 - Colhedeira de café para lavoura.



Fonte: ELECTRA MÁQUINAS AGRÍCOLAS (2022).

2.3.2 Etapa 2 – Secagem

Após a etapa de plantio e colheita, outro importante processo que deve ser ressaltado é o de secagem dos grãos. A secagem é definida como “processo simultâneo de transferência de energia e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção do excesso de água contida no grão por meio de evaporação” (BORÉM, 2006 *apud* NOBRE, G. W. et al. 2011).

Para a secagem do café, quando é realizada por meio de um procedimento natural, os grãos já colhidos são espalhados em terreiros e expostos ao sol. Nesse processo de secagem diz-se que o café é natural e conhecido como café de terreiro (CHALFOUN, S. M.; SANTOS, M. A., 2009).

Tal procedimento é comum em pequenas produções no momento atual. Um exemplo de terreiro é a barcaça no qual, acima do terreiro, é montado um teto sobre trilhos com treliças e telhas confeccionadas em material plástico. Durante o período de secagem, a cobertura é deslocada enquanto a noite ou, por exemplo, em dias chuvosos, mantém-se a fechada. Dessa forma evita-se nessa etapa prejuízos decorrentes do clima. Espelha-se um modelo desse tipo de terreiro na Figura 8.

Figura 8 - Terreiro barcaça.



Fonte: MARCOLAN, A. L.; ESPÍNULA, M. C. (2015).

Outras formas de realizar o processo de secagem incluem a utilização de estufas ou secadores mecânicos. Tais métodos de secadores artificiais surgiram como forma de auxiliar plantações com grãos produzidos em grande quantidade (PEREIRA, C. A., 2012).

As estufas são construídas a partir de materiais que permitem passagem de radiação solar, porém retém essa radiação no ambiente. Com a utilização de estufas o café fica protegido das chuvas. Além disso, como nesse processo se utiliza de energia solar, obtém-se maior qualidade incrementada ao produto final. Vale também destacar que nesse procedimento o tempo de secagem é demasiadamente reduzido quando comparado à secagem natural. Nota-se a construção de uma estufa destinada a este fim na Figura 9 (BORÉM, F. M., 2013).

Figura 9 - Secagem de grãos de café em estufa.



Fonte: MARCOLAN, A. L.; ESPÍNULA, M. C. (2015).

Já no caso dos secadores mecânicos, há alto requerimento de potência e energia utilizada sob a forma de calor. Esse tipo de secagem beneficia o produtor ao reduzir o tempo demandado nesta etapa além de reduzir a área utilizada e a quantidade de mão de obra empregada (PALACIN, J. J. F. et al. 2009).

Dentre os mais atuais equipamentos para automação dessa etapa tem-se, por exemplo, secadores rotativos. Analisando esse procedimento de secagem de maneira básica pode-se considerar seus principais componentes da seguinte forma: fornalhas, utilizadas para direcionar a energia térmica ao trocador de calor; ventiladores, a fim de impulsionar o ar de secagem aos grãos e câmara de secagem, onde ficam armazenados os grãos. Um exemplo desse maquinário se encontra na Figura 10 (PALA, R. F., 2018).

Figura 10 - Secador rotativo.



Fonte: PALINIALVES (2022).

Após o procedimento da secagem, os grãos de café deverão ser armazenados em locais com baixa variação de temperatura e umidade reduzida para que não percam as propriedades desejadas nessa etapa e não comprometam os resultados obtidos com o processo de secagem. Há teóricos que defendem um estendido período de armazenagem a fim de estabilizar as propriedades obtidas e aumentar, dessa forma, a qualidade do produto final (PALA, R. F., 2018).

2.3.3 Etapa 3 – Descascamento

A terceira etapa, considerada para fins da atual pesquisa, diz respeito ao descascamento dos grãos de café, ou seja, o desacoplamento da casca que envolve a semente. Feito inicialmente de maneira manual, no Brasil, após a secagem posicionava-se o café em um recipiente e os escravos conduziam o descascamento por meio do movimento de fricção das mãos. Este era um processo rudimentar e demorado (LEME, H. A.,1953).

Nota-se que tal procedimento não é adequado para plantações de grande quantidade de grãos sendo necessária adaptação desse procedimento. Começou-se então a utilizar um utensílio conhecido como pilão. Um modelo deste tipo de equipamento é apresentado na Figura 11 (LEME, H. A.,1953).

Figura 11 - Pilão para descascar os grãos de café.



Fonte: MARQUES, E. (2016).

Artefato de origem remota muito popular no Brasil, o pilão, era constituído de um eixo vertical com um fundo concavado à ponta, de secção circular, geralmente feito de madeira. Os grãos de café eram posicionados nas cavidades da secção horizontal e então os escravos utilizavam-se do eixo vertical de madeira para pressionar o café com força elevada (LEME, H. A.,1953).

Outro procedimento rudimentar consistia no uso de varas com as quais os escravos socavam o café posicionado em terrenos quaisquer ou, inclusive, por meio da pisada de animais (LEME, H. A.,1953).

Analogamente aos processos anteriormente citados houve necessidade, com o passar do tempo, de evoluir esses métodos mecanizando o procedimento de descascamento a fim de atender maiores demandas. Atualmente há descascadores de café mecânicos de portes variados e níveis de automação desde alta tecnologia até acionamentos manuais (SANTOS, M. R.; JÚNIOR, F. G., 2017).

Um exemplo de máquina de descascar café de porte pequeno, adequada a pequenos produtores, com funcionamento à base de manivela pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 - Descascador de café mecânico.



Fonte: Elaboração própria.

Um equipamento mais moderno utilizado para esse procedimento pode ser visto na Figura 13. Nessa situação, trata-se de um descascador automático, que engloba a etapa de separação explicada a seguir, e ao final do processo a palha e os grãos são alocados em compartimentos distintos. Tal equipamento é equipado com motor monofásico.

Figura 13 – Descascador de café automático.



Fonte: MF RURAL [2] (2022).

2.3.4 Etapa 4 – Separação

Após o descasque do café, a depender da qualidade do procedimento adotado, obtém-se grãos ainda com resquícios de palha, pedras, folhas, galhos e outras impurezas diversas. Além disso, algumas sementes ainda estão com cascas (inteiras ou fraturadas) que resistem ao processo de descascamento. Seu estado dependerá, também, da qualidade do processo de descasque realizado anteriormente (RIBEIRO, L. C. M., 2006).

Portanto há necessidade de incluir uma próxima etapa na produção do café: a separação ou catação dessas impurezas. A adequada realização desse processo afeta diretamente a qualidade do café. Primordialmente esse processo era feito com o auxílio de peneiras e ventiladores utilizados para completar a limpeza. Vale ressaltar que, por vezes, esses ventiladores são acoplados às máquinas de descascar o café objetivando otimizar o tempo do processo (RIBEIRO, L. C. M., 2006).

A Figura 14 mostra um tipo de peneira manual utilizada para esse fim.

Figura 14- Peneira manual para separação de café.



Fonte: REVISTA CAFEICULTURA (2019).

Neste caso, o trabalho mostra-se meramente braçal: a peneira e o ventilador apresentam-se apenas como termos acessórios. Tal procedimento é adotado atualmente em estabelecimentos de pequeno porte ou produções para consumo próprio.

Em processos com maior volume nota-se, mais uma vez, maquinários de maior porte como a peneira vibratória industrial apresentada na Figura 15.

Figura 15 - Peneira vibratória industrial.



Fonte: ELIAS, A. M. T. (2018).

Segundo a autora responsável pela Figura 15, que destaca a peneira vibratória e o exaustor utilizados em uma indústria de café, esse peneiramento remove as impurezas dos grãos. Separa-se com esse mecanismo: o pó aderido aos grãos, pedras e cascas. Enfatiza-se a importância desse sistema para garantir a qualidade e segurança da mercadoria (ELIAS, A. M. T., 2018).

2.3.5 Etapa 5 - Torrefação

Segundo artigo publicado no “*Journal of agricultural and food chemistry*” por Juerg Baggenstoss, entre outros autores, o processo de torrefação representa o procedimento mais importante na produção dos grãos de café, sendo responsável por definir o aroma, o gosto e as características desejadas no produto final. Ademais, nessa etapa, temos degradação de diversos compostos. O processo de torrefação é corretamente definido como tratamento térmico dos grãos a fim de extrair a água dos mesmos alterando, também, sua textura (BAGGENSTOSS, J., 2008).

O processo de torrefação é basicamente um aquecimento controlado em função do tempo e da temperatura à qual os grãos serão submetidos para que se realizem reações exotérmicas de pirólise no produto. Isso confere, no final do processo, as características desejadas ao café. Enfatiza-se que não se deve iniciar o processo de carbonização, as reações devem cessar no ponto em que o café está com a cor, aroma, textura e sabor especificados. Geralmente promove-se o resfriamento dos grãos após a torrefação a fim de impedir a carbonização (ELIAS, A. M. T., 2018).

No decorrer do procedimento de torra, o aumento interno de temperatura dos grãos de café induz a perda de água nestes e, em seguida, com as reações exotérmicas tem-se liberação de gás carbônico (CO_2) e formação de outros compostos. Concomitante ao aumento da pressão interna temos um aumento de volume dos grãos e consequente diminuição da densidade.

Em 2014, foi realizada uma pesquisa por Horta de Oliveira entre outros autores a fim de determinar as características físicas do café após a torrefação. Alguns dados importantes foram extraídos desta e valem ser citados no presente projeto. As características analisadas conforme os níveis de torra incluíram: massa específica e teor de água (OLIVEIRA, H. et al. 2014).

Sabe-se que quanto maior o tempo de torra, menor será o teor de água presente nos grãos e, consequentemente, maior a perda mássica. Além disso, sabe-se que a massa específica unitária é maior quanto menor o tempo de torra, uma vez que, nesse caso, há menor perda de massa e um menor aumento volumétrico. Lembrando que a massa específica unitária é dada pela razão entre a massa de café torrado e o volume do café (OLIVEIRA, H. et al. 2014).

Alguns parâmetros podem ser predefinidos e controlados para obter uma torrefação homogênea e de acordo com o ponto do café preterido. Ressalta-se que tais parâmetros podem variar conforme o método de torrefação escolhido, porém, incluem, na maioria dos casos: o tempo de cozimento, a temperatura, a velocidade de operação da máquina e a quantidade de

grãos de café inseridos no compartimento de torra (cada máquina possui seu limite máximo de grãos permitidos para torra adequada). As temperaturas de torra variam entre 130 e 280°C (GOIS, T. C., 2018).

É importante, acerca dos processos de transmissão do calor, saber que no princípio a torra do café era realizada utilizando-se apenas o processo de transferência de calor por meio de condução. Hodiernamente, os torrefadores incluem, além da condução, os processos de convecção e radiação afim de obter uma torra mais homogênea e bem controlada (GONÇALVES, D. A. S. R., 2020).

Para que os grãos de café obtenham o sabor desejado eles são cozidos a altas temperaturas, que devem ser controladas em função do tempo de exposição, garantindo tonalidade diferenciada ao café inicialmente cru. Costuma-se chamar os grãos antes da torra de verdes ou crus e, após o procedimento, de escuros, médios, claros ou torrados. Comumente dá-se aos tipos de torra, de acordo com a intensidade, a seguinte nomenclatura: ligeira, média ou intensa (PEDROSA, M. L. R. S., 2018).

Vale ressaltar que a exposição do café à uma torrefação intensa implica em um produto final de tonalidade mais escura e com o sabor mais forte. Por outro lado, à medida em que se diminui a intensidade de torrefação apresenta-se um café com tonalidade cada vez mais fraca e com sabor mais suave (PEDROSA, M. L. R. S., 2018).

O grau de torrefação dos grãos é convenientemente analisado conforme paletas de cores. A Associação Especialista em Café da América (SCAA; do inglês, Specialty Coffe Association of America) desenvolveu, junto à empresa Agtron uma tabela de padrão de torra recomendável para o café. Tal especificação é mostrada na Figura 16 (GOIS, T. C., 2018).

Figura 16 - Padrão de torrefação segundo SCAA.



Torra clara: 75 a 95

- Preservação dos óleos aromáticos, acidez acentuada, suavidade do aroma e sabor com amargor e corpo amenizados.
- Ideal para máquinas de café expresso.
- Esse grau de torrefação apresenta temperatura padrão variada de 180 a 240°C e o tempo mínimo de sete minutos para atingir uma cor ligeiramente amarronzada ou bege.
- Este tipo de torra também é conhecido pelas designações de "New England", "Half-city" ou "Cinnamon", devido à cor semelhante a da casca da canela.

Torra média: 55 a 65

- A torrefação regular acentua o corpo da bebida, deixando-a com um sabor um pouco mais rústico e aveludado.
- Ideal para ser utilizada em coador de pano ou filtro de papel.
- Ponto de equilíbrio entre várias características como corpo, acidez, aroma e amargor.
- As cores do grão variam bastante, entre várias tonalidades de marrom e marrom avermelhado, após um processo que pode demorar de nove a onze minutos.

Torra escura: 25 a 45

- Café menos ácido e encorpado com sabor mais robusto e amargo.
- O tempo de torrefação pode variar de doze a treze minutos, deixando os grãos de café mais escuros e mais saborosos.
- Quando os grãos são torrados por quinze minutos, ocorre a caramelização dos seus açúcares naturais e a cor fica muito escura, dando origem a um café bem forte, aromático e saboroso.
- Este tipo de torra também é conhecido como "Espanha", "Cuba" ou "French-roasted".

Fonte: GOIS, T. C. (2018).

Cita-se que o grau de torrefação varia conforme a demanda de mercado. Nos Estados Unidos, por exemplo, são adotados cafés de coloração mais clara, ou seja, torra mais leve. Colorações mais intensas são mais aceitas pelo mercado consumidor europeu enquanto no Brasil utiliza-se, com mais frequência, torras médias e moderadamente escuras (TOCI, A.; FARAH, A., 2006).

Diante do exposto pode-se perceber algumas características dos grãos de café que corroboram a importância desse procedimento para a qualidade do produto final.

Apesar da descoberta do café datar do ano 1000 sabe-se que o processo de torrefação só foi utilizado nesses grãos a partir do século XIV. Em princípio essa etapa era realizada somente através da condução de calor. Segundo Yunus A. Çengel “condução é a transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas adjacentes vizinhas menos energéticas como resultado da interação entre elas” (CIMBALA, J.; ÇENGEL, Y. A, 2015).

Nesse caso, utilizando-se do processo de condução entre sólidos, a torra do café era realizada posicionando os grãos de café sobre superfícies com temperaturas elevadas. O grão era, portanto, torrado do exterior para o interior tornando o procedimento bastante heterogêneo e a qualidade da bebida inferior a outros processos de torra (GONÇALVES, D. A. S. R., 2020).

Um exemplo de maquinário utilizado hodiernamente por pequenos produtores nessa etapa de processamento do café pode ser observado na Figura 17. O equipamento exposto tem capacidade de até 2 kg, com tempo médio de torra de 20 a 25 minutos e possui mecanismo de acionamento manual do tipo manivela.

Figura 17 – Torrador de café elétrico com manivela e capacidade de 2 kg.



Fonte: MF RURAL [1] (2022).

Ademais pode-se destacar, na Figura 18, um exemplo de maquinário que desempenha a mesma função que o da Figura 17, porém opera em indústrias com capacidade de até 15 kg com tempo médio de torra de 20 a 30 minutos e capacidade de 35 litros no resfriador.

Figura 18 - Torrador de café industrial de 15 kg.



Fonte: AGROLEV (2022).

Vale ressaltar que os equipamentos industriais são compostos basicamente por um tambor de torra que contém misturadores e queimadores a fim de, respectivamente: proporcionar torra homogênea e aquecer o tambor. Além disso, tem bandejas de resfriamento para descanso dos grãos após a torra com o objetivo de reduzir a temperatura destes rapidamente (PEDROSA, M. L. R. S., 2018).

2.3.6 Etapa 6 - Moagem

Consiste na etapa final de produção do café moído para que seja embalado e comercializado. Nessa etapa, os grãos torrados e secos de café são quebrados até virarem um pó observando-se a granulometria desejada ao produto (PEDROSA, M. L. R. S., 2018).

Pode-se dizer que a depender da granulometria desejada ao pó define-se um tipo de moagem utilizada. Existem moedores manuais, com lâminas de cerâmica, moedores automáticos com lâminas metálicas ou até com discos. Há moedores de maior capacidade para moagem industrial e moedores caseiros para consumo próprio (SILVA, G. C., 2017).

Dentre os utensílios utilizados historicamente pode-se citar o exibido na Figura 19. Fabricado em metal e madeira com acionamento manual, esse equipamento possui uma abertura no compartimento esférico destinado a abrigar os grãos de café. Ao deslocar a manivela, o café é triturado e depositado posteriormente na gaveta embaixo da estrutura (MUSEU DO CAFÉ, 2016).

Figura 19 - Moedor de café fabricado na década de 1810.



Fonte: MUSEU DO CAFÉ (2016).

Outro aparelho exemplificativo desse tipo de equipamento encontra-se evidenciado na Figura 20.

Figura 20 - Moedor de café utilizado em Fazenda.



Fonte: Elaboração própria.

Por fim, cita-se um moinho comercializado pela Empresa CETRO MÁQUINAS, modelo CTS-120. Este produto, em exposição na Figura 21, tritura os grãos por meio de um sistema de engrenagens cônicas operando em altas velocidades de rotação. Ele possui ajuste da espessura do pó, funil, bico de escoamento e sistema de refrigeração integrado. A função do sistema de refrigeração é evitar superaquecimento do equipamento o que permite moer qualquer tipo de produto e operar ininterruptamente. Ideal para produções de grandes quantidades tem produtividade de 300 kg de produto por hora. É importante frisar que essas informações foram obtidas no manual do fabricante.

Figura 21 - Moinho CTS – 120.



Fonte: CETRO MÁQUINAS (2022).

Diante da pesquisa de maquinários realizada na etapa de revisão de literatura chega-se à conclusão de que o trabalho inventivo de projetos, pesquisas e evolução de práticas diversas motivou a mecanização agrícola. Engenheiros e fazendeiros propiciaram tais mudanças na evolução destas máquinas.

É evidente, também, a discrepância tecnológica nos maquinários disponíveis para produção em larga escala quando em comparação com as lavouras menores o que justifica a realização desse projeto por meio da otimização de equipamentos para produções em pequena escala.

3 METODOLOGIA

Após o estudo do processo de beneficiamento do café em pequena e larga escala, com foco nos maquinários aplicados em cada etapa, realizou-se um estudo de campo para coletar dados sobre as etapas produtivas de uma propriedade. Inicia-se, portanto, apresentando a contextualização da Fazenda Caxambu, bem como os relatórios dos processos de produção de café realizados hodiernamente nessa propriedade.

Em seguida, contempla-se o descritivo dos modelos submetidos a alterações e, também, os problemas observados nos procedimentos escolhidos para otimização. Esses procedimentos estão apresentados no tópico 3.1 referente ao pré desenvolvimento. Por fim, finaliza-se as etapas referentes ao pré-dimensionamento apresentando algumas normas de segurança aplicáveis no tópico 3.1.1.

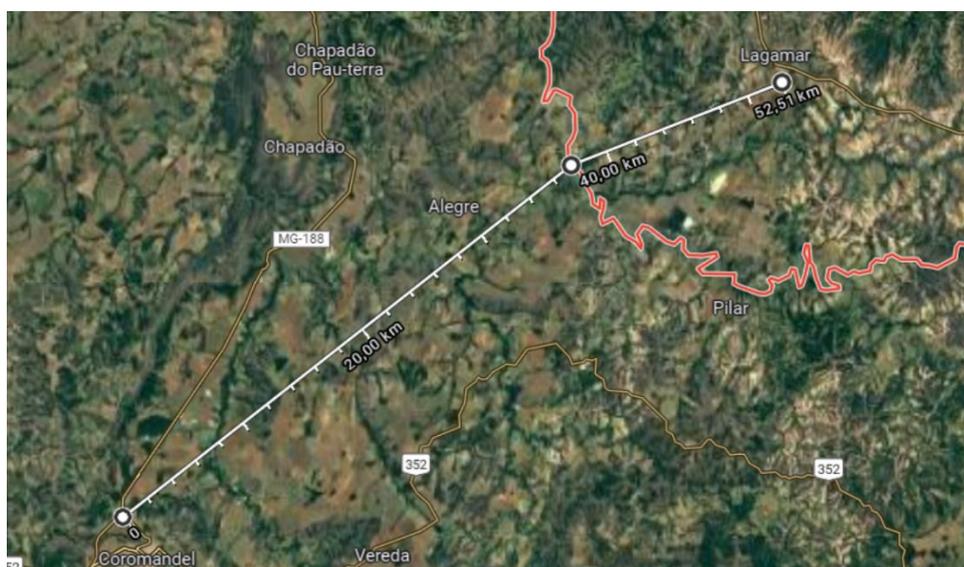
Sequencialmente apresenta-se o tópico 3.2 que diz respeito ao Desenvolvimento. Este engloba a seção 3.2.1, o projeto conceitual, no qual são propostas ideias para desenvolver as melhorias dos equipamentos e do processo e é apresentada, ao final deste tópico, a concepção do equipamento.

Por fim, no tópico 3.2.2, que também compõem o desenvolvimento e diz respeito ao projeto detalhado, nota-se o dimensionamento dos componentes individuais para cada equipamento projetado.

3.1 Pré-Desenvolvimento

A propriedade na qual será realizado o estudo de campo a fim de coletar dados acerca de suas etapas produtivas trata-se da Fazenda Caxambu. Esta localiza-se entre o município de Lagamar e o município de Coromandel, no Estado de Minas Gerais - MG. Sua localização geográfica pode ser observada na Figura 22 obtida com auxílio da ferramenta *GoogleMaps* (GOOGLE MAPS, 2022).

Figura 22 - Vista aérea da Fazenda Caxambu.



Fonte: GOOGLE MAPS (2022).

Nota-se que a distância em linha reta da Fazenda ao município de Lagamar é de, aproximadamente 13 quilômetros, enquanto à Coromandel é de 40 quilômetros.

Os maquinários que serão sujeitos ao processo de *Retrofitting*, bem como os arbustos cafeeiros e algumas etapas de produção da fazenda, foram capturados em imagens a fim de ilustrar o processo produtivo em análise.

Inicialmente, destaca-se que o processo de colheita é feito de forma manual e anualmente. Observa-se, na Figura 23 e na Figura 24, arbustos cafeeiros situados na Fazenda com alguns grãos verdes, uma vez que a fotografia foi obtida em momento diferente da época de colheita.

Figura 23 - Arbustos cafeeiros na Fazenda Caxambu.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 24 - Ramo de um arbusto cafeeiro com destaque aos grãos de café verdes.



Fonte: Elaboração própria.

A colheita é realizada uma vez por ano e, após esse procedimento, o produto é armazenado em sacos conforme percebe-se na Figura 25. A quantidade de sementes por colheita é suficiente para preencher seis sacolas de quarenta quilos totalizando cerca de 240 *kg* de grãos de café.

Figura 25 - Recipiente para depósito dos grãos pós-colheita.



Fonte: Elaboração própria.

O próximo passo consiste em retirar pedaços de tronco e folhas manualmente a fim de preparar a quantidade almejada para a etapa de secagem. Deste modo, assenta-se a parcela pretendida do artigo em uma peneira, com diâmetro aproximado de 50 cm, realizando movimentos para impulsionar o conteúdo em direção elevada. Com auxílio do vento e, também, com movimentos de sopro retiram-se as folhas e galhos. Pode-se verificar a fase descrita na Figura 26.

Figura 26 - Separação precedente ao descascamento.



Fonte: Elaboração própria.

Ato contínuo aloca-se os grãos no compartimento superior do maquinário para descascá-los. Esse equipamento possui acionamento por manivela e demanda o posicionamento de um recipiente, geralmente um balde, na rampa de saída para depósito dos grãos e cascas provenientes do processo. Observa-se a etapa na Figura 27 e na Figura 28.

Figura 27 - Preenchimento do caixote componente do descascador.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 28 - Procedimento de descasque dos grãos.



Fonte: Elaboração própria.

Deve-se prosseguir com a separação das cascas e grãos devido ao processo anterior apresentar como produto final uma mistura destes. De modo manual com um recipiente contendo o resultado da etapa anterior retira-se as cascas catando-as. Identifica-se na Figura 29 a comparação dos conteúdos antes e após esse processo.

Figura 29 - À esquerda antes do processo de separação e à direita após este.



Fonte: Elaboração própria.

Analogamente ao exposto na revisão de literatura, a próxima etapa é a torrefação. Na Fazenda Caxambu, é realizada com o equipamento em operação evidenciado na Figura 30 e na Figura 31.

A máquina de torra é composta por um cilindro rotativo cujo movimento circular do tambor é realizado pela manivela. Dentro do cilindro observa-se outro, com menor diâmetro, o qual esquentava quando o aparelho é conectado à tomada transferindo, desta forma, calor aos grãos. Proporciona torras uniformes do café, a primeira torra dura de 25 a 30 minutos, as seguintes de 15 a 20 minutos.

Inicialmente, abre-se o compartimento do cilindro externo introduzindo os grãos e, posteriormente, retorna-se este compartimento para posição original. Pode-se finalmente ligar o equipamento. Ressalta-se que a manivela deve ser rotacionada ao longo de todo o processo, até que o grão esteja devidamente torrado.

Figura 30 - Demonstrativo da inserção dos grãos de café na máquina de torrefação.



Fonte: Elaboração própria.

Conforme o tempo demandado para torra dos grãos passa, percebe-se uma fumaça cada vez mais quente e espessa. Vale ressaltar que o ponto de torra é variável e avalia-se de várias maneiras se este foi atingido, como: cheiro, espessura da fumaça, tempo, cor dos grãos e, principalmente, pela experiência da pessoa que está realizando o procedimento.

Figura 31 - Equipamento de torra após 10 minutos de funcionamento.



Fonte: Elaboração própria.

Prontamente transcorrido o período de torra, retira-se o café do equipamento pelo mesmo compartimento através do qual foi inserido e aloca-se o mesmo em peneiras para resfriamento, conforme visível na Figura 32.

Figura 32 - Resfriamento pós torrefação.



Fonte: Elaboração própria.

Finalmente o café é moído com auxílio do equipamento exposto na Figura 33 e está pronto para consumo.

Figura 33 - Moedor de Café utilizado na Fazenda Caxambu.



Fonte: Elaboração própria.

O próximo passo do planejamento do projeto consiste em investigar quais etapas produtivas serão otimizadas. Na conjuntura do gerenciamento de projeto, é importante um método auxiliar para o processo decisório, que abrange características difíceis de serem mensuradas, envolvendo aspectos subjetivos que tornam o processo complexo. Dentre as operações realizadas para produção de café na Fazenda Caxambu avaliou-se quais demandavam maior tempo, quantidade de mão de obra e necessidade de grandes esforços físicos por parte do operador. Além disso, considerou-se a eficiência dos processos e a quantidade mensal de realização do procedimento.

Com base nesses critérios, analisou-se alguns processos de tomada de decisão e optou-se pela utilização do Diagrama de Mudge. Trata-se de uma técnica que organiza as funções hierarquicamente por ordem de importância para o usuário comparando os critérios pré-determinados pelo projetista conforme seu grau de importância e relevância para o usuário (CSILLAG, 1995 *apud* SENA, P. M. B.; NETO, O. T., 2013).

Dessa forma, definiu-se algumas necessidades relevantes de projeto para decidir qual das etapas será otimizada. Tais requisitos são descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos de Projeto

Requisitos de Projeto	Representação do Requisito
Otimização do tempo total do processo	R_1
Redução da necessidade de mão de obra	R_2
Redução do esforço físico demandado	R_3
Tecnologia de Produção	R_4
Segurança do operador	R_5
Maior frequência da atividade	R_6
Baixo valor final	R_7
Peças de montagem acessíveis	R_8

Fonte: Elaboração própria

Adotados os critérios, deve-se montar o diagrama através de uma matriz triangular que compara o elemento de cada linha com cada uma das colunas atribuindo a letra de representação do elemento de maior importância junto à um número definido pela escala exposta na Tabela 4.

Tabela 4 - Critérios de Pontuação

Muito mais importante	5
Mais importante	3
Moderadamente mais importante	1
Igual importância	0

Repetindo o procedimento até completar a tabela obteve-se o resultado esclarecido na Tabela 5.

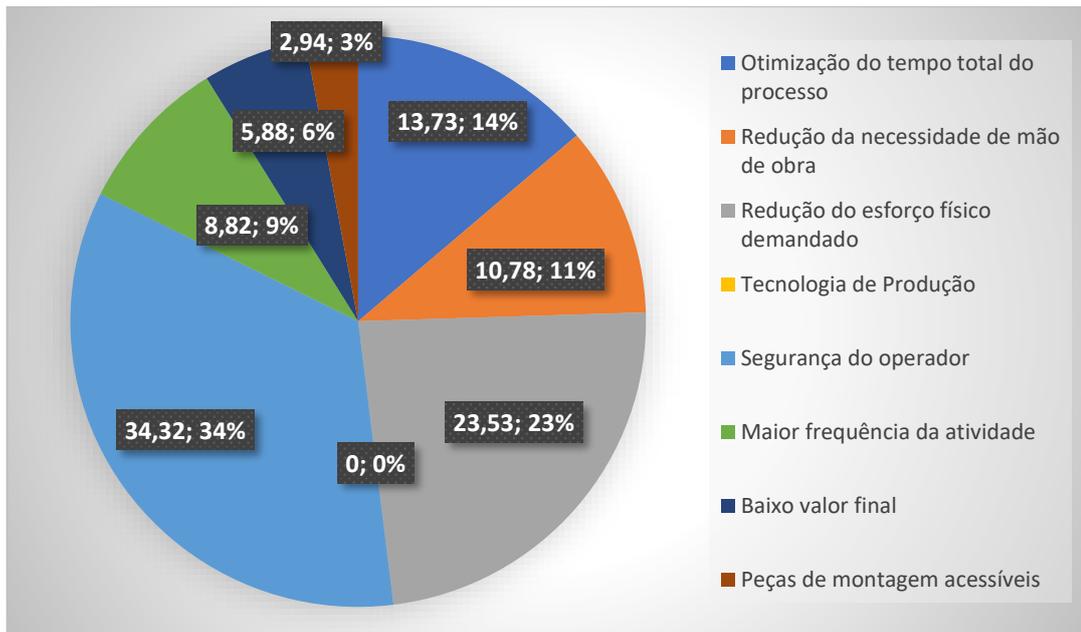
Tabela 5 - Diagrama de Mudge

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	Soma	Peso
R_1		$3R_1$	$1R_3$	$5R_1$	$5R_5$	$0R_6$	$1R_1$	$5R_1$	14	13,73
R_2			$5R_3$	$3R_2$	$5R_5$	$5R_6$	$3R_2$	$5R_2$	11	10,78
R_3				$5R_3$	$5R_5$	$3R_3$	$5R_3$	$5R_3$	24	23,53
R_4					$5R_5$	$3R_6$	$1R_7$	$3R_8$	0	0
R_5						$5R_5$	$5R_5$	$5R_5$	35	34,32
R_6							$1R_6$	$0R_8$	9	8,82
R_7								$5R_7$	6	5,88
R_8									3	2,94
									102	100

Fonte: Elaboração própria.

O critério de comparação entre os requisitos foi considerado na seguinte configuração: a otimização do tempo total de processo é considerada prioridade com relação à redução da necessidade de mão de obra uma vez que ao alcançar-se aquela, automaticamente, há redução de carga horária dos operários e consequente diminuição de gastos com mão de obra; avaliou-se que a redução do esforço físico é prioridade quando comparada ao conjunto dos outros requisitos, com exceção à segurança do operador, já que demasiado esforço físico prejudica o desempenho da mão de obra e prejudica as boas condições de trabalho; considerou-se que a segurança do operador é critério prioritário com relação à todos os outros pois deve-se sempre adotar medidas de proteção capazes de garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores; a frequência de ocorrência da atividade foi ponderada a fim de não optar pela otimização de processos com impacto reduzido no quadro geral de produção, porém, não se apresenta como um requisito prioritário; com relação à tecnologia de produção, baixo custo final de projeto e peças de montagem acessíveis foram ponderadas a fim de aperfeiçoar um equilíbrio entre esses pré requisitos.

Aplicando os resultados obtidos no *Software Excel* construiu-se o gráfico, exposto na Figura 34, com o propósito de salientar os requisitos mais importantes para decisão do processo à ser alterado (*SOFTWARE EXCEL*, 2019).

Figura 34 - Requisitos de Projeto.

Fonte: Elaboração própria.

Dessarte faz-se mister ponderar, na escolha das etapas para otimização, principalmente: a segurança do operador, a redução do esforço físico demandado na etapa, a otimização do tempo total do processo e a redução da necessidade de mão de obra. Não se deve, contudo, desconsiderar os outros critérios.

Ante o exposto, notou-se que os processos de descascar e torrar os grãos exigem período prolongado de rotação das manivelas de acionamento, em ambas as máquinas, o que traz demasiado desconforto aos operadores. Dessa maneira, esse processo exige esforço físico, por um período prolongado de tempo, já que o processo de descasque dura cerca de 30 minutos por produção e realiza-se em torno de 3 a 4 torras por ciclo e cada uma tem duração de 20 minutos em média. Ou seja, essas etapas representam, juntas, um tempo médio de duração de 1 hora e 50 minutos.

Ademais, percebeu-se que o processo de separação adotado atualmente mostrou-se cansativo aos agentes e, a longo prazo, proporciona desconforto na região cervical. Tal desconforto deve-se ao fato de o processo de separação ser realizado com o funcionário posicionando a peneira sobre uma superfície e catando manualmente os grãos. Logo, esse processo mostrou desvantagem produtiva causando prejuízos à segurança do profissional.

Além destes, o processo que demanda maior esforço físico e quantitativo de mão de obra, é a colheita. Esta, porém, é realizada uma vez por ano enquanto os processos de torra e

descasque são realizados mensalmente. A baixa frequência da atividade de colheita descarta a mesma como foco do estudo.

Por fim, com relação à otimização do tempo empregado no processo total, percebe-se que adotando modificações nas etapas de descasque, separação e torra tem-se o melhor resultado para diminuir a duração total da produção. Além disso, a partir do momento em que se substituem as manivelas de acionamento e, por exemplo, inclui-se um timer para o torrador nota-se redução da necessidade de mão de obra acompanhando o decorrer destes processos.

Portanto, o atual projeto terá como foco o aperfeiçoamento dos processos de descascar, separar e torrar os grãos. Tal projeto se dará através da adaptação das máquinas de descasque e torra e do projeto de um equipamento intermediário com função de remover as cascas.

O equipamento intermediário, responsável por substituir o processo de catação pós descasque, será projetado de maneira a ser fixado ao descascador. Dessa forma, supre-se a necessidade de posicionar um recipiente de coleta final ao operar a máquina.

Tal equipamento substituirá o processo de catação das cascas e, em sua saída será posicionada a entrada do aparelho de torra. Este, porém, será móvel pelo simples fato de que quando a torrefadora está em operação sua superfície esquentada e fumaça é liberada de suas fendas e, assim, pode-se danificar o equipamento intermediário a ser projetado com o calor liberado pela máquina de torra.

Portanto, este projeto conterà o *retrofitting* de duas máquinas e o projeto de uma máquina intermediária fixa à primeira e com encaixe para a outra. Otimizando, dessa forma, três dos processos produtivos adotados na Fazenda.

O próximo passo contempla o descrito de funcionamento dos equipamentos com determinação dos problemas que serão foco no projeto.

Abordar-se-á, em princípio, o modelo de descascador de café a ser adaptado no presente estudo. Este tem composição de aço carbono, ferro fundido e polipropileno. Pode-se observar sua estrutura de maneira detalhada nas fotos de alta resolução, disponíveis no site da fabricante BOTINI, destacadas na Figura 35 e na Figura 36.

Figura 35 - Descascador para café manual Botini.



Fonte: BOTINI (2022).

Figura 36 – Ampliação da moenda do descascador.



Fonte: BOTINI (2022).

Algumas características são perceptíveis ao observar as imagens fornecidas pela fabricante. Inicialmente, percebe-se o caixote furado, na cor vermelha, onde são posicionados os grãos de café ao iniciar o processo. Em seguida, o cabo com manopla, preso ao eixo da moenda do descascador que, ao ser acionado, promove a compressão dos grãos de café contra a moenda.

A abertura entre a moenda e a base ranhurada pode ser ajustada conforme a necessidade. A abertura é ideal quando o grão de café é descascado e não triturado. Logo, deve-se priorizar

uma abertura que não quebre os grãos em partes pequenas, porém descasque-os adequadamente. Ao final do processo, os grãos, bem como as cascas, são direcionados à base ranhurada, ou à rampa de saída, onde geralmente é posicionado um recipiente, como um balde, para estoque e posterior separação das cascas.

Acerca da análise inicial de funcionamento do descascador de grãos de café manual averíguam-se algumas dificuldades no processo. O acionamento por manivela exige trabalho braçal e deve ser substituído por um redutor acoplado a um motor. Por consequência, será necessário dimensionamento de um sistema de redução de velocidades a fim de adaptar a rotação desejada para o eixo do rolo compressor.

Deve-se, também, analisar o torque necessário para que durante o procedimento os grãos não sejam danificados. Além disso, analisar-se-á um recipiente a ser posicionado na saída do equipamento. Tal recipiente será responsável pela separação dos grãos de café de suas cascas já soltas, a fim de substituir o procedimento manual adotado atualmente e pelo direcionamento dos grãos para o equipamento torrador.

Vale ressaltar que durante o procedimento de descasque o caixote furado, na cor vermelha, onde são posicionados os grãos de café ao iniciar o processo, é reabastecido constantemente a fim de descascar a quantidade pretendida de grãos. Dessa maneira, seria viável e benéfico ao projeto aumentar o sistema de admissão dos grãos acoplado ao caixote uma estrutura com volume maior e evitando a necessidade de reabastecimento durante o processo. Pode-se notar na Tabela 6 algumas características relevantes do descascador em análise.

Tabela 6 - Características relevantes ao projeto - descascador manual

Dimensões (cm)	20(C) x 20 (L)x 28 (h)
Peso bruto (Kg)	4,5
Produção máxima (Kg/hora)	30

Fonte: BOTINI (2022).

Os benefícios almejados com o *retrofit* do equipamento descascador de café abrangem:

- Adaptação do sistema de admissão de grãos para priorizar o funcionamento sem intervenção constante do operador;
- Utilização de mecanismo simples a fim de facilitar manuseio e reduzir manutenções;

- Integração do maquinário com o subsequente a fim de não necessitar posicionamento de recipientes externos ao procedimento;
- Substituição da manivela visando minimizar o trabalho braçal do operador.

O projeto do equipamento intermediário, a ser disposto entre o descascador e torrador, deve substituir o procedimento manual de separação de grãos e cascas. Para tanto, considera-se essencial o acréscimo de algum componente para impulsionar a retirada das cascas. Como as cascas possuem densidade consideravelmente inferior à dos grãos pode-se analisar a aplicação de exaustores ou sistemas de ventilação a fim de separar estes componentes. Além disso, ressalta-se que a máquina projetada deve ser compacta, encaixando-se perfeitamente na saída do descascador a fim de evitar desperdício e dispensar atuação do operador.

O espaço de saída dos grãos já separados deve ser compatível com o compartimento de entrada do torrador. Além disso, deve-se pensar na consideração entre o uso de peneiras vibratórias, que possuem vantagem de impulsionar a mistura de cascas e grãos facilitando a remoção daquelas. Outra alternativa seria a de uma esteira transportadora no caso em que a separação será função do exaustor ou do sistema de ventilação e a esteira apenas responsabilizar-se-ia pelo transporte dos grãos.

Por fim, destaca-se a necessidade de inserir um compartimento para coleta das cascas retiradas, para posterior descarte. É interessante que se trate de um recipiente de volume considerável para reduzir o tempo necessário entre cada esvaziamento e, também, de fácil remoção com o intuito de facilitar sua limpeza. Dessa maneira, a construção desse equipamento intermediário viabilizará o funcionamento do descascador de café integrado ao torrador garantindo maior produtividade.

As vantagens cobiçadas com o projeto do equipamento separador de cascas e grãos são:

- Obtenção da semente descascada e limpa de café em compartimento distinto de suas cascas;
- Utilização de mecanismo simples que facilite o manuseio e minimize as manutenções;
- Otimização do trabalho ao excluir do processo de produção uma etapa que demanda esforço físico;
- Integração do maquinário.

O próximo passo abrange o modelo do torrador de café a ser adaptado. Analogamente ao projeto informacional que diz respeito ao descascador, o principal problema apontado se refere ao funcionamento da manivela exigir grande esforço físico por parte do operador.

Portanto, acopla-se ao equipamento de manivela um motor e um sistema de redução, a fim de reduzir a velocidade de rotação e transmiti-la para o eixo principal do torrador. O equipamento em análise pode ser observado na Figura 37.

Figura 37 - Torrador de grãos de café elétrico.



Fonte: Elaboração própria.

Outro fator problemático, observado durante o acompanhamento da produção na Fazenda, é a falta de fixação da máquina enquanto está em operação. Percebe-se que, além de rotacionar a manivela durante todo o procedimento, o operador precisa manter a máquina fixa uma vez que esta não possui elemento de fixação à bancada de operação.

Tal fato torna o procedimento mais trabalhoso para o operador. Observou-se por vezes que se posiciona uma pedra sobre a base da máquina e, em alguns momentos, que se segura esta base com a mão. Ambos os procedimentos de fixação adotados, manual e com o objeto utilizado para fixação podem ser comparados na Figura 38.

Figura 38 - Fixação da máquina de torra.



Fonte: Elaboração própria.

Dessa maneira, torna-se necessário, incluir uma solução de fixação adequada a este procedimento. Destaca-se a necessidade de o elemento de fixação ser móvel, ou seja, não permanente, uma vez que, ao final do tempo de torra, o equipamento é levantado e rotacionado em 180 graus para retirada dos grãos do compartimento cilíndrico.

Outra modificação que tornaria o processo de torra prático e simplificado seria adicionar um *timer* no equipamento para monitorar o tempo de torra, desligando o equipamento automaticamente com o término do tempo pré-determinado pelo operador. Dessa forma, é possível minimizar as variações de torra conforme o operador e, além disso, ameniza-se a necessidade de qualificação do operador para determinação do ponto de torra.

Pode-se observar na Tabela 7 algumas características relevantes do torrador em questão.

Tabela 7 - Características relevantes ao projeto - torrador de café elétrico

Dimensões (cm)	350(C) x 220 (L)x 350 (h)
Peso bruto (Kg)	3,7
Capacidade (litros)	3

Fonte: MF RURAL [1] (2022).

Os benefícios almejados com o *retrofitting* do equipamento torrador de café abrangem:

- Substituição do acionamento de manivela por redutor acoplado a um motor visando reduzir a intervenção humana necessário ao longo do processo;
- Inserção de um *timer* a fim de padronizar o café produzido e facilitar a ação do operador;
- Afixação da máquina de torra à bancada de maneira a ser facilmente removida.

Diante do exposto compila-se, na Tabela 8, os objetivos específicos do presente projeto com a caracterização detalhada dos problemas que demandam soluções bem como as análises que serão realizadas no projeto conceitual para cada equipamento.

Tabela 8 - Caracterização de problemas e determinação das análises do Projeto Conceitual

	Problema	Análises de solução
Descascador	Substituir a manivela por um sistema redutor acoplado à um motor	Análise do torque necessário para que os grãos sejam descascados adequadamente e não sejam danificados
		Opção por polias ou engrenagens
	Aumentar o sistema de admissão dos grãos	Análise inicial da estrutura com maior volume a ser acoplada ao caixote
Separador dos grãos e cascas	Analisar qual o componente adequado para impulsionar a separação das cascas e grãos	Análise de densidade das cascas e dos grãos
		Comparação de eficiência e custo entre as opções: exaustor, sistema de ventilação e peneira vibratória.
		Análise de transporte dos grãos após a separação: esteira transportadora, funil ou tubos.
	Encaixar o equipamento devidamente na saída do descascador e na entrada do torrador	Considerações acerca do layout do equipamento
	Considerar o compartimento para coleta das cascas	Análise de volume e formato ideais para o compartimento
Torrador	Substituir a manivela por um sistema redutor acoplado à um motor	Opção por polias ou engrenagens
		Análise do torque mínimo de acionamento
	Estudar possibilidades para fixação da máquina	Tipos de fixação temporárias ou móveis
	Inserir um <i>timer</i> para finalizar a operação no tempo desejado	Tipos de dispositivo de controle de tempo de funcionamento

Fonte: Elaboração própria

3.1.1 Normas de segurança aplicáveis

A Norma Regulamentadora N^o. 12 (NR-12) refere-se a segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Percebe-se que dentre seus objetivos principais inclui-se melhoria contínua das condições de trabalho na utilização de maquinários.

Dessa forma, a NR-12 enquadra-se no contexto do presente trabalho principalmente no que tange o item 12.5 da norma: Sistemas de segurança. Segundo as recomendações deve-se proteger as zonas de perigo dos equipamentos incluindo proteções fixas ou móveis (GOVERNO DO BRASIL [3], 2022).

No atual projeto, sugere-se incluir proteção fixa com possibilidade de abertura apenas com o uso de ferramentas, nas áreas de, por exemplo, polias e correias, motores e ventilador centrífugo, com o intuito de limitar o acesso a esses equipamentos.

Destaca-se a necessidade de consultar as distancias de segurança e requisitos necessários para evitar acidentes conforme os anexos da norma.

A Figura 39 e a Figura 40 destacam exemplos adequados de proteção para polias e proteção de acoplamentos do motor.

Figura 39 - Proteção de polias conforme NR-12



Fonte: NATREB (2022).

Figura 40 - Proteção do motor



Fonte: SOLUTEM (2022).

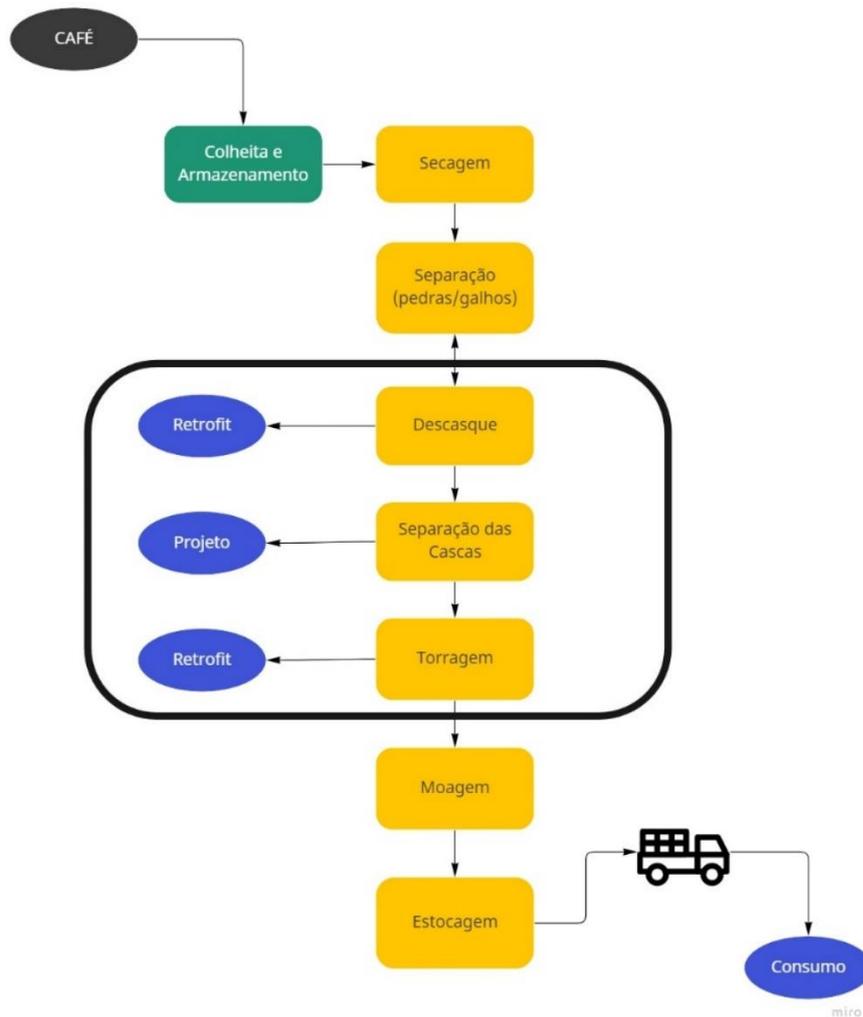
No que tange aos procedimentos de segurança referentes a um ventilador centrífugo, vale destacar que se deve analisar se o modelo escolhido contém tela de proteção contra toque acidental ou entrada de objetos, a maioria é fabricada em aço carbono. Além disso, para escolher o ventilador repara-se a presença ou não de protetor de correias além de proteção para os mancais (MOTOVENT, 2022).

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Projeto conceitual

Construiu-se o fluxograma evidente na Figura 41, através do *Software Miro Dashboard*, com a finalidade de ilustrar o processo produtivo analisado na Fazenda Caxambu destacando àqueles selecionados para projeto (*SOFTWARE MIRODASHBOARD*, 2022).

Figura 41 - Fluxograma do Processo.



Fonte: Elaboração própria.

As etapas de descasque, separação das cascas e torragem foram destacadas na imagem e as análises de solução previstas para o projeto conceitual serão realizadas separadamente para cada etapa e percorridas nos tópicos 3.2.1.1, 3.2.1.3, 3.2.1.2 e 3.2.1.3.

Após evidenciar as propostas de solução utilizadas inclui-se no tópico 3.2.1.4 a apresentação da concepção.

3.2.1.1 Descascador

Transmite-se potência de maneira eficiente através do movimento rotativo de eixo suportado por mancais. Engrenagens, polias ou corrente são incorporadas a fim de, neste caso, proporcionar o torque e redução de velocidade entre os eixos. Dessa maneira, o projeto de substituição da manivela do descascador por um motor requer dimensionamento de componentes individuais, não independentes, a saber: eixo, rolamento, engrenagens, entre outros (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. 2016).

Deve-se considerar devidamente a análise de potência e torque necessários para rotacionar a manivela de maneira a realizar o procedimento de maneira adequada e eficiente, sem danificar os grãos. Vale ressaltar que tais parâmetro são essenciais para posterior definição de dimensionamento do sistema completo.

Dessa forma, define-se inicialmente o torque máximo ($\tau_{m\acute{a}x.}$), que pode ser aplicado durante a operação de descasque sem que ocorram danos aos grãos, dado pela equação (1).

$$\tau_{m\acute{a}x.} = F * d \quad (1)$$

Onde F é a força nominal aplicada durante a rotação da manivela e d representa o comprimento da manivela.

O torque máximo será definido com base no parâmetro nominal de força, ou seja, a força utilizada para definir o limite superior no dimensionamento da estrutura do equipamento diz respeito à força máxima transmitida sem perigo de danos aos grãos.

Pode-se considerar o comportamento mecânico de grãos com baixos teores de umidade com o de materiais sólidos elásticos. Por outro lado, grãos com alto teor de umidade comportam-se como viscoelásticos. Como, com o aumento do teor de água, a força de compressão necessária para deformar os grãos diminui, utilizar-se-á nesse trabalho valores de compressão de grãos que não foram submetidos à secagem, ou seja, com alto teor de umidade, a fim de limitar a força máxima e admitir uma margem de segurança (SILVA, M. O., 2014).

O estudo de Sandra Couto, intitulado “Características de frutos de café sob compressão”, determina valores de força requeridos para o colapso de grãos de café submetidos a ensaio de compressão, logo após a etapa de colheita. Considera-se, com base na pesquisa,

para fins do presente projeto, que o dano mecânico se inicia quando a força aplicada excede 50 N (COUTO, S. M. et al. 2002).

Sabendo que a manivela possui 0,22 metros de comprimento, substitui-se os valores adequados na equação (1) e se obtém o torque máximo.

$$\tau_{m\acute{a}x.} = 50 * 0,22 = 11 Nm$$

De outro modo, determina-se o torque mínimo experimentalmente posicionando, na extremidade da manivela de acionamento, um compartimento em forma de sacola e inserindo, aos poucos, pedras dentro deste compartimento. Ao notar o início do movimento da manivela retira-se o peso inserido medindo-o com auxílio de uma balança de mesa. Destaca-se que o processo deve ser realizado com o caixote totalmente preenchido.

Dessa maneira observa-se, na Figura 42, o procedimento efetuado.

Figura 42 – Procedimento experimental para determinar a força mínima de acionamento do descascador.



Fonte: Elaboração própria.

A massa, necessária para que a manivela inicie a rotação, multiplicada ao valor da gravidade representa a força vertical que deve ser aplicada, nesse caso representada pela força

peso, necessária para começar a operação. O valor medido que representa essa massa esta discriminado na captura exposta na Figura 43.

Figura 43 - Massa total necessária para o acionamento da manivela.



Fonte: Elaboração própria.

Logo, utilizando o valor da aceleração da gravidade como $g = 9,807 \text{ m/s}^2$, de acordo com Daniele Cavalcante, e utilizando a equação (1), obtém-se o torque mínimo (CAVALCANTE, D., 2021).

$$\tau_{\text{mín.}} = (1,446 \text{ kg} * 9,807 \text{ m/s}^2) * 0,22 = 3,12 \text{ Nm}$$

Observando a produção de descasque e analisando, com auxílio de um cronômetro programado para acionar a cada minuto, anotou-se as rotações por minuto (rpm) realizadas pela manivela durante doze operações e eliminou-se a maior e a menor medição. Os resultados

obtidos para os dez valores medidos entre a maior e a menor anotação foram compilados na Tabela 9.

Tabela 9 - Rotações da manivela por ciclo de 60 segundos

Rotações contadas no tempo de 60 segundos
54
55
56
45
38
44
40
39
39
38

Fonte: Elaboração própria

Dessa maneira, obteve-se uma média de 45 rpm, este valor de frequência, obtido experimentalmente no processo atual, será utilizado posteriormente para fins de comparação com o valor obtido no dimensionamento.

A análise seguinte considera que o sistema de transmissão por potências pode ser projetado utilizando-se de polias ou engrenagens. A decisão por projetar o sistema de redução por meio de polias como substitutas às engrenagens deve-se à simplificação do projeto do descascador, bem como, à redução do custo de projeto, visando o menor orçamento possível. Ademais, em comparação com o sistema de engrenagem, as transmissões por correia são mais flexíveis, silenciosas, não necessitam de lubrificação, possuem instalação e manutenção simplificadas.

Além disso, vale ressaltar que o fato de correntes, correias e outros elementos flexíveis serem elásticos e compridos favorecem o amortecimento além de isolar os efeitos de vibração

o que pode majorar a vida útil quando comparados à dispositivos mais rígidos de transmissão de potência (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. 2016).

Priorizou-se o uso de correias em “V” em detrimento às outras possibilidades de correias ou correntes por alguns motivos, entre eles:

- A correia plana não transmite integralmente potência uma vez que ocorrem deslizamentos durante sua operação;
- As correias em “V” permitem que sejam estabelecidas distâncias menores entre os centros das polias;
- Por possuírem cordonéis em seu interior as correias em V absorvem de maneira mais adequada as forças de tração;
- Eliminam alguns ruídos presentes em correias planas.

Cita-se também que, apesar da decisão de projeto, deve-se atender aos diferentes tipos de perfis disponíveis para esses tipos de correias. Os mesmos devem ser analisados devidamente.

Por fim, a última análise referente ao projeto conceitual do equipamento descascador de grãos de café diz respeito ao estudo da estrutura com maior volume a ser acoplada ao caixote. Existem duas opções de projeto: substituir o caixote existente por um de maior volume ou acoplar ao caixote já existente outro recipiente que componha a continuação deste.

Considera-se que a opção de aumentar a altura do recipiente mantendo o caixote original é mais vantajosa uma vez que o recipiente atual da máquina utilizada na fazenda está em ótimas condições, então, mantendo-o, há menor gasto de material. Surge, porém, neste contexto, a necessidade de inserir elemento de fixação para prender o vaso adicional ao caixote por esse motivo tal opção foi desconsiderada.

Dessa forma, considera-se interessante que, a princípio, mantenha-se o recipiente original e, quando houver sinais evidentes de rachaduras ou necessidade de substituição do compartimento de admissão dos grãos, realize-se a troca por um recipiente de volume maior. A sugestão é que tal recipiente possua as mesmas características de formato do anterior, ou seja, um funil de base quadrada, com o intuito de facilitar seu encaixe, aumentando-se, porém, sua altura.

Uma característica importante a ser ponderada para produção desta peça é seu material de fabricação. O recipiente, quando preenchido pelos grãos de café, está sujeito aos efeitos de

desgaste nas paredes de seu envoltório, desta maneira analisar-se-á, no projeto de detalhamento, a dureza do material adotado avaliando as implicações no desempenho e no custo.

Assim, os componentes envolvidos no projeto do descascador são: polias, correias planas, motor e funil de entrada com volume maior.

3.2.1.2 Separador dos grãos e cascas

O próximo passo consiste em projetar o separador de grãos que se encaixará na saída do descascador. Inicialmente, a intenção é comparar a densidade das cascas com a dos grãos, de forma a assistir na seleção do processo de separação mais adequado.

Destacam-se dois tipos de densidades das partículas: real e aparente. A densidade real do sólido é dada com base na relação entre a massa das partículas e seu volume. A densidade aparente inclui o volume de poros fechados na superfície dos grãos no volume a ser medido, sendo que esta é geralmente calculada por meio de medições de tamanho das partículas (SILVA, E. M., 2016).

Sabe-se que devido à individualidade dos grãos unitários e seu formato variado é mais prático calcular a massa específica dos grãos ao contrário de estimar a densidade real do sólido. Dessa maneira, a determinação torna-se simples e eficiente. Com um recipiente de volume conhecido quantifica-se a massa de grãos de café necessária para preenchê-lo e, assim, calcula-se a razão massa por volume (MARCOLAN, A. L.; ESPÍNDULA, M. C., 2015).

Aproximadamente têm-se os seguintes valores de massa específica para frutos secos de café: $0,40 * 10^6 \text{ g/m}^3$ a $0,53 * 10^6 \text{ g/m}^3$. A massa específica unitária, referente à um grão, varia entre: $0,7 * 10^6 \text{ g/m}^3$ a $1,3 * 10^6 \text{ g/m}^3$ (SILVA, 1997).

REBORED et al. (2020) destaca, por outro lado, para a densidade aparente das cascas de café um valor de $0,13 * 10^6 \text{ g/m}^3$. A densidade do sólido sendo, segundo o mesmo autor, de aproximadamente 9072 g/m^3 .

Utilizando o volume de um recipiente conhecido realizou-se um procedimento com o intuito de analisar a densidade aparente dos grãos e cascas de café no local de análise e comparar com os resultados observados em outros trabalhos anteriormente citados.

Com auxílio de um reservatório plástico graduado encheu-se um volume de 350 mililitros com grãos de café descascados pós secagem e a seguir pesou-se o volume de grãos com auxílio de uma balança de mesa. A balança foi previamente zerada com o recipiente vazio posicionado sobre ela, dessa forma garantiu-se a medição da massa apenas dos grãos.

Posteriormente foi realizado o mesmo procedimento com as cascas. Os resultados obtidos estão expostos na Figura 44.

Figura 44 - Procedimento para verificação da densidade dos grãos e cascas.



Fonte: Elaboração própria.

Assim, nota-se que a massa (m) obtida para um volume ($V_{recipiente}$) determinado é utilizada para determinar a densidade aparente utilizando a equação (2).

$$\rho_{aparente} = \frac{m}{V_{recipiente}} \quad (2)$$

Substitui-se os valores encontrados obtendo os seguintes resultados para densidade aparente das cascas e dos grãos.

$$\rho_{aparenteG} = \frac{m_{grãos}}{V_{recipiente}} = \frac{200g}{0,00035 m^3} = 0,571 * 10^6 g/m^3$$

$$\rho_{aparentec} = \frac{m_{cascas}}{V_{recipiente}} = \frac{45g}{0,00035 m^3} = 0,128 * 10^6 g/m^3$$

Onde $\rho_{aparenteG}$ representa a densidade aparente dos grãos e $\rho_{aparentec}$, a das cascas.

Vale ressaltar que se desconsidera o espaço vazio entre as partículas para análise. Realizando um comparativo dos resultados obtidos com os valores citados anteriormente

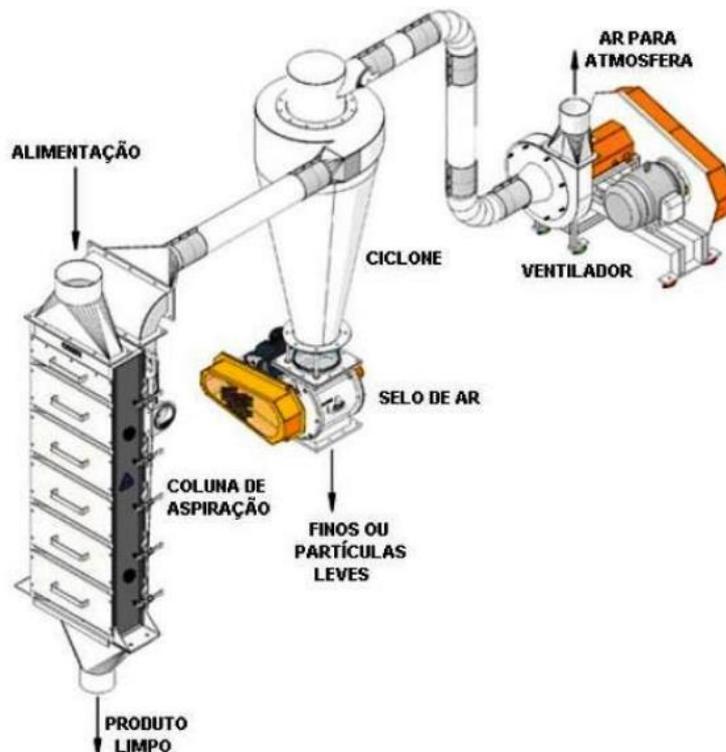
obtidos pela literatura e de estudos prévios, considera-se que, para fins desse projeto, os resultados são satisfatórios uma vez que a diferença entre os valores é pequena.

No que tange a análise do método utilizado no separador de cascas e grãos considera-se como o método mais eficiente e barato o uso de transportador pneumático pois este apresenta praticidade no transporte dos grãos e praticidade na limpeza.

O transporte pneumático é caracterizado pelo deslocamento de partículas em dutos utilizando-se do ar como fluido transportador. Algumas características que influenciam no transporte pneumático incluem: velocidade do fluido, diâmetro dos dutos, diâmetro e forma das partículas (SOUZA, D. V. et al. 2013).

A fim de obter eficiência máxima em um sistema de separador com ar utiliza-se geralmente um alimentador, uma fonte de sucção, um ciclone, um selo de ar e um duto de conexão. Observa-se um ilustrativo para entendimento do funcionamento desse sistema na Figura 45.

Figura 45 - Sistema básico de separação por aspiração.



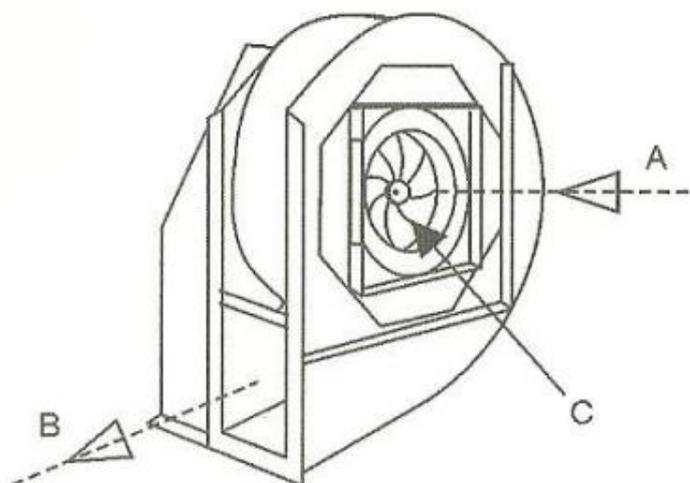
Fonte: SILVA, E. M. (2016).

Nesse sistema a fonte de sucção, que pode ser um ventilador centrífugo, fornece altas vazões e pressões, dessa forma o conteúdo inserido no alimentador passa por uma coluna de

aspiração com declives e o material com menor densidade é carregado para o ciclone, sendo dessa maneira separado do produto. O selo de ar possui a função de descarregar os finos (SILVA, E. M., 2016).

É importante destacar o componente de fonte de sucção que representa o acionamento do sistema pneumático. Nos ventiladores centrífugos observa-se que o rotor aspira o ar despejando-o pela boca de descarga. A descarga se dá de maneira perpendicular ao ar de aspiração, pode-se observar de maneira mais adequada o funcionamento deste mecanismo através da Figura 46.

Figura 46 - Ventiladores centrífugos: A - aspiração, B- descarga, C- rotor.



Fonte: DICKOW, J. A.; WIKING, L. (2013).

Estudando-se projetos com respeito à transportadores pneumáticos de café é interessante citar o modelo de processador e transportador pneumático de grãos pós secagem, sugerido por REBORED et al. (2020), pois este se assemelha a sugestão de separador de cascas e grãos que será sugerida como solução de equipamento intermediário no presente trabalho. E, por tanto, é um bom instrumento de ilustração no projeto conceitual do processo pretendido (REBORED, E. M. et al. 2020).

O dimensionamento proposto sugere um projeto “composto por um rolete integrado ao eixo que é conduzido por um motor elétrico através de um sistema de polias e correia, que ao ser acionado movimentava o rolete desacoplando as cascas dos grãos. (...) Os grãos juntamente

com as cascas são expelidos da gaiola para tubulação PVC, onde o rotor pneumático succiona as cascas, deixando os grãos limpos” (REBORED, E. M. et al. 2020).

Dessa forma, pode-se observar o modelo de projeção digital do descascador de café completo sugerido na Figura 47. O presente projeto utilizar-se-á da sugestão de integração do rotor para remoção das cascas com dutos de direcionamento para separação grãos, contudo dispensa o eixo com rolete para descasque dos grãos uma vez que a Fazenda em estudo já possui descascador de grãos a ser adaptado. Além disso, utilizar-se-á o conceito de coluna por aspiração integrada ao modelo proposto por Rebored (REBORED, E. M. et al. 2020).

Figura 47 – Ilustração da projeção digital do descascador.



Fonte: REBORED, E. M. et al. (2020).

Assim, como componentes para constituição do separador projetado tem-se: esteira de direcionamento, ventilador centrífugo, dutos, bocal de saída dos grãos, bocal de saída das cascas e gaveta de armazenamento das cascas.

3.2.1.3 Torrador

As análises do projeto conceitual que dizem respeito à opção por polias ou engrenagens e características de torque desenvolvem-se de maneira análoga ao descascador. As mesmas justificativas utilizadas para determinar que o sistema redutor será composto por polias e correias no projeto do descascador valem para esta etapa.

Determinou-se o torque mínimo nesta etapa através do peso do tambor de torra somado ao peso do café inserido no tambor em cada torra. Dessa maneira temos que são inseridos no total 1350 ml de grãos de café no tambor em cada torra, o equivalente a $0,00135 m^3$ e, portanto, aproximadamente 771 g . Tal peso foi estimado com base nos valores de densidade determinados previamente. O tambor de torra pesa em torno de 3 kg.

Logo, utilizando o valor da aceleração da gravidade como $g = 9,807 m/s^2$ e sabendo que o comprimento da manivela de acionamento é de $l = 0,15 m$, temos que, o torque mínimo de acionamento é devidamente aproximado pela equação (1) (CAVALCANTE, D., 2021).

$$\tau_{mín.} = (3,771 kg * 9,807m/s^2) * 0,15 = 5,5 Nm$$

Observando a produção de descasque e analisando, com auxílio de um cronômetro programado para apitar a cada minuto, anotou-se as rotações minuto (rpm) realizadas pela manivela durante doze operações e eliminou-se a maior e a menor medição. Os resultados obtidos para os dez valores medidos entre a maior e a menor anotação foram compilados na Tabela 10.

Tabela 10 - Rotações da manivela do torrador por ciclo de 60 segundos

Rotações contadas no tempo de 60 segundos
45
42
40
42
41
40
47
38
44
38

Fonte: Elaboração própria

Dessa maneira obteve-se uma média de 42 rpm, este valor de frequência, obtido experimentalmente no processo atual, será utilizado posteriormente para fins de comparação com o valor de frequência obtida no dimensionamento.

A próxima análise acerca deste aparelho diz respeito às possibilidades de fixação de sua base. Ressalta-se a necessidade de analisar apenas componentes de fixação temporárias, uma vez que ao longo do procedimento há mudança de posicionamento do torrador.

Sugere-se acoplar o torrador a um suporte com liberdade de movimentação por meio de rodas. Dessa maneira, pode-se encaixar o compartimento de entrada do torrador na saída do separador de cascas e, após o procedimento finalizado, afastar a máquina de torra. Dessa forma o torrar pode entrar em operação à distância dos outros equipamentos, a fim de que o vapor liberado por aquele, bem como sua temperatura de operação elevada, não cause prejuízos aos outros maquinários.

Além disso sugere-se que a base do torrador seja alterada. Aumentando-se a altura do suporte do cilindro principal do aparelho de torra pode-se acoplar um recipiente abaixo do mesmo com o intuito de remover os grãos após o procedimento. Dessa maneira o torrador pode ser fixado com parafusos e será necessário apenas rotacionar o tambor principal para remover as cascas dispensando rotação do equipamento. Assim, apresenta-se uma solução simples e barata para o problema de fixação do equipamento, bem como para sua necessidade de mobilidade.

3.2.1.4 Apresentação da concepção

A partir dos conceitos e decisões apresentados obteve-se as renderizações iniciais dos desenhos tridimensionais obtidos com auxílio do *Software SolidWorks*. Demonstra-se a intenção de montagem do equipamento. Vale ressaltar que após a realização do dimensionamento algumas proporções podem ser alteradas (*SOFTWARE SOLIDWORKS [1], 2020*).

Na Figura 48 pode-se observar a proposta de projeto das três etapas otimizadas. O suporte do descascador foi desenvolvido com dois níveis a fim de posicionar o motor no nível inferior, de forma semelhante ao que foi realizado para o suporte do equipamento de torra. Percebe-se também que o torrador se encontra afastado do compartimento de saída dos grãos pós separação.

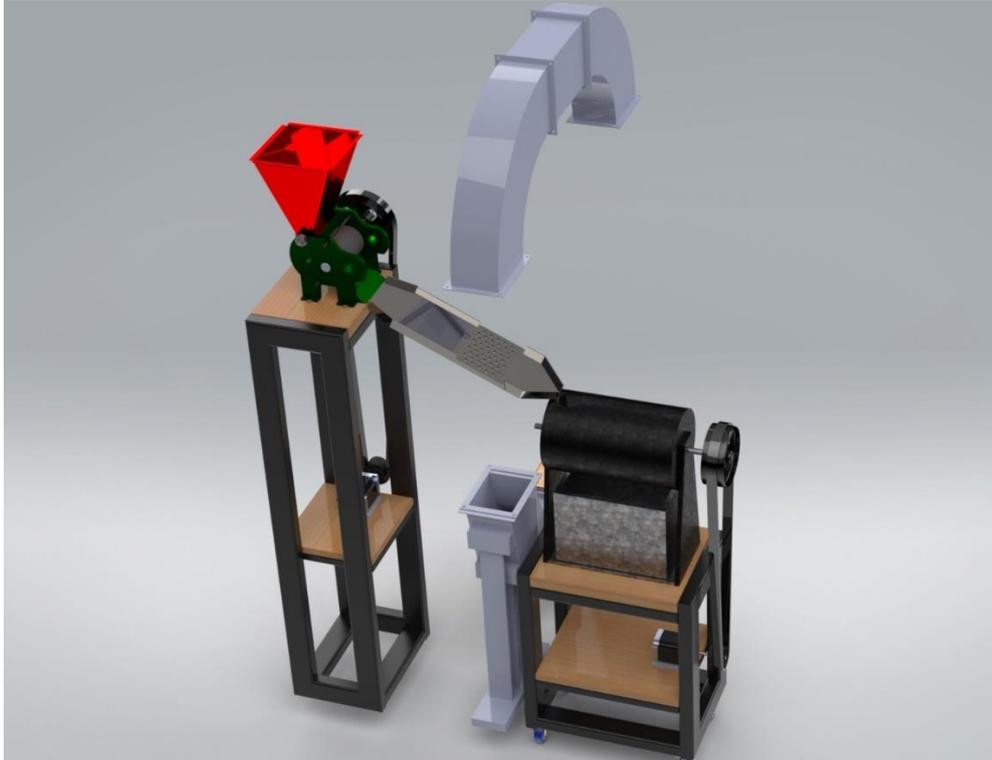
Figura 48 - Vista do Maquinário Integrado.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 49 o torrador foi colocado em posição coincidente com a rampa de saída dos grãos limpos. Além disso ocultou-se parte do duto com a intenção de proporcionar melhor visualização da peneira que compõe a rampa.

Figura 49 - Vista do Maquinário Integrado com peça oculta.



Fonte: Elaboração própria.

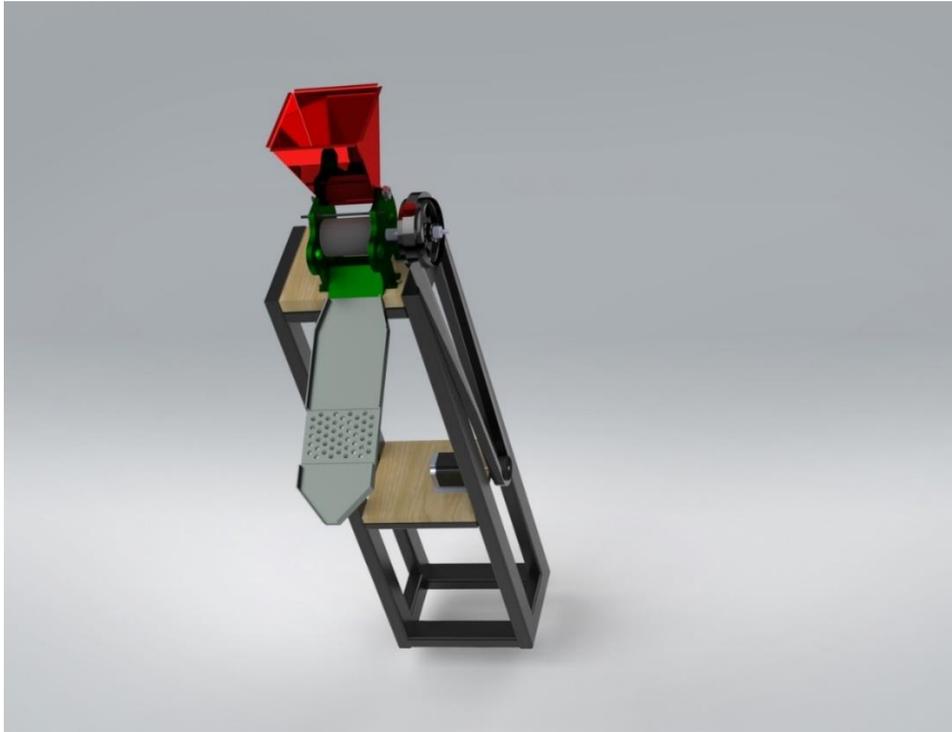
A Figura 50, Figura 51 e Figura 52 foram acrescentadas com o intuito de proporcionar melhor entendimento dos processos individualmente.

Figura 50 - Projeto Conceitual do Torrador.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 51 - Projeto Conceitual do Descascador.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 52 - Projeto Conceitual do Separador.



Fonte: Elaboração própria.

3.2.2 Projeto detalhado

O presente capítulo abrange o projeto de engenharia com detalhamento dos componentes principais para a máquina integrada de descasque, separação de cascas e torrefação dos grãos de café.

3.2.2.1 Descascador

Acerca do equipamento responsável pelo descasque, o projeto detalhado conterà devida análise de volume do sistema de admissão dos grãos, com a apresentação do protótipo final apropriado. O procedimento adotado é baseado na utilização das ferramentas disponíveis no *Software SolidWorks* com testes para determinação das dimensões mais adequadas para o novo compartimento (*SOFTWARE SOLIDWORKS [1], 2020*).

Em seguida expor-se-á a escolha do motor utilizado, bem como os critérios para tal decisão. Então, com a potência transmitida, o fator de segurança e a rotação nos eixos estipulados dimensiona-se as polias e a correia.

Apresentadas as decisões finais das polias e correias, o próximo passo engloba o estudo do eixo conectado ao motor e à polia menor com intuito de avaliar possíveis falhas. Em seguida, dimensiona-se devidamente o eixo do motor, realizando o estudo de tensões no mesmo. Expõe-se, por fim, as forças atuantes no eixo do descascador com o intuito de apresentar informações de esforços nesse eixo que possam auxiliar em trabalhos futuros.

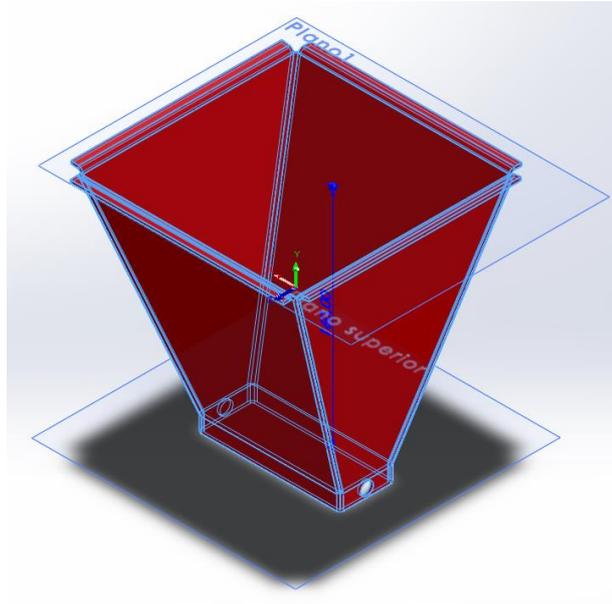
Análise de volume do compartimento de admissão dos grãos

De maneira inicial, acerca da verificação de volume do sistema de admissão de grãos, considerando que o caixote do descascador é preenchido de 3 a 4 vezes por ciclo, sugere-se quadruplicar seu volume. Deste modo, será realizado um estudo de capacidade do compartimento e sugerida configuração satisfatória para a demanda do equipamento por ciclo.

Preencheu-se o espaço interior do caixote de admissão com as ferramentas disponíveis no *Software SolidWorks* a fim de estimar seu volume inicial com o auxílio da ferramenta “Propriedades de Massa” (*SOFTWARE SOLIDWORKS [1], 2020*).

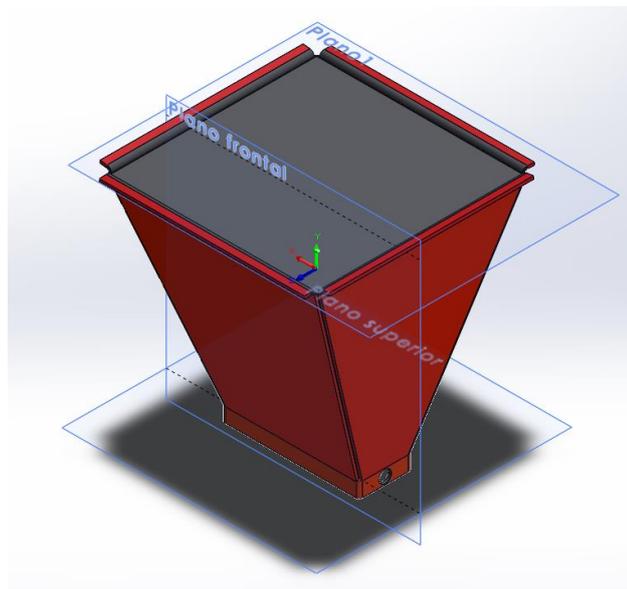
Foi possível, através das geometrias evidenciadas na Figura 53 e na Figura 54, obter algumas informações importantes para o projeto, entre elas o volume interno do caixote de entrada dos grãos no equipamento descascador.

Figura 53 - Sistema de admissão inicial representado em SolidWorks



Fonte: Elaboração própria.

Figura 54 - Sistema de admissão de grãos com volume interno preenchido



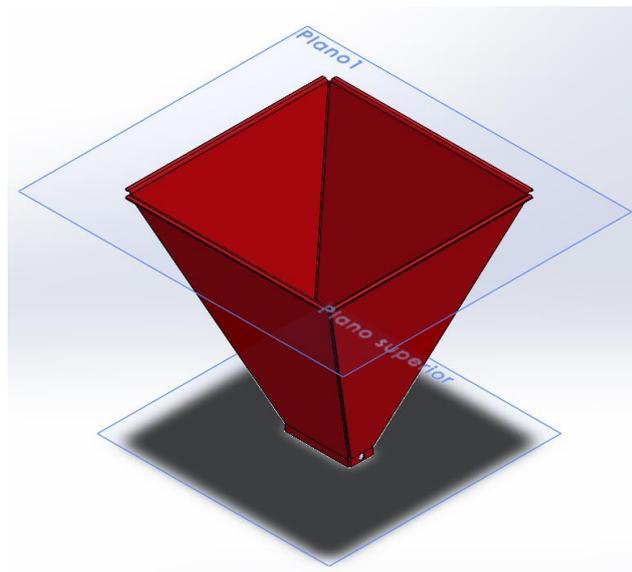
Fonte: Elaboração própria.

Com base em tal geometria obteve-se um volume inicial estimado em 2,05 *litros* bem como outras características englobadas no tópico 6.1 - Apêndice 1. Perante o exposto sugere-se que o equipamento seja substituído por outro com, no mínimo, 8 *litros*.

Desta forma, por meio de testes realizados no *Software SolidWorks*, variando as dimensões do sistema até encontrar uma geometria pertinente com o volume desejado, obteve-se os resultados expostos na Figura 55 e na Figura 56 como formato escolhido para o novo sistema de admissão de grãos do descascador (*SOFTWARE SOLIDWORKS [1], 2020*).

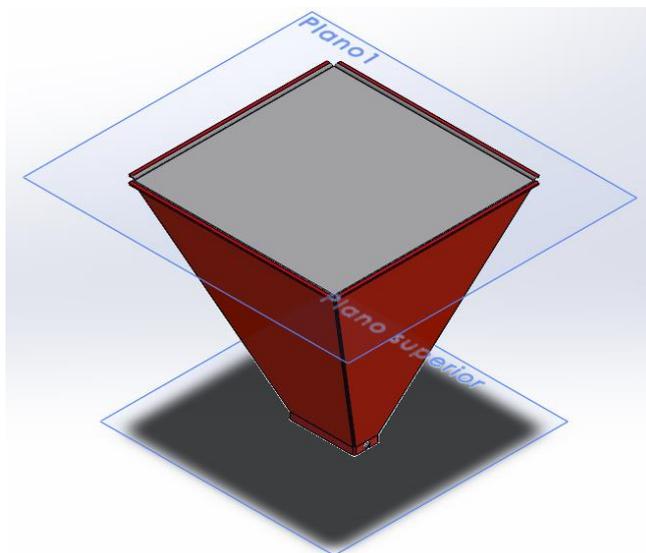
Ressalta-se que o volume foi estimado com base no mesmo procedimento exposto anteriormente para o sistema de admissão de grãos, componente inicial do descascador.

Figura 55 - Sistema de admissão final representado em SolidWorks



Fonte: Elaboração própria.

Figura 56 - Sistema de admissão de grãos atualizado com volume interno preenchido



Fonte: Elaboração própria.

Enfatiza-se que os desenhos técnicos com devidas dimensões para fabricação do compartimento estão discriminados no subtópico 6.1 do apêndice. A altura final do recipiente é de 320 *mm* com a base superior quadrada medindo 300 x 300 *mm*.

Portanto, com o volume final do novo sistema de admissão fixado em 8,61 *litros*, a densidade dos grãos de café arábica secos e com casca, conforme pré-determinado no tópico 3.2.1.2, é de $0,7 * 10^6 \text{ g/m}^3$.

Assim, transformando a unidade de medida do volume do sistema de admissão, tem-se que a massa de café inserida no compartimento completamente cheio é obtida com o rearranjo da equação (2), da seguinte forma:

$$m = \rho_{aparente} * V_{recipiente} = 0,7 * 10^6 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 0,00861\text{m}^3 = 6,027 \text{ kg}$$

Logo, a massa de café inserida no compartimento é de 6,027 *kg*.

Dessa forma, para posterior análise de esforços no eixo da moenda, considera-se o valor da força peso exercida pelos grãos inseridos no compartimento de admissão cheio. Essa força, dada por $F_{grãos}$, é obtida através do produto entre a massa e o valor da aceleração da gravidade, dada por $g = 9,807 \text{ m/s}^2$ conforme observa-se na equação (3).

$$F_{grãos} = 6,027 \text{ kg} * \frac{9,807\text{m}}{\text{s}^2} = 59,1 \text{ N} \quad (3)$$

A força peso exercida pela estrutura do compartimento de admissão dos grãos não é considerada na análise de esforços no eixo da moenda, uma vez que se percebe sua sustentação pelos apoios nos suportes laterais do descascador.

Acerca da fabricação do funil de admissão de grãos opta-se pela utilização do processo de dobramento com uma chapa de aço 1020 com a mesma espessura do compartimento anterior, de 2 *mm*. Escolhe-se o aço 1020 devido à alta relação de custo-benefício quando comparado a outros aços disponíveis para fabricação (AÇOSPORTE, 2022).

Componente motor e dimensionamento das polias e da correia

O próximo passo a ser apresentado no projeto detalhado do descascador refere-se à escolha do motor. Todos os cálculos realizados para definição desse componente, assim como

para as decisões referentes à escolha de correia e polias, estão descritos detalhadamente no tópico 6.2, referente ao Apêndice 2. Com o intuito de simplificar e facilitar a leitura do projeto detalhado são incluídas nesse tópico apenas as equações principais.

Com relação ao componente motor propõe-se a utilização de um motor trifásico com o intuito de favorecer a generalização do projeto. Sabe-se que alguns requisitos de projeto incluem um torque mínimo para acionamento (τ_{\min}) de 3,12 Nm e um torque máximo a fim de não danificar os grãos (τ_{\max}) de 11 Nm.

Além disso, define-se uma rotação necessária de 450 rpm para o descascador com o intuito de otimizar o processo realizado hodiernamente com uma frequência de 45 rpm no eixo da moenda. Considerou-se, também, para definição da rotação a ser fornecida para o descascador, os testes realizados para um descascador de café automatizado que avaliam uma rotação eficaz de 480 rpm (MENDONÇA, B., 2018).

Diante do exposto se estima a potência demandada para o motor por meio da equação (4).

$$P = \tau\omega \quad (4)$$

Onde τ diz respeito ao torque e ω à velocidade angular (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K., 2016).

Utiliza-se o valor de 5 Nm para o torque com o intuito de otimizar o funcionamento do equipamento e, simultaneamente, distanciar-se do limite máximo com segurança para não danificar os grãos. Substitui-se os valores definidos na equação (4), adequando as unidades de medida conforme conveniência, assim a potência estimada é de 235,62 W o equivalente a, aproximadamente, 0,32 cv.

Por meio da análise dos catálogos de motores trifásicos disponibilizados pela empresa Werner Eggon Geraldo (WEG), obteve-se as especificações expostas na Tabela 11 para o motor adotado no projeto do descascador (WEG, 2022).

Tabela 11 - Motor trifásico escolhido para o descascador

Potência		Fator de Serviço	Torque (Nm)	RPM	Corrente Nominal	Dimensão L
kW	HP				ln (A)	mm
0,25	0,33	1,25	1,371	1690	0,772	227,5 – 246,5

Fonte: WEG (2022).

Uma vez escolhido o motor para aplicação é possível dimensionar as polias a fim de obter resultados que proporcionarão o funcionamento do projeto.

Os procedimentos de aplicação das fórmulas, tabelas e gráficos utilizados para dimensionamento das polias basearam-se no livro Elementos de Máquinas Shigley 10ª edição, além disso utilizou-se o livro Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas: Uma perspectiva de prevenção conta a falha de Jack Collins, para confirmar a viabilidade de aplicação com os valores obtidos (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K., 2016; COLLINS, J. A. et al 2006).

Inicialmente, define-se a relação de transmissão entendida como a magnitude da razão entre as velocidades. É interessante encontrar um baixo valor de relação de transmissão com o intuito de que o equipamento seja o mais compacto possível.

Nesse contexto, a relação de transmissão, (i), é dada pela equação (5).

$$i = \frac{N_1}{N_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (5)$$

Onde N_1 é a rotação no eixo do motor, N_2 , no eixo da moenda, d_1 é o diâmetro da polia motora e d_2 é o diâmetro da polia movida.

Em seguida se decide o fator de serviço (K_S) com o intuito de determinar a potência efetiva. Nesse contexto, deve-se analisar o intervalo para características normais de torque e choque leve. Inclui-se a Tabela 12 com as faixas de valor padrão para fatores de serviços em condições de aplicação diversas.

Tabela 12 - Fatores de Serviço K_s para transmissões por correias em V

	<i>Fonte de Potência</i>	
	<i>Característica normal de torque</i>	<i>Torque Alto ou Não Uniforme</i>
<i>Uniforme</i>	1,0 a 1,2	1,1 a 1,3
<i>Choque leve</i>	1,1 a 1,3	1,2 a 1,4
<i>Choque médio</i>	1,2 a 1,4	1,4 a 1,6
<i>Choque intenso</i>	1,3 a 1,5	1,5 a 1,8

Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

O próximo passo consiste em estimar a potência de projeto definida pela equação (6).

$$H_d = H_{nom} K_S n_d \quad (6)$$

Onde H_{nom} representa a potência nominal e n_d é o fator de projeto.

Os resultados obtidos até essa etapa foram compilados na Tabela 13 com o intuito de facilitar o entendimento das próximas decisões de projeto.

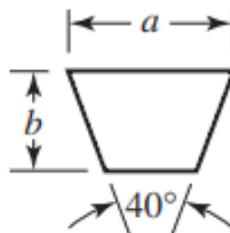
Tabela 13 – Resultados obtidos de parâmetros importantes no dimensionamento das polias

Relação de transmissão (i)	3,76
Fator de Serviço (K_S)	1,25
Potência de Projeto (H_d)	0,4125 HP

Fonte: Elaboração própria

Com base nos resultados obtidos para potência e tendo em vista a rotação do motor do projeto optou-se pelo tipo A como perfil da correia em V. Para caracterizar o perfil escolhido insere-se a Figura 57 e a Tabela 14.

Figura 57 - Seção de Correia em V



Fonte: Adaptada BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

Tabela 14 – Seção A de correia em V padronizada

Seção de Correia	Largura a	Espessura b	Diâmetro mínimo de roldana	Intervalo de kW
	mm	Mm	Mm	
A	12	8,5	75	0,2 – 7,5

Fonte: Adaptada BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

De acordo com as relações entre o sistema de diâmetro mínimo recomendado e o tipo da correia, conforme adotado pela International Standards Organization (ISO) e pela Rubber Manufactures Association, o diâmetro mínimo da polia menor deve ser de, aproximadamente, 76 mm (COLLINS, J. A. et al 2006).

Deste modo, define-se um valor para o diâmetro da polia movida e, a partir da relação de transmissão obtém-se o diâmetro da polia motora.

Além disso, a fim de otimizar o funcionamento de correias em V deve-se manter a velocidade linear entre 7,62 e 33,02 [m/s] (COLLINS, J. A. et al 2006).

A velocidade da correia é dada pela equação (7).

$$V = \pi dn \quad (7)$$

O valor se encontra dentro dos limites da faixa aceitável e é viável por se aproximar do extremo de velocidade inferior. Assim, o comprimento primitivo L_p e a distância de centro a centro C são dados, respectivamente, pelas equações (8) e (9) (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K., 2016).

$$L_p = 2C + \pi (d_2 + d_1)/2 + (d_2 - d_1)^2/(4C) \quad (8)$$

$$C = 0,25 \left\{ \left[L_p - \frac{\pi}{2} (d_2 + d_1) \right] + \sqrt{\left[L_p - \frac{\pi}{2} (d_2 + d_1) \right]^2 - 2 (d_2 - d_1)^2} \right\} \quad (9)$$

Acerca da distância entre os centros para correias em V não são utilizados valores altos já que estes encurtam a vida da correia. Conforme recomendado, a distância entre centros deve ser simultaneamente maior que o diâmetro da maior roldana e menor do que o triplo da soma dos diâmetros das roldanas (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K., 2016).

Deste modo, para o presente projeto vale o intervalo destaca na expressão (10).

$$376mm < C < 1428mm \quad (10)$$

Determina-se, dentro desse intervalo, uma medida conveniente para a distância entre os centros e, a partir desse valor, se utiliza a equação (8) para determinar o comprimento da correia.

A Tabela 15 expõe circunferências internas de correias padronizadas em V. Respaldo-se nas informações tabeladas opta-se por uma correia com circunferência interna próxima à estimada. Além disso, para seção de correia em A, soma-se ao valor obtido 32mm pois os cálculos para comprimento da correia são fundados no comprimento primitivo.

Tabela 15 - Circunferências Internas Padronizadas de Correias em V

Seção	Circunferência <i>mm</i>
A	650, 775, 825, 875, 950, 1050, 1150, 1200, 1275, 1325, 1425, 1500, 1550, 1600, 1650, 1700, 1775, 1875, 1950, 2000, 2125, 2250, 2400, 2625, 2800, 3000, 3200.

Fonte: Adaptada de BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

Finalmente, a distância entre centros é corrigida operando a equação (11).

$$C = C_{calc.} - \frac{L_{calc.} - L_{tab.}}{2} \quad (11)$$

Onde $C_{calc.}$ diz respeito à distância entre centros calculada anteriormente, $L_{calc.}$ refere-se ao valor obtido para o comprimento da correia e $L_{tab.}$ ao número padronizado de comprimentos de correias em V para seção A.

O intuito agora é determinar o número de correias utilizadas para o projeto. Uma vez que a correia opere em condições distintas adapta-se o valor tabelado de potência nominal ($H_{tab.}$) da maneira definida pela igualdade (12).

$$H_a = K_1 K_2 H_{tab.} \quad (12)$$

De modo que H_a trata-se da potência admissível por correia, K_1 refere-se ao fator de correção do ângulo de abraçamento e K_2 ao fator de correção de comprimento da correia.

O fator de correção do ângulo de contato é tabelado e dependerá do ângulo de abraçamento. Nota-se na Tabela 16 alguns valores recomendados de K_1 para correias em V.

Tabela 16 - Fator de correção do ângulo de contato para transmissão por correias em V

θ , Graus	K_1
180	0,75
174,3	0,76
166,5	0,78
162,7	0,79
156,9	0,80

Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

O ângulo de abraçamento é estimado por meio da expressão (13).

$$\phi = \theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{d_2 - d_1}{2C}\right) [\text{rad}] = 180 - \frac{d_2 - d_1}{C} * 60 [\text{graus}] \quad (13)$$

Por outro lado, o fator de correção da correia depende do perfil, já definido pela seção A, e do comprimento da correia. Inclui-se a Tabela 17 que apresenta os fatores de comprimento definidos para diferentes comprimentos nominal das correias de seção A.

Tabela 17 - Fator de correção para comprimento de correia

Fator de comprimento	Comprimento nominal da correia de seção A, metros
0,85	até 0,88
0,90	0,95 – 1,15
0,95	1,2 – 1,38
1,00	1,5 – 1,88
1,05	1,95 – 2,25
1,10	2,4 – 2,8
1,15	acima de 3,0

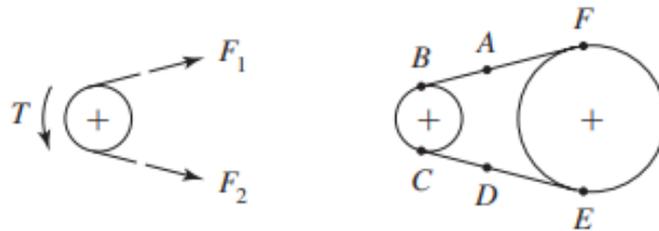
Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

Efetivamente pode-se então estimar a potência admissível por correia por meio da expressão (12). E, finalmente, estimar o número de correias necessárias através da relação entre a potência de projeto e a potência admissível por correia, em conformidade com a equação (14).

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a} \quad (14)$$

A última etapa para dimensionamento das correias refere-se ao cálculo das trações máxima (F_1) e mínima (F_2), a atuação destas é compreendida analisando-se a Figura 58.

Figura 58 - Trações atuantes nas correias em V



Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

A fim de obter variáveis relevantes para estimas tais trações calcula-se a tração centrífuga (F_c) em libras força por meio da equação (15).

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{1000} \right)^2 \quad (15)$$

Onde K_c é um parâmetro dependente da seção da correia e advém da Tabela 18.

Tabela 18 - Parâmetro de correias em V em função de sua seção

Seção da correia	K_c
A	0,561
B	0,965
C	1,716
D	3,498
E	5,041

Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K., 2016 *apud* GATES RUBBER CORPORATION.
(2016)

Além disso, sabe-se que a potência transmitida por correia é baseada no valor da diferença entre a tração máxima e a mínima, ΔF , cujo equivalente numérico pode ser extraído da equação (16).

$$\Delta F = \frac{H_d/N_b}{\pi n d} = F_1 - F_2 \quad (16)$$

A tração máxima é dada pela equação (17).

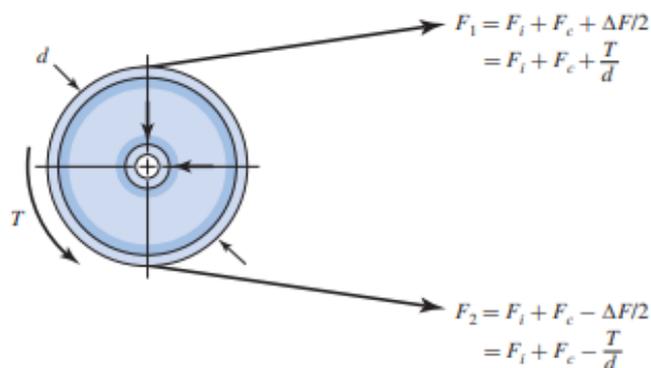
$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F \exp(f\phi)}{\exp(f\phi) - 1} \quad (17)$$

Enquanto a mínima tração é facilmente deduzida pela equação de variação das forças (ΔF), basta substituir as variáveis obtidas na equação (18).

$$F_2 = F_1 - \Delta F \quad (18)$$

Além disso, com a Figura 59, extraída da 10ª edição de Elementos de Máquinas de Shigley, pode-se calcular o valor numérico da tração inicial, F_i , por meio da equação (19) (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K., 2016).

Figura 59 - Forças e torques em polias



Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

$$F_i = \frac{F_1 + F_2}{2} - F_c \quad (19)$$

É válido calcular o fator de segurança para assegurar um valor desejado para prevenir incertezas, determina-se tal fator (n_{fs}) por meio da equação (20).

$$n_{fs} = \frac{H_a N_b}{H_{nom} K_S} \quad (20)$$

Finalmente, estima-se o tempo de vidas em horas dado pela expressão (21).

$$t = \frac{N_p L_p}{3600} \quad (21)$$

Em que N_p é o número de voltas representado pela equação (22).

$$N_p = \left[\left(\frac{K}{T_1} \right)^{-b} + \left(\frac{K}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1} \quad (22)$$

Onde define-se T_1 e T_2 como um somatório da força F_1 com a tração correspondente na correia causada pela flexão. Além disso, K e b são os parâmetros de durabilidade definidos na Tabela 19.

Além disso, para determinar T_1 e T_2 adota-se o seguinte procedimento exposto nas equações (23) e (24).

$$T_1 = F_1 + \frac{K_b}{d_1} \quad (23)$$

$$T_2 = F_1 + \frac{K_b}{d_2} \quad (24)$$

No presente contexto, K_b é dado na Tabela 19 conforme a seção da correia.

Tabela 19 – Alguns parâmetros para correias em V de seção A

Seção de correia	K	b	K_b
A	2999	11,089	24

Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

Caso o valor numérico de N_p seja maior do que o limite válido para equação o tempo de vida, t , em horas é dado pela equação (25).

$$t > \frac{N_p L_p}{3600 * V} \quad (25)$$

Vale ressaltar que todos os cálculos efetuados nessa seção foram realizados com auxílio do *Software Excel*. E o passo a passo da aplicação das equações está devidamente detalhado no tópico 6.2 – Apêndice 2 (*SOFTWARE EXCEL*, 2019).

De acordo com os procedimentos realizados os valores definidos para o conjunto proposto foram compilados na Tabela 20 para facilitar a visualização das características do projeto.

Tabela 20 - Saída de dados - Conjunto Proposto para o descascador

Modelo da correia conforme catálogo SKF	PHG A110
Seção	A
Diâmetro da polia menor, d_1	100 mm
Diâmetro da polia maior, d_2	376 mm
Velocidade da correia, V	8,85 m/s
Distância entre os centros calculada, C_{calc} .	1000 mm
Comprimento calculado, L_p	2766,75 mm
Comprimento tabelado, L_{tab}	2830 mm
Distância entre os centros corrigida, C	967,38 mm
Ângulo de abraçamento, ϕ	162,87 graus
Potência Admissível por correia, H_a	1,00804 HP
Número de Correias	1
Tração máxima, F_1	42,39 N
Tração mínima, F_2	7,63 N
Fator de Segurança, n_{fs}	2,45
Tempo de vida em horas, t	$t > 1,004 * 10^6$ horas

Fonte: Elaboração própria

Dimensionamento dos eixos

A análise seguinte diz respeito ao dimensionamento do eixo do motor. É definido o material utilizado no eixo bem como realizada a análise de esforços atuantes no eixo do motor a fim de determinar seu diâmetro e evitar possíveis defeitos quanto à ruptura do eixo.

Existe uma variedade de materiais para confecção de eixos. Analisando as condições de serviço e custos de fabricação opta-se, inicialmente, pela utilização de um aço com alta disponibilidade comercial e usinabilidade, o aço AISI 1050 estirado a frio cujas propriedades principais foram compiladas na Tabela 21.

Tabela 21 - Propriedades do material escolhido para o eixo

Material	AISI 1050 estirado a frio
Limite de escoamento (<i>MPa</i>)	690
Limite de resistência à tração (<i>MPa</i>)	580
Módulo de elasticidade (<i>GPa</i>)	205

Fonte: MATWEB (2022).

Para definir os esforços atuantes no eixo do motor estima-se a força resultante atuando na polia conforme exposto na equação (26).

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos(180 - \phi)} \quad (26)$$

Assumindo que o eixo possui 150 *mm* de comprimento, (L_{eixo}), aproximadamente a dimensão longitudinal do eixo do descascador. Então, o momento fletor máximo atuante no eixo do motor é dado pela equação (27).

$$M_{m\acute{a}x} = F_R * L_{eixo} \quad (27)$$

Utiliza-se os procedimentos sugeridos em Elementos de Máquinas, em sua 10ª edição, com o intuito de dimensionar o eixo por tensão. Assumindo o eixo com seção transversal

circular, sólido, estima-se as tensões devido à flexão e torção por meio das equações (28) e (29) (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K., 2016.)

$$\sigma = \frac{32M_{m\acute{a}x}}{\pi d^3} \quad (28)$$

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (29)$$

Onde σ é a tensão devido ao momento fletor, τ é a tensão de cisalhamento devido à torção, $M_{m\acute{a}x}$ diz respeito ao momento fletor máximo, d refere-se ao diâmetro do eixo e T ao torque do eixo. Conforme exposto na Tabela 11, o torque no eixo do motor é de 1,371 Nm.

A tensão máxima de cisalhamento pode ser determinada pelo círculo de Mohr ou, no atual cenário, através da expressão (30).

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (30)$$

A teoria da tensão de cisalhamento máxima prediz escoamento na situação descrita pela equação (31).

$$\tau_{m\acute{a}x} \geq \frac{S_y}{2} \quad (31)$$

Onde S_y refere-se ao limite de escoamento do material.

O diâmetro mínimo do eixo circular pode ser obtido por meio da expressão (32) (ANDRADE, A. S., 2022).

$$d \geq 2,17 * \sqrt[3]{b \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{adm}}} \quad (32)$$

Onde b é o fator de forma, σ_{adm} é a tensão admissível do material obtida pela equação (33).

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{escoamento}}{FS} \quad (33)$$

Onde $\sigma_{escoamento}$ é o limite de escoamento do material e FS , o fator de segurança.

Compilou-se os cálculos referentes ao dimensionamento do eixo motor no tópico 6.3, referente ao apêndice 3. Pode-se estudar os resultados obtidos na Tabela 22.

Tabela 22 - Resultado obtidos no dimensionamento do eixo motor do descascador

Força resultante (F_r)	49,13 N
Momento fletor máximo ($M_{m\acute{a}x}$)	7,46 Nm
Tensão devido ao momento fletor (σ)	75,9 MPa
Tensão de cisalhamento (τ)	6,98 Mpa
Tensão máxima de cisalhamento ($\tau_{m\acute{a}x}$)	38,63 MPa
Diâmetro mínimo do eixo ($d_{m\acute{i}n}$)	6,5 mm

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que a tensão máxima de cisalhamento é menor do que a metade do limite de escoamento do material. A tensão de admissível do material é maior do que a tensão estimada do eixo comprovando a adequação do material de fabricação optado e o diâmetro mínimo exigido para o eixo confirma a viabilidade do diâmetro escolhido. Deste modo, considera-se a escolha do material adequada e as características finais do eixo do descascador são descritas na Tabela 23.

Tabela 23 - Saída de dados – conjunto proposto para o eixo motor do descascador

Material	Aço AISI 1050 estirado a frio
Diâmetro do eixo (d)	10 mm
Comprimento	150 mm
Diâmetro da polia maior, d_2	376 mm

Fonte: Elaboração própria

Para o eixo da moenda, o mesmo eixo no qual está posicionada a polia movida, foi realizado procedimento com o intuito de evidenciar os esforços atuantes neste eixo. Conforme pode-se notar na Figura 60, obtida com suporte do *Software Ftool*, inseriu-se os valores adequados posicionando os esforços aos quais o eixo está submetido bem como seus apoios (*SOFTWARE FTOOL*, 2017).

Vale ressaltar que o estudo de esforços no eixo do descascador não foi aprofundado pois não há necessidade de dimensioná-lo. Assim, inclui-se esse trecho com a simples intenção de destacar as forças atuantes.

Figura 60 - Diagrama de Esforços no Eixo do descascador

Fonte: Elaboração própria

Os apoios inseridos no diagrama de corpo livre dizem respeito aos suportes laterais do descascador sobre os quais o eixo está apoiado. Nota-se, posicionada na metade da distância entre os apoios, uma força de 59,1 N. Essa força diz respeito à força que os grãos no compartimento de admissão completamente cheio exercem sobre o eixo, o cálculo para obtê-la está discriminado na equação (3).

Com relação à força e ao torque posicionados ao final do eixo foram obtidos da mesma forma que para o eixo do motor e dizem respeito ao momento e à força resultante gerada pela polia movida. Além disso, deve-se lembrar que o eixo possui torque de 5 Nm.

Deste modo, após adicionar os esforços aos quais o eixo está submetido, inseriu-se, no *Software Ftool*, os valores e formatos adequados para geometria e material. Obtendo os

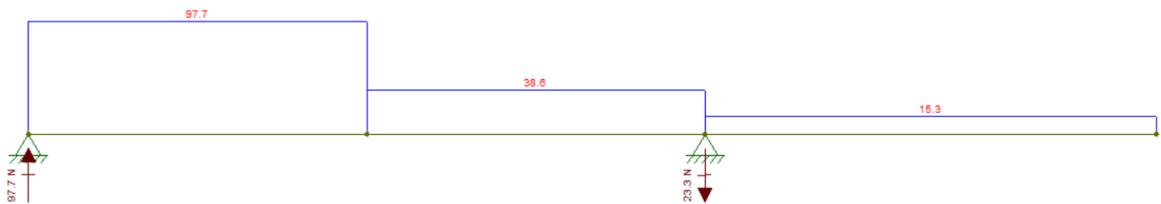
seguintes resultados de diagrama de forças e momento fletor resultante expostos na Figura 61, na Figura 62 e na Figura 63 (*SOFTWARE FTOOL*, 2017).

Figura 61 - Determinação das reações dos Apoios



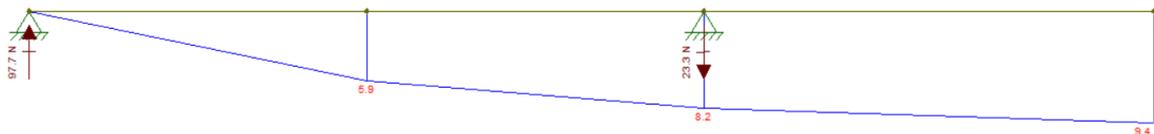
Fonte: Elaboração própria

Figura 62 - Determinação dos Esforços



Fonte: Elaboração própria

Figura 63 - Determinação do Momento Fletor



Fonte: Elaboração própria

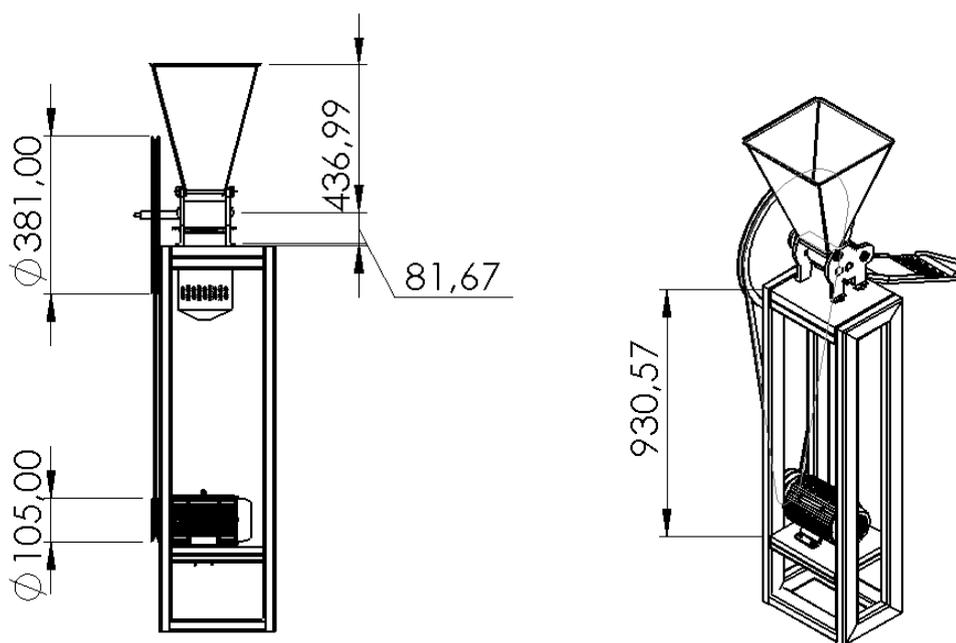
Dimensões finais do equipamento descascador

Inclui-se a Figura 64 com o intuito de evidenciar as dimensões finais do equipamento descascador e de sua mesa de suporte.

Observa-se que a altura da máquina aumenta na proporção em que se aumenta a altura do sistema de admissão. Além disso, os diâmetros destacados referem-se aos diâmetros externos das polias.

A distância entre a superfície que suporta o motor e a outra, que comporta o descascador, pode ser verificada, aproximadamente, subtraindo da distância entre os centros a altura do furo do eixo da moenda e somando o raio externo da polia motora.

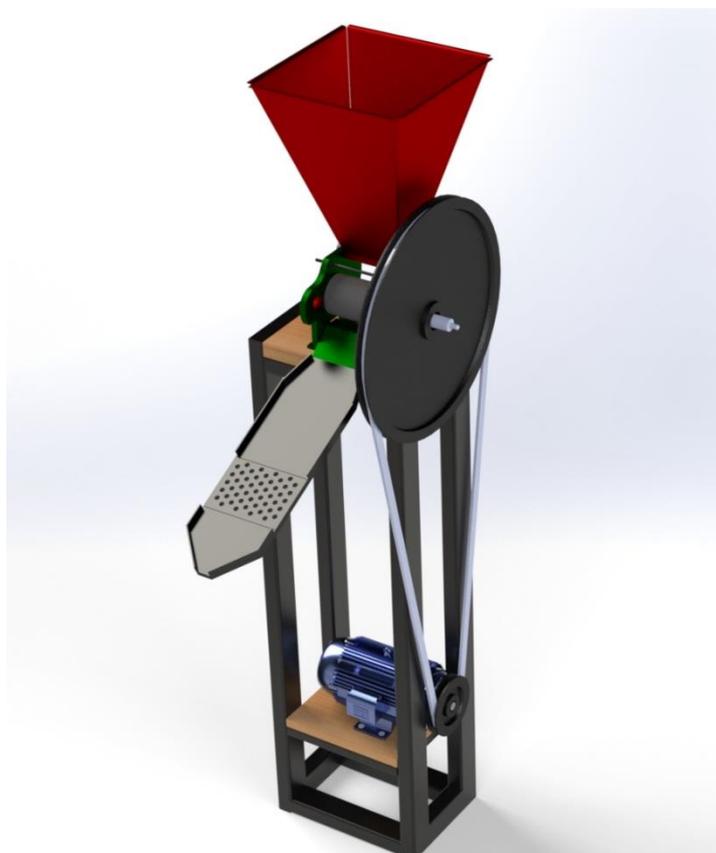
Figura 64 - Dimensões do equipamento descascador e do respectivo suporte



Fonte: Elaboração própria

A Figura 65, obtida com auxílio do *Software SolidWorks Visualize*, expõe a concepção final do descascador com maiores detalhes (*SOFTWARE SOLIDWORKS [2], 2022*).

Figura 65 - Concepção final descascador



Fonte: Elaboração própria

3.2.2.2 Separador dos grãos e cascas

No que tange ao dimensionamento do separador é fundamental distinguir as principais condições para que as cascas sejam removidas e os grãos sigam o percurso da rampa inclinada para o torrador. Assim, faz-se necessário determinar parâmetros iniciais de área projetada, massa e velocidade terminal das partículas envolvidas.

Em princípio, certifica-se de que são escolhidas para estudo as cascas que demandariam maior velocidade terminal para remoção com o propósito de garantir a flutuação das mesmas e prevenir possíveis impurezas misturadas aos grãos no final do procedimento.

Do mesmo modo, opta-se pela utilização dos grãos que apresentariam menor velocidade terminal com a intenção de impedir que sejam carregados pela corrente ascendente de ar. Para escolher adequadamente os grãos e cascas utilizados estuda-se o valor de suas áreas projetadas e, também, sua massa. Utilizando o *Software MatLab* e uma balança de precisão (*SOFTWARE MATLAB*, 2022).

O próximo passo de estudo inclui a determinação experimental da velocidade terminal dos grãos e, também, das cascas. Segundo Sandra Maria Couto, em sua obra em 2002, afirma que comumente determina-se a velocidade terminal de um material através da determinação da velocidade para flutuação do corpo em um fluxo de ar ascendente conhecido ou através da aferição da velocidade do corpo em queda livre no ar (COUTO, S. M. et al, 2022).

Neste procedimento, estima-se a velocidade, para flutuação das cascas e dos grãos, por meio de um experimento de gravação em vídeo. Através de ferramentas, acessíveis no *Software Tracker - Video Analysis and Modeling Tool*, serão determinados os posicionamentos verticais das partículas, consideradas pontos materiais, em função do tempo. (*SOFTWARE TRACKER*, 2022).

Para esse procedimento baseou-se em alguns trabalhos que utilizaram previamente o *Software Tracker - Video Analysis and Modeling Tool* com o intuito de determinar velocidade terminal. Pode-se incluir, nesse contexto, as análises realizadas por Thammarrong Eadkong, Pedro H. Evers e Gunnary León Finalé (EADKONG, T. et al, 2020; EVERS, P. H. et al, 2019 e FINALÉ, G. L., 2016).

Em seguida utilizar-se-á os dados de trajetória obtidos como entrada no *Software SciDAVis*. São construídos gráficos de posição vertical, em função do tempo, para cada partícula e geradas curvas aproximadas nos intervalos de velocidade constante. Dessa forma, determina-se a velocidade terminal (*SOFTWARE SciDAVis*, 2017).

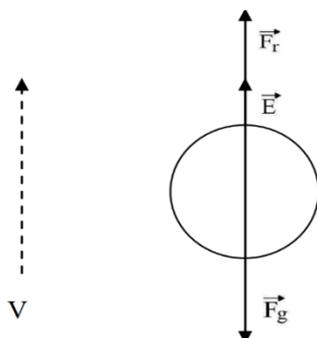
A etapa seguinte contemplará a definição da velocidade de ar do projeto. Tal velocidade será simultaneamente maior do que a velocidade terminal das cascas e menor do que a dos grãos de café. Opta-se, então, pela seção da coluna de separação mais conveniente e expõem-se as condições do regime de escoamento.

Por fim, apresenta-se as características finais do dimensionamento do separador. No final dessa seção incluem-se considerações acerca do compartimento posicionado para coletar as cascas na saída da tubulação.

Seleção das cascas e grãos utilizados no experimento

Decide-se quais cascas e grãos são selecionados para estudo ao considerar as forças atuantes sobre os corpos expostos à corrente de ar ascendente. Nesse contexto, observa-se a atuação de três tipos de forças: força gravitacional, força de empuxo do ar e força de arrasto. Para melhor elucidação do sentido e direção das forças inclui-se a Figura 66.

Figura 66 - Forças atuantes em uma partícula sujeita à corrente de ar ascendente



Fonte: Adaptada de MARCOLAN, A. L.; ESPÍNDULA, M. C. (2015).

Para definir a velocidade terminal deve-se lembrar que esta é dada quando as forças previamente discorridas se encontram em equilíbrio e, portanto, a velocidade da partícula mostra-se constante. Assim, o equilíbrio das forças em destaque é representado pela expressão (34).

$$\vec{F}_r = \vec{F}_g - \vec{E} \quad (34)$$

Substitui-se as forças na equação (34), conforme recomendado por Yunus Çengel em sua obra Mecânica dos Fluidos, obtendo a expressão (35) (CIMBALA, J.; ÇENGEL, Y. A., 2015).

$$\frac{C_d \rho_f A_p V_t^2}{2} = m g \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p} \quad (35)$$

Onde C_d é o coeficiente de arrasto, adimensional; ρ_f e ρ_p são a massa específica do fluido e da partícula [$kg\ m^{-3}$]; m é a massa da partícula [kg]; g , a aceleração da gravidade [ms^{-2}]; A_p , a área projetada da partícula [m^2] e V_t é a velocidade terminal [ms^{-1}].

Deste modo, a velocidade terminal é dada pela equação (36).

$$V_t = \sqrt{\frac{2mg(\rho_p - \rho_f)}{\rho_p \rho_f A_p C_D}} \quad (36)$$

Ou seja, com o intuito de garantir o funcionamento do separador, escolhe para análise as cascas que apresentarão maior velocidade terminal ou seja, àquelas que aparentam ter maior massa e menor área projetada.

Para os grãos o raciocínio é análogo. Deseja-se optar pelos corpos de prova com menor velocidade terminal a fim de garantir que nenhum grão será carregado pela corrente ascendente de ar. Assim, escolhe se utilizar os grãos mais fragmentados, com menor massa.

Determinação da área projetada e da massa das cascas e dos grãos

Após escolher seis cascas e seis grãos, prossegue-se com a determinação de suas áreas projetadas. As porções selecionadas podem ser observadas na Figura 67.

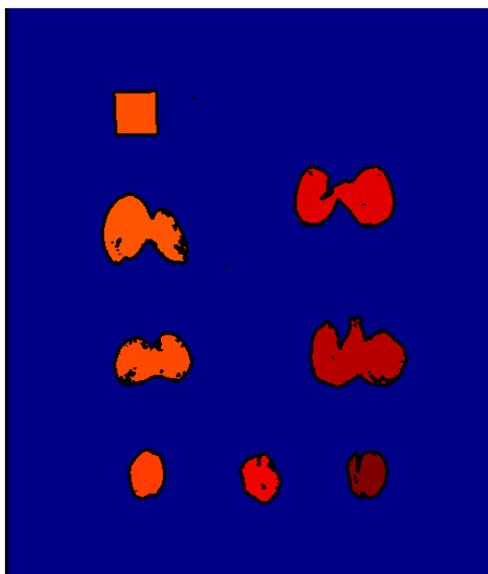
Figura 67 – Cascas e grãos de café selecionadas



Fonte: Elaboração própria

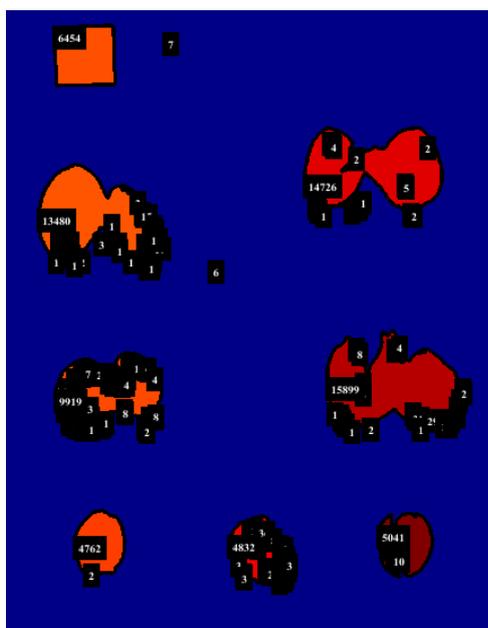
A partir das imagens destacadas na Figura 67, construindo uma geometria de referência a partir da folha milimetrada, utilizou-se o código, incluído no tópico 6.4, do *Software MatLab* para determinar as áreas desejadas. Obteve-se as imagens expostas na Figura 68 e na Figura 69 para as cascas. Já na Figura 70 e na Figura 71 pode-se analisar os resultados para os grãos de café (*SOFTWARE MATLAB, 2022*).

Figura 68 - Imagem das cascas obtida via MatLab



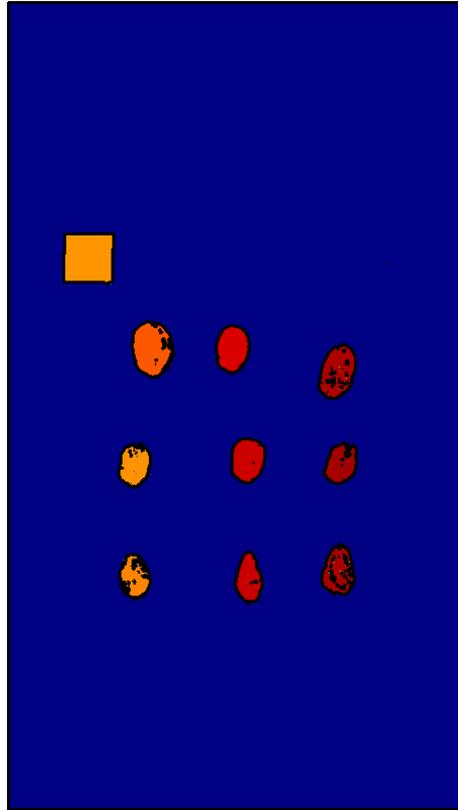
Fonte: Elaboração própria

Figura 69 - Área das cascas obtida via MatLab



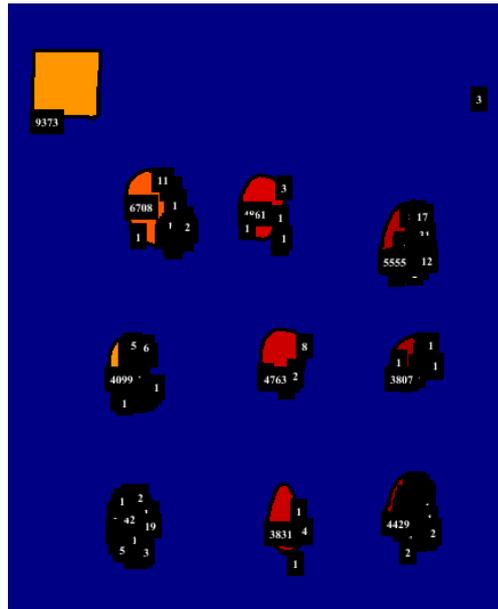
Fonte: Elaboração própria

Figura 70 - Imagem dos grãos obtida via MatLab



Fonte: Elaboração própria

Figura 71 - Área dos grãos obtida via MatLab



Fonte: Elaboração própria

Prossegue-se a pesquisa com os seis menores resultados para as cascas e os seis maiores para os grãos. Nota-se, portanto, os seguintes valores de área devidamente discriminados em ordem crescente na Tabela 24.

Tabela 24 - Áreas obtidas com auxílio do Software MatLab

	Área das Cascas [pixels]	Área dos Grãos [pixels]
1	14726	6708
2	13480	5555
3	9919	4861
4	5041	4763
5	4932	4429
6	4832	4099
Média	8821,67	5069,17

Fonte: Elaboração própria

Dividindo a área média pelo valor encontrado em pixels para cada geometria de referência descobre-se a área das partículas em cm^2 conforme descrito nas equações (37) e (38).

$$A_{cascas} = \frac{8821,67}{6454} = 1,37 \text{ cm}^2 \quad (37)$$

$$A_{grãos} = \frac{5069,17}{9373} = 0,54 \text{ cm}^2 \quad (38)$$

Onde A_{cascas} representa a área das cascas e $A_{grãos}$, a área dos grãos.

Para estimar a massa média dos corpos foi utilizada uma balança digital de bolso e alta precisão modelo MH-200 (200g/0,01g). Pode-se averiguar na Figura 72 e na Figura 73 os valores estimados para a massa, em gramas, das cascas e dos grãos respectivamente.

Figura 72 - Somatório de peso das seis cascas escolhidas para estudo



Fonte: Elaboração própria

Figura 73 - Somatório de peso dos seis grãos escolhidos para estudo



Fonte: Elaboração própria

O resultado obtido é satisfeito pelas equações (39) e (40).

$$m_{cascas} = \frac{\sum_{i=1}^6 m_i^{cascas}}{6} = \frac{0,73}{6} = 0,122 \text{ g} \quad (39)$$

$$m_{grãos} = \frac{\sum_{i=1}^6 m_i^{grãos}}{6} = \frac{0,84}{6} = 0,14 \text{ g} \quad (40)$$

Tais massas serão utilizadas como dados de entrada para determinar as velocidades terminais. Para realização do experimento, escolheu-se quatro cascas e quatro grãos com base nos valores obtidos de área projetada e massa para cada um.

Determinação da trajetória das partículas e de suas velocidades terminais

O próximo passo consiste na utilização do *Software Tracker - Video Analysis and Modeling Tool* para demarcar a posição dos grãos e cascas, considerados pontos materiais (*SOFTWARE TRACKER*, 2022).

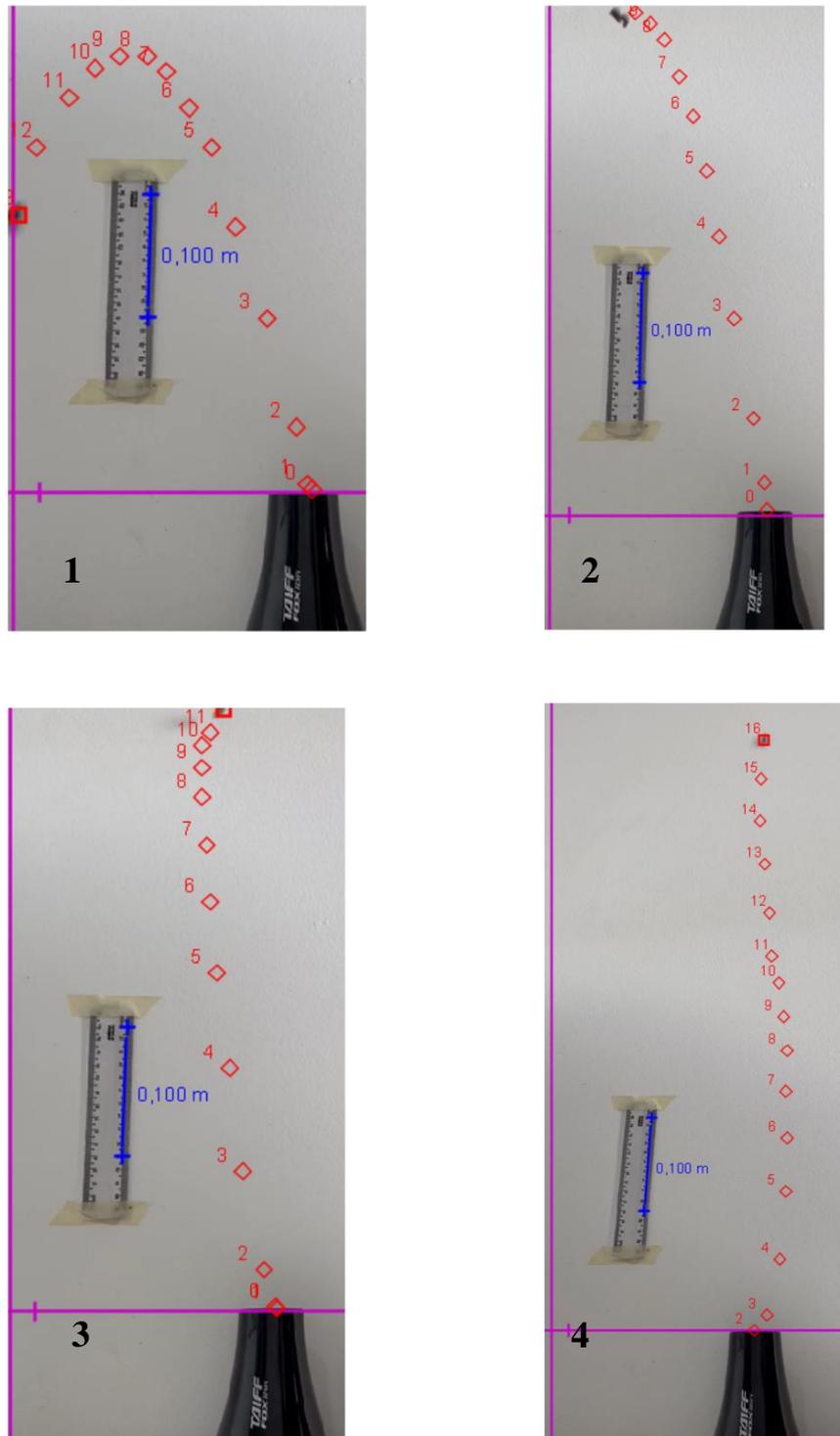
Vale ressaltar a observação da fixação da câmera de gravação, em um suporte, para que seu movimento não influenciasse nos resultados do experimento. Além disso, optou-se por realizar as filmagens em ambiente claro com fundo branco a fim de facilitar a visualização do movimento dos corpos.

Com os mesmos corpos utilizados na etapa anterior para determinar as massas e, posicionando as amostras de cascas e grãos de café da Fazenda Caxambu em uma corrente ascendente de ar, gerada por um secador de cabelo, gravou-se vídeos de trajetórias diversas variando as partículas.

Em princípio será apresentado o procedimento para as cascas e, posteriormente, o processo análogo para os grãos. Destaca-se que a determinação dos pontos de trajetória é manual, aproveita-se o centro de massa de cada corpo como referência.

As trajetórias obtidas para as cascas podem ser observadas na Figura 74.

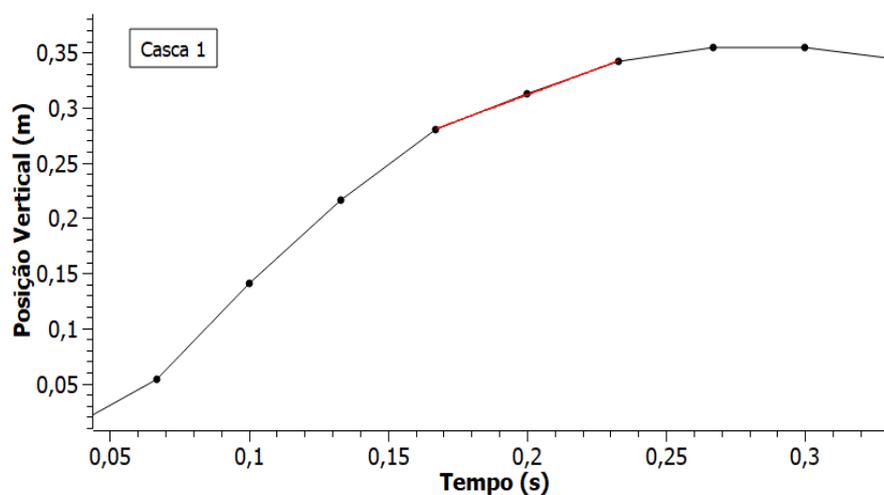
Figura 74 - Trajetória automática definida pelo Tracker para as quatro cascas de café



Fonte: Elaboração própria

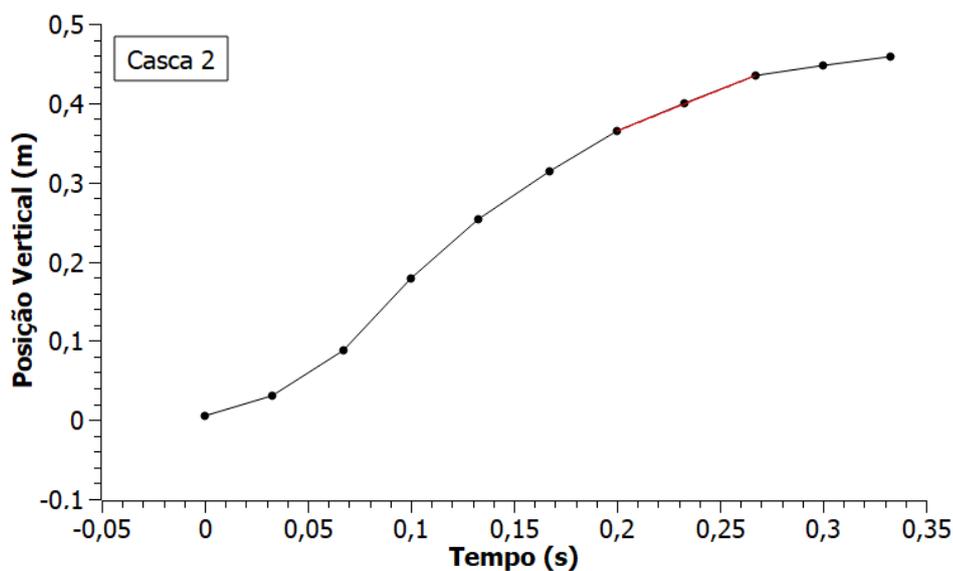
Com base nessa trajetória, insere-se os dados de posição em função do tempo, no *Software SciDAVis*, para favorecer a análise dos dados com gráficos de melhor qualidade. As relações de posição vertical em função do tempo obtidas para as cascas 1, 2, 3 e 4 estão, respectivamente, em evidência na Figura 75, na Figura 76, na Figura 77 e na Figura 78 (*SOFTWARE SciDAVis*, 2017).

Figura 75 - Posição no eixo Y em função do tempo para a casca 1



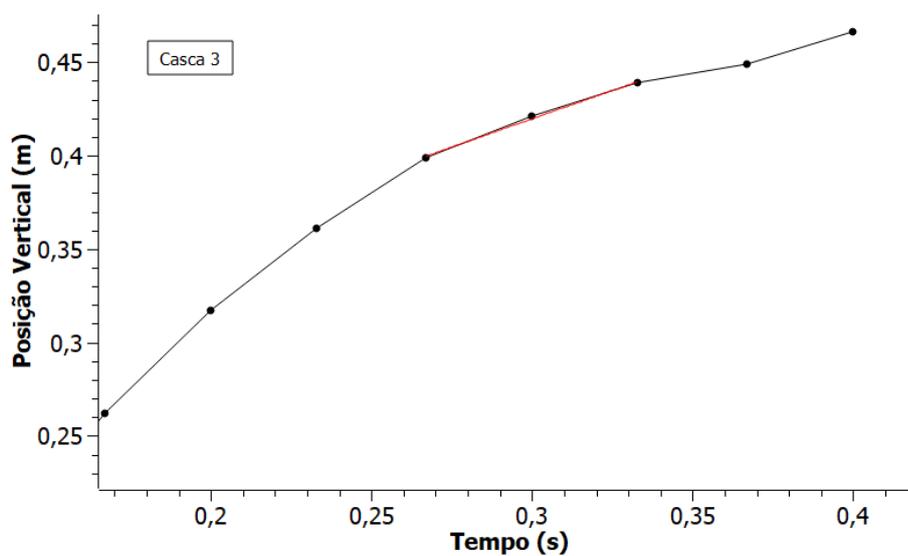
Fonte: Elaboração própria

Figura 76 - Posição no eixo Y em função do tempo para a casca 2



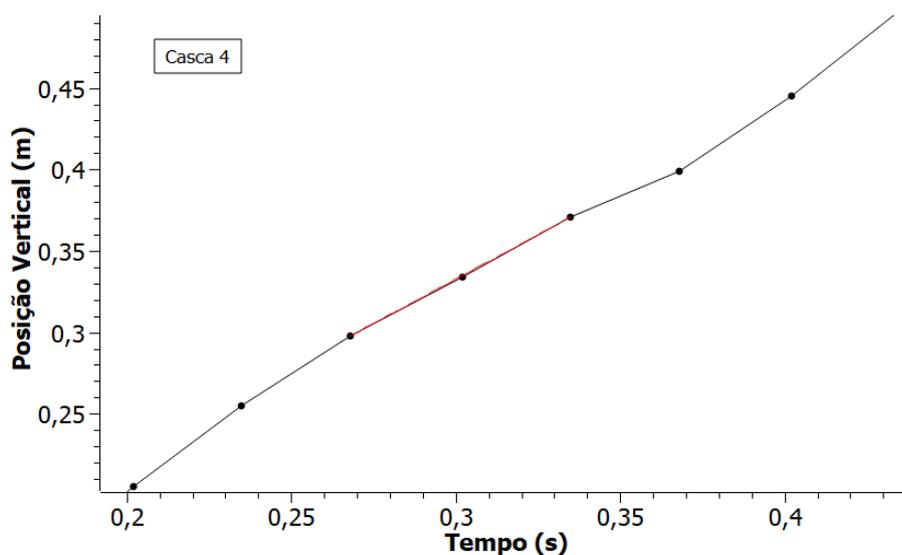
Fonte: Elaboração própria

Figura 77 - Posição no eixo Y em função do tempo para a casca 3



Fonte: Elaboração própria

Figura 78 - Posição no eixo Y em função do tempo para a casca 4



Fonte: Elaboração própria

A partir de cada gráfico e, entendendo o conceito de velocidade terminal, investiga-se os trechos com velocidade constante aproximando uma função dos intervalos de interesse. Dessa determinação, obteve-se as velocidades terminais expostas na Tabela 25.

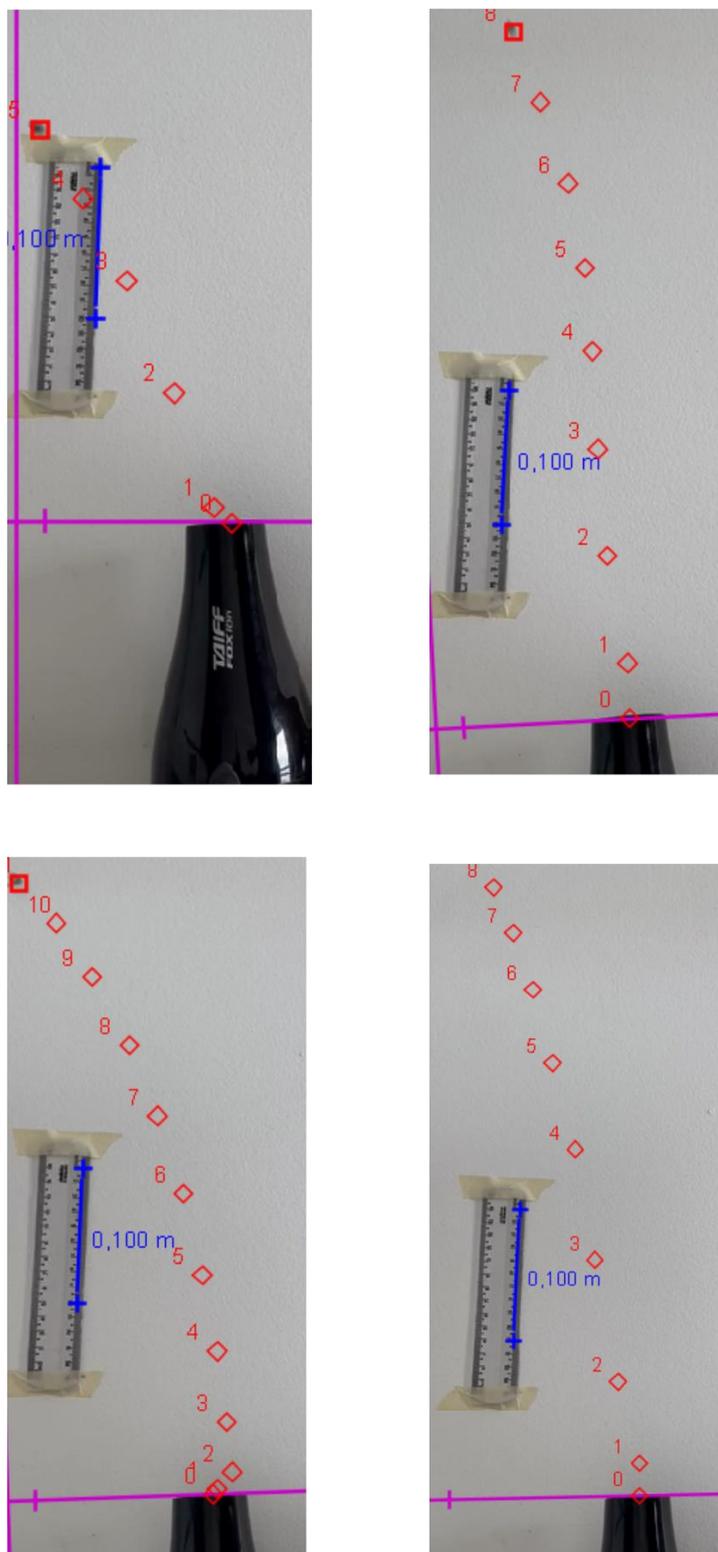
Tabela 25 - Valores obtidos experimentalmente para velocidade terminal das cascas

Casca	Velocidade terminal obtida experimentalmente (<i>m/s</i>)
1	0,84
2	1,04
3	0,60
4	1,06
Média	0,885

Fonte: Elaboração própria

Analogamente se realizou o procedimento para os grãos. Baseando-se em quatro filmagens experimentais com os diferentes grãos selecionados, respeitando os mesmos critérios de filmagem percorridos anteriormente, percebeu-se as trajetórias da Figura 79.

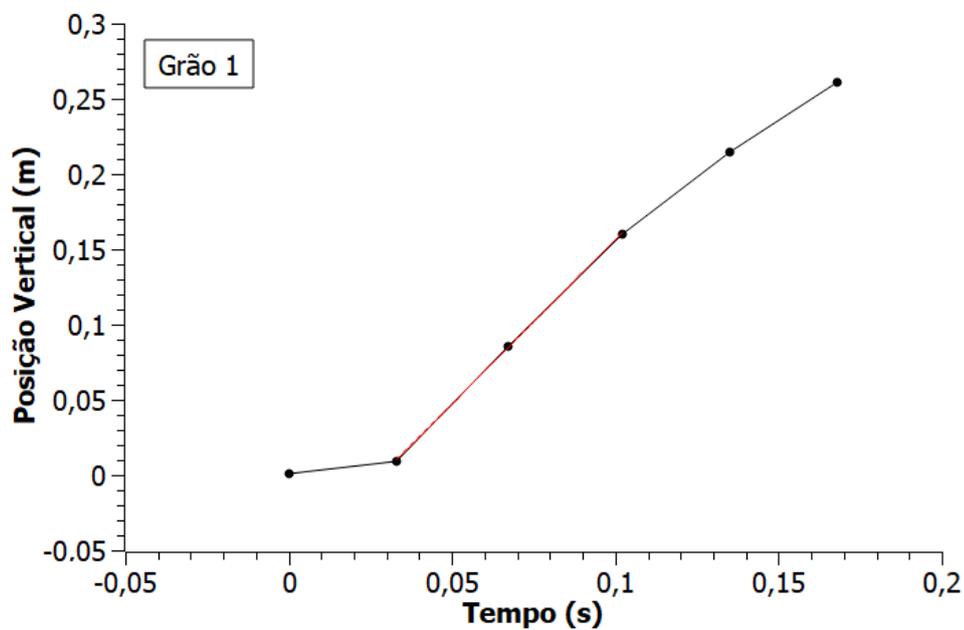
Figura 79 - Trajetória automática definida pelo Tracker para os quatro grãos de café



Fonte: Elaboração própria

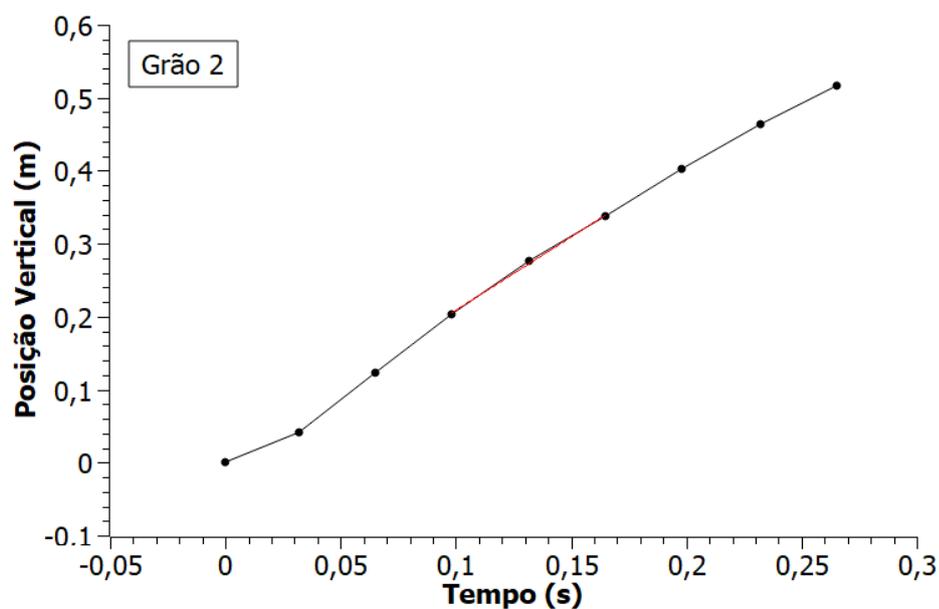
Em sequência apresenta-se as relações de posição vertical em função do tempo, obtidas para cada grão, na Figura 80, na Figura 81, na Figura 82 e na Figura 83.

Figura 80 - Posição no eixo Y em função do tempo para o grão 1



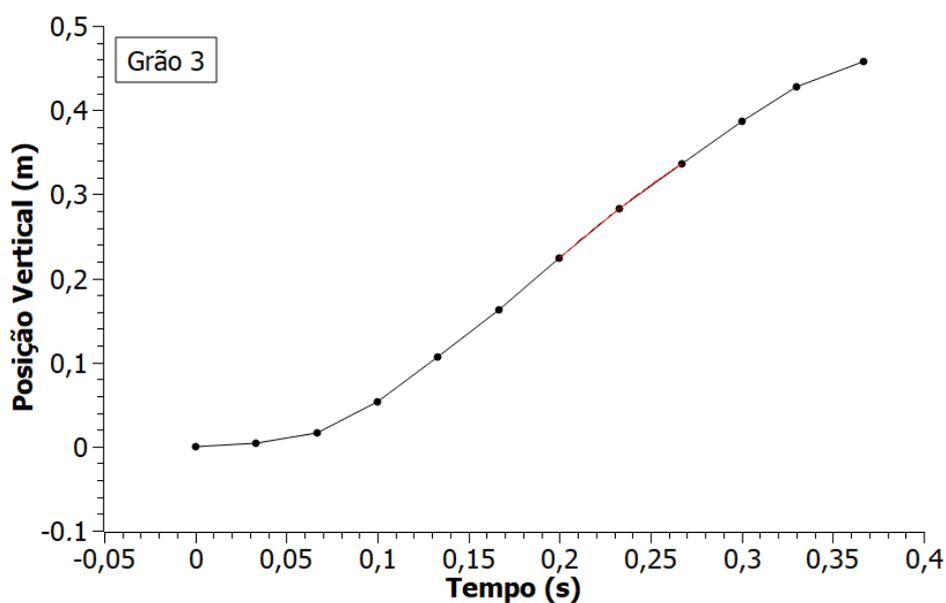
Fonte: Elaboração própria

Figura 81 - Posição no eixo Y em função do tempo para o grão 2



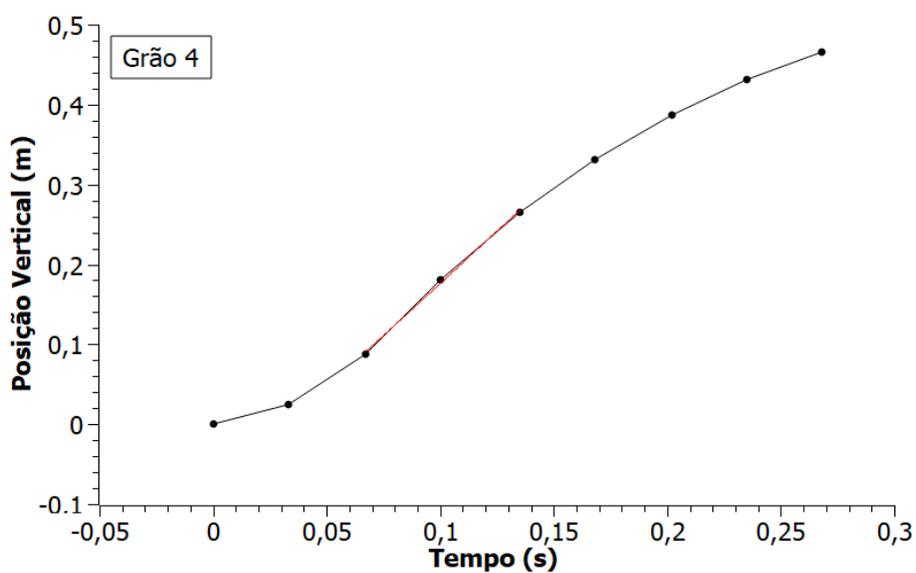
Fonte: Elaboração própria

Figura 82 - Posição no eixo Y em função do tempo para o grão 3



Fonte: Elaboração própria

Figura 83 - Posição no eixo Y em função do tempo para o grão 4



Fonte: Elaboração própria

Ato contínuo, evidenciou-se o trecho dos gráficos com velocidade constante, aproximando uma função dos intervalos de interesse. Dessa determinação, obteve-se as velocidades terminais expostas na Tabela 26.

Tabela 26 - Valores obtidos experimentalmente para velocidade terminal dos grãos

Grãos	Velocidade terminal obtida experimentalmente (<i>m/s</i>)
1	2,28
2	2,15
3	3,28
4	2,63
Média	2,59

Fonte: Elaboração própria

Constata-se que o maior valor de velocidade terminal encontrado para as cascas é de 1,06 *m/s* enquanto a menor velocidade terminal obtida para os grãos é igual a 2,15 *m/s*. Esses valores encontram-se numericamente mais próximos do que o esperado.

Algumas justificativas podem explicar esse fato: a opção inicial por escolher as cascas com maior peso e menor área simultaneamente e, também os grãos mais fragmentados. Além disso, para obter um resultado mais exato e diminuir os erros experimentais o ideal seria realizar o experimento, em laboratório, com uma quantidade maior de amostras.

Contudo, usa-se os resultados obtidos para prosseguir com o projeto do separador pneumático.

Dimensionamento da tubulação e decisões acerca do ventilador

Inclui-se os cálculos detalhados para o atual dimensionamento no tópico 6.5 Apêndice 5. Utiliza-se a velocidade da corrente de ar dentro do intervalo destacado na expressão (41).

$$1,06 \text{ m/s} < V_{ar} < 2,15 \text{ m/s} \quad (41)$$

A prioridade é de que o produto, que se destina à etapa de torra, não contenha cascas. Portanto, opta-se por uma velocidade para corrente ascendente mais próxima da velocidade terminal dos grãos fragmentados.

Assim, fixa-se:

$$V_{med} = 2 \text{ m/s}$$

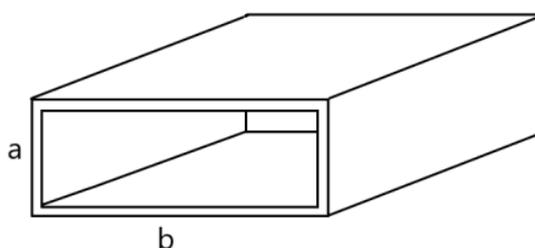
Yunus Çengel define o *número de Reynolds* no escoamento interno de um tubo por meio da expressão (42) (CIMBALA, J.; ÇENGEL, Y. A., 2015).

$$Re = \frac{V_{med}D}{\nu} \quad (42)$$

Onde ν refere-se à viscosidade cinemática do fluido em m/s^2 , V_{med} é a velocidade média de escoamento e D , o comprimento característico do tubo.

Decide-se o valor do comprimento característico para calcular o *número de Reynolds*. Neste projeto, opta-se pelo uso de duto retangular. Insere-se a Figura 84 para caracterizar o perfil de tubulação.

Figura 84 – Duto retangular



Fonte: Adaptado de CIMBALA, J.; ÇENGEL, Y. A. (2015).

Deste modo, seu comprimento característico será dado pelo diâmetro hidráulico, de acordo com a equação (43) (CIMBALA, J.; ÇENGEL, Y. A., 2015).

$$D = \frac{4A_c}{p} = \frac{4ab}{2a + 2b} = \frac{2ab}{a + b} \quad (43)$$

Onde A_c é a área da seção e p , seu perímetro.

Analisa-se tubos padronizados de aço retangular nos catálogos da Empresa LUXFER – Tubos de Aço Ltda e elege-se os tubos com seção $a = 250\text{mm}$ e $b = 325\text{mm}$ (LUXFER, 2022).

Os valores calculados para o *número de Reynolds* e para o diâmetro hidráulico estão explícitos na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados obtidos para caracterizar o escoamento

Número de Reynolds (Re)	$3,7 * 10^4$
Diâmetro hidráulico (D)	0,2826 m

Fonte: Elaboração própria

Nesse caso temos que $Re > 4000$ portanto trata-se de um escoamento turbulento ascendente com perfil de tubulação retangular.

Examinando os catálogos e manuais técnicos de ventiladores centrífugos da OTAM Ventiladores Ltda.; da MOTOVENT e da IDEAL Ventiladores notou-se que as curvas de desempenho são avaliadas para cada modelo com base em gráficos da pressão estática, ou da pressão total, em função da vazão de projeto. Dessarte, faz-se necessário identificar tais variáveis a fim de optar pelo modelo consonante com o projeto (OTAM, 2022; MOTOVENT, 2022; IDEAL VENTILADORES, 2022).

A vazão de projeto é dada pela equação (44).

$$Q = A_c V_{ar} \quad (44)$$

Para definir a pressão estática avalia-se as perdas de carga localizadas e distribuídas. As perdas localizadas dizem respeito a peças singulares de cada instalação enquanto as perdas distribuídas são causadas pelo próprio deslocamento do ar ao longo da tubulação. A pressão total é dada pelo somatório da pressão estática com a pressão dinâmica (FERREIRA, L. F., 2015).

A perda de carga (h_f) é calculada no trecho de tubulação retilíneo vertical através da fórmula de Darcy-Weisbach disposta na equação (45) (CIMBALA, J.; ÇENGEL, Y. A., 2015).

$$h_f = f \frac{L V_{ar}^2}{D 2g} * \gamma \quad (45)$$

Onde f é o fator de atrito adimensional, D para escoamento turbulento refere-se ao diâmetro hidráulico da tubulação em metros, L é o comprimento da tubulação em metros e γ representa o peso específico do fluido em quilograma força por metro cúbico, nas condições de projeto.

O resultado para a fórmula de Darcy-Weisbach é dado em Pascal. Geralmente os gráficos de ventiladores centrífugos expõem a pressão em milímetro de coluna d'água, (*mmca*), para conversão basta multiplicar o resultado obtido por 0,102.

Estima-se o valor do fator de atrito, como o escoamento é turbulento, por meio da equação de Colebrook exposta na expressão (46) (MENDONÇA, P. de V., 1983).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (46)$$

Com auxílio do *Software MatLab* obteve-se o valor $f = 0,023$. Desta maneira, para calcular a perda de carga substituiu-se o peso específico pela equação (47) (*SOFTWARE MATLAB*, 2022).

$$\gamma = \rho_{ar} * g \quad (47)$$

Onde a densidade do ar é dada por $\rho_{ar} = 1,204 \text{ kg/m}^3$.

A perda de carga nas curvas suaves de 90° na entrada e na saída do sistema são estimada por meio da equação (48).

$$h_L = K_L \frac{V_{ar}^2}{2g} \quad (48)$$

Para curvas suaves de 90°, Yunus Çengel sugere que o coeficiente de perda (K_L) é numericamente igual a 0,9. Para obter a queda de pressão multiplica-se o valor obtido para perda de carga pelo peso específico do ar conforme a equação (49) (CIMBALA, J.; ÇENGEL, Y. A., 2015).

$$\Delta P = h_L * \rho_{ar} * g \quad (49)$$

Assim, a pressão estática total do sistema é obtida através da soma dos resultados obtidos para queda de pressão em cada trecho de tubulação, conforme a equação (50).

$$\Delta P_{total} = \sum \Delta P \quad (50)$$

A pressão total é dada pelo somatório das perdas de carga, ou pressão estática, e da pressão dinâmica de acordo com a equação (51).

$$P_{total} = P_D + \Delta P_{total} \quad (51)$$

Mas, Yunus Çengel define a pressão dinâmica em Pa conforme expresso pela equação (52) (CIMBALA, J.; ÇENGEL, Y. A., 2015).

$$P_D = \frac{\rho V_{ar}^2}{2} \quad (52)$$

Reúnem-se, na Tabela 28, as principais características definidas. Ressalta-se que todas as variáveis estimadas, bem como, o passo a passo de equacionamento detalhado, estão incluídos no tópico 6.5, referente ao Apêndice 5.

Tabela 28 - Características fundamentais para seleção do ventilador

Pressão estática total	$\Delta P = 6,61 Pa$
Pressão Total	$P_{total} = 9,02 Pa$
Fluido	<i>Ar a 20 °C e 1 atm</i>
Densidade do Ar nas Condições de Projeto	$\rho_{ar} = 1,204 kg/m^3$
Velocidade do Ar	$V_{ar} = 2 m/s$
Diâmetro Hidráulico da Tubulação de Seção Retangular	$D = 0,283 m$
Vazão de Projeto	$Q = 0,163m^3/s =$ $9,75 m^3/min = 585 m^3/h$

Fonte: Elaboração própria

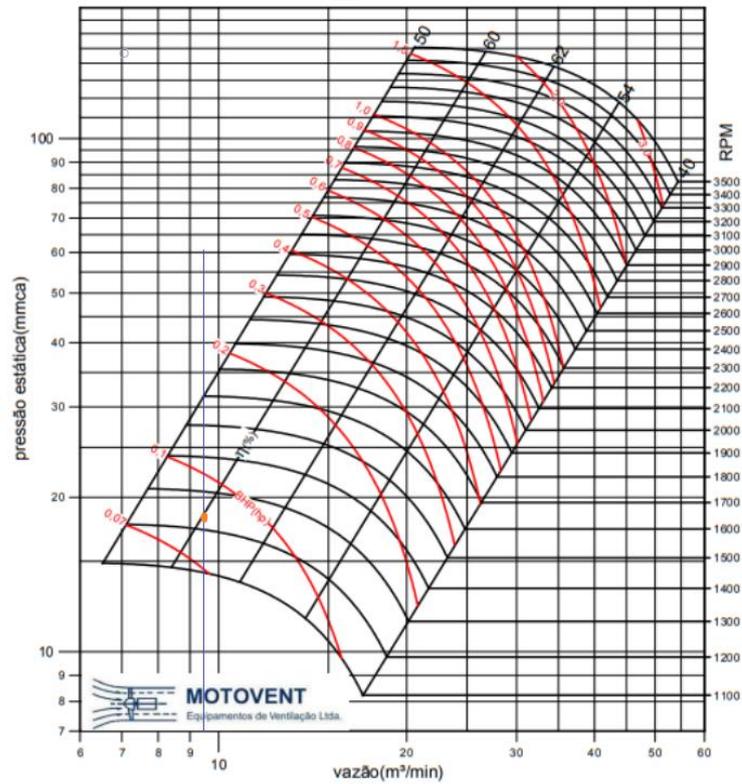
Dentre os tipos de ventilador centrífugo disponíveis no mercado, opta-se pela utilização dos com pás curvadas para a frente (Sirocco). Tal escolha se deve ao baixo custo desse modelo quando comparado aos outros, a baixa pressão estática que o projeto apresenta, pois, esse tipo de ventilador produz vazões altas com baixa pressão estática e a sua rotação baixa que reduz o tamanho do eixo e do mancal, priorizando um projeto mais compacto.

Assim, analisa-se os gráficos de rendimento com a pressão total calculada em função da vazão de projeto para ventiladores centrífugos com rotor de pás curvadas para frente. O modelo escolhido é o “Ventilador Centrífugo Simples Aspiração 200”, ou SVSL-200, com tamanho de rotor $D = 200mm$ e diâmetro de eixo de $d = 20mm$ (MOTOVENT, 2022).

O ventilador é fornecido com eixo em aço carbono SAE-1045 retificado e com rolamentos. Além disso, percebe-se que o modelo escolhido no catálogo da MOTOVENT – Ventilação Industrial, já possui tela de proteção bem como protetor de correias adequados às normas de segurança. Pode-se incluir no modelo um registro de descarga para melhor adequação da vazão conforme necessidade (MOTOVENT, 2022).

O gráfico de rendimento do ventilador está evidenciado na Figura 85. Observa-se o ponto de rendimento selecionado, em destaque, com a vazão de projeto e a pressão estática entre 15 e 20 *mmca*.

Figura 85 - Gráfico de rendimento ventilador Sirocco modelo SVSL 200



Fonte: MOTOVENT (2022).

O registro de descarga para controlar a vazão do ar através da inclinação das lâminas é utilizado para obter a pressão necessária para o ponto de operação escolhido cujo rendimento é de $\eta = 60\%$.

Portanto, a potência de eixo consumida pelo ventilador será dada pela expressão (53).

$$P_e = Q * \frac{P_t}{\eta} \quad (53)$$

Assim:

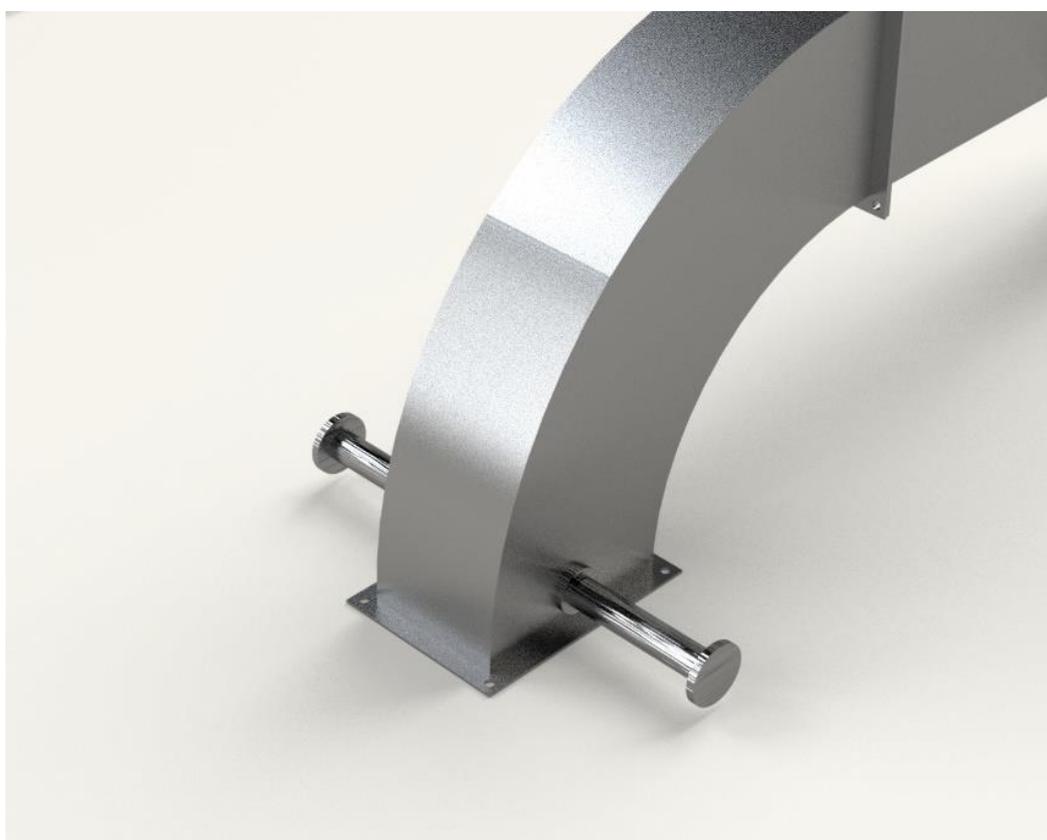
$$P_e = 0,16 \frac{m^3}{s} * \frac{196 Pa}{0,60} \cong 53 kg * \frac{m^2}{s^3}$$

$$P_e \cong 53 \frac{J}{s} = 0,08 cv$$

Com relação à saída da tubulação, analisa-se o compartimento apropriado para coleta das cascas. Suportes são presos à base da tubulação com intuito de suportar as alças de sacolas de pano. Considera-se a utilização de sacolas a solução mais prática, barata e eficiente. Além disso, o suporte permite que a sacola seja facilmente removida para esvaziamento e limpeza.

Dessa forma, acrescenta-se a Figura 86, obtida com auxílio do *Software SolidWorks*, com o intuito de caracterizar o suporte sugerido para apoiar a sacola de armazenamento das cascas (*SOFTWARE SOLIDWORKS [1], 2020*).

Figura 86 - Suporte para sacola coletora de cascas



Fonte: Elaboração própria

Inserir-se a Figura 87 para exemplificar um recipiente de coleta das cascas adequado com capacidade de armazenamento de 90 litros e diâmetro da base de 45 *cm*.

Figura 87 - Recipiente para armazenamento das cascas

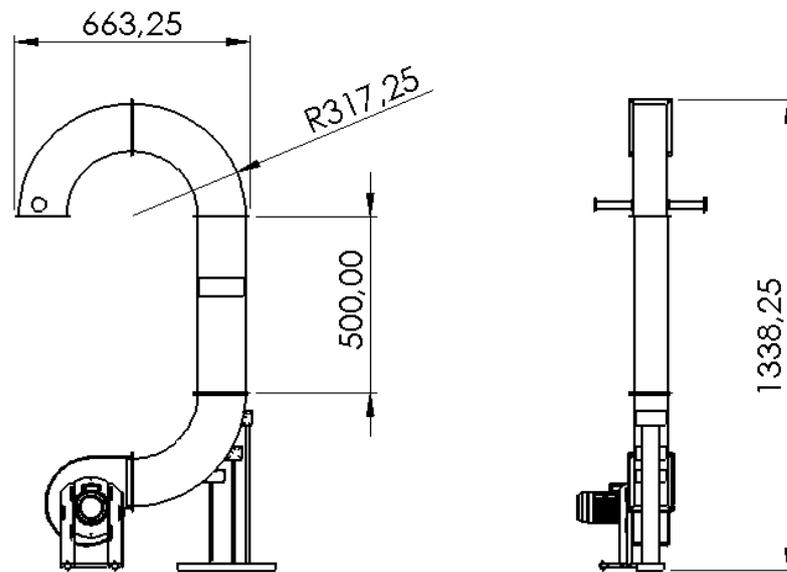


Fonte: GENERIC (2022).

Dimensões finais do equipamento separador

A fim de caracterizar a concepção final do equipamento de separação de cascas e grãos, inclui-se a Figura 88 com algumas dimensões finais em destaque e a Figura 89 construída com auxílio da extensão *Visualize Professional do Software SolidWorks (SOFTWARE SOLIDWORKS [2], 2022)*.

Figura 88 - Dimensões do equipamento separador



Fonte: Elaboração própria

Figura 89 - Concepção final do separador



Fonte: Elaboração própria

3.2.2.3 Torrador

Adotou-se como solução para o problema de esvaziamento previamente observado neste equipamento, conforme citado no tópico 3.2.1.3, a alteração do suporte de sustentação com anexação de uma caixa destampada para coletar os grãos após o processo de torragem. Diante disso, o projeto detalhado do torrador terá início com a determinação das dimensões desse compartimento.

Com a caixa dimensionada basta adaptar a estrutura da base do aparelho conforme a altura do compartimento observando o correto funcionamento do tambor de torra e, por tanto, mantendo a base com uma altura que não prejudique sua rotação.

Deste modo, uma vez que a base do equipamento esteja definida é realizado dimensionamento, análogo ao procedimento realizado para o equipamento descascador, para estabelecer as características de projeto das polias, da correia e do motor.

Determinação das dimensões da caixa para remoção dos grãos pós torra e da base de suporte lateral do torrador

A seleção das dimensões adequadas para a caixa, inserida no compartimento inferior do torrador, considera, principalmente: o volume de grãos de café gerado no final do processo considerando um sistema de admissão do descascador completamente cheio e a disponibilidade no mercado nacional de caixas nas dimensões adequadas com baixo custo.

Com base no exposto, nota-se que o compartimento de admissão do descascador possui um volume de *8 litros*. Sabe-se que, após os procedimentos de remoção das cascas e torrefação, esse volume diminui consideravelmente. A fim de garantir uma margem de segurança adequada considera-se que o volume máximo possível ao final do processo seja de *7 litros*.

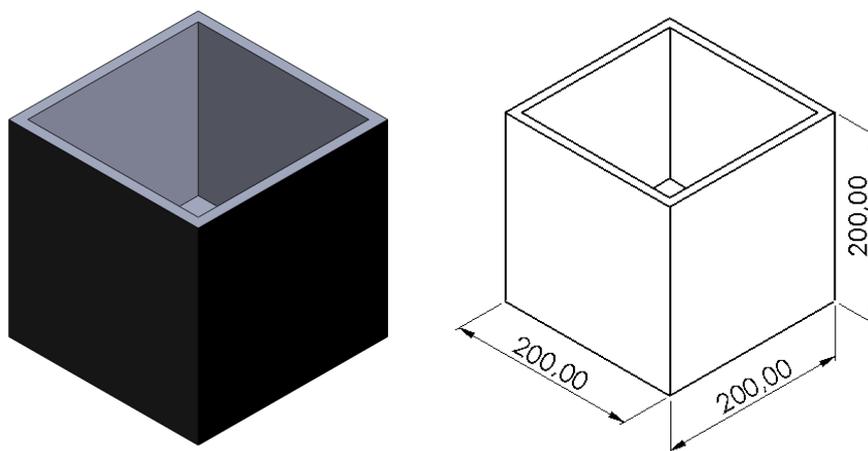
Além disso, o comprimento do compartimento deve obedecer ao critério limite de dimensão do equipamento de torra. A distância entre as bases do torrador de café é de *250 mm* de comprimento. A dimensão análoga para a caixa deve então obedecer:

$$l \leq 230mm$$

Inserir-se uma tolerância mínima de *20 mm* para evitar colisões com a base do torrador. Após pesquisa de mercado realizada para determinar o recipiente mais adequado chegou-se à

conclusão de que uma caixa com as dimensões de projeto evidenciadas na Figura 90 seria uma solução coerente para aplicação.

Figura 90 - Ilustração da caixa escolhida para coleta dos grãos após a torrefação



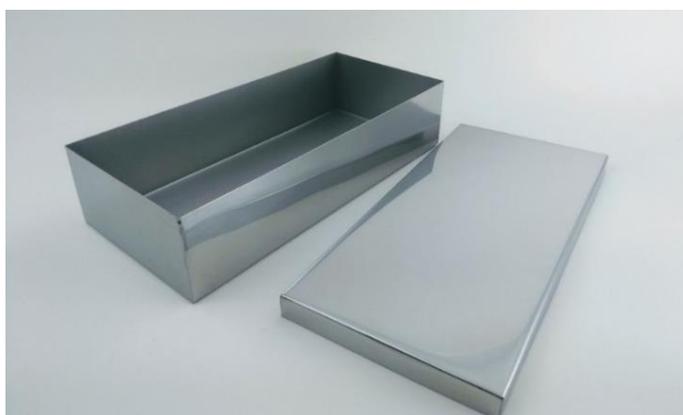
Fonte: Elaboração própria

A seleção do material para fabricação da caixa inclui alguns fatores. Priorizou-se principalmente: preço, peso, fácil fabricação, resistência à fluência e durabilidade.

Perante os critérios utilizados para verificação do material conveniente, optou-se pela fabricação com aço inox. Além das características almejadas inicialmente, a caixa fabricada com tal material é fácil de ser higienizada e é apropriada para utilização em aplicações como armazenamento de alimentos.

Dessa forma, mostra-se, na Figura 91, um exemplo de recipiente em inox com fabricação nacional de peças sob medida.

Figura 91 - Caixa de inox

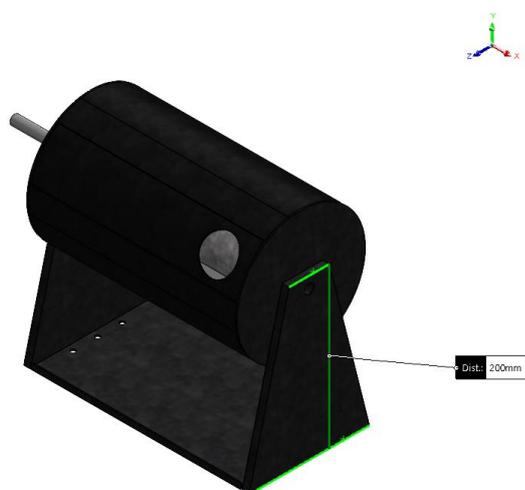


Fonte: CJD (2022).

A capacidade final do reservatório de grãos escolhido é de 8 *litros*. Vale ressaltar que o comprimento de 200 *mm* respeita o critério limite de dimensão pré-estabelecido. Dessa forma, com altura de 200 *mm*, nota-se que a base do descascador deve ser adaptada para comportar a caixa.

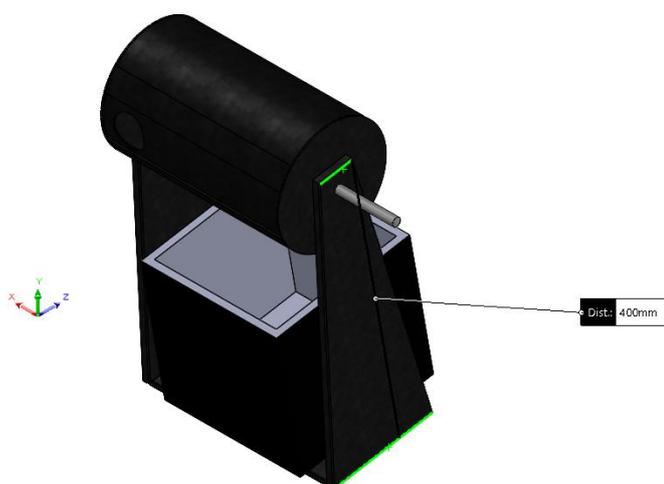
Na Figura 92 e na Figura 93 destacadas pode-se comparar a altura prévia da base lateral do equipamento com a altura sugerida.

Figura 92 - Altura da base do torrador antes da modificação



Fonte: Elaboração própria

Figura 93 - Altura da base do torrador após da modificação



Fonte: Elaboração própria

Aumenta-se, portanto, a altura da base na mesma medida da altura do compartimento inferior mantém-se dessa forma a folga pré existente e se garante que não hajam intervenções no movimento do tambor de torra.

Componente motor e dimensionamento das polias e da correia

A seleção do motor para substituir a manivela nesse equipamento ocorre de forma análoga à realizada para o descascador. Sabe-se que, conforme estimado na seção 3.2.1.3, o torque mínimo para acionamento do torrador é de $5,5 Nm$.

Comprovou-se experimentalmente uma frequência média de $42 rpm$ para o funcionamento atual da máquina de torra. Sugere-se uma frequência de $80 rpm$ com o intuito de otimizar o processo sem alterar drasticamente a velocidade angular adotada hodiernamente.

As aplicações detalhadas das equações referentes à decisão do componente motor e dimensionamento das polias e das correias para o torrador estão dispostas no tópico 6.6, que diz respeito ao Apêndice 6.

Deste modo, estima-se a potência de acionamento do motor para um torque definido de $7 Nm$ por meio da equação (4). Alcança-se um valor de $50 W$ equivalente à $0,08 cv$.

Após estudar os catálogos de motores trifásicos da empresa Werner Eggon Geraldo (WEG), modelos *W12* e *W22 IR3*, percebeu-se que as especificações de velocidade (*rpm*) são altas para a demanda do torrador, que exige um controle mais adequado de movimento. Com essas observações, opta-se pela utilização de um motor de passo para essa aplicação (WEG, 2022).

O motor de passo mais adequado encontrado em catálogo é o modelo AK34/100F8FN1.8 cujas características expostas na Tabela 29 foram obtidas nas fichas de dados de produtos da fabricante NEOMOTION (NEOMOTION, 2022)

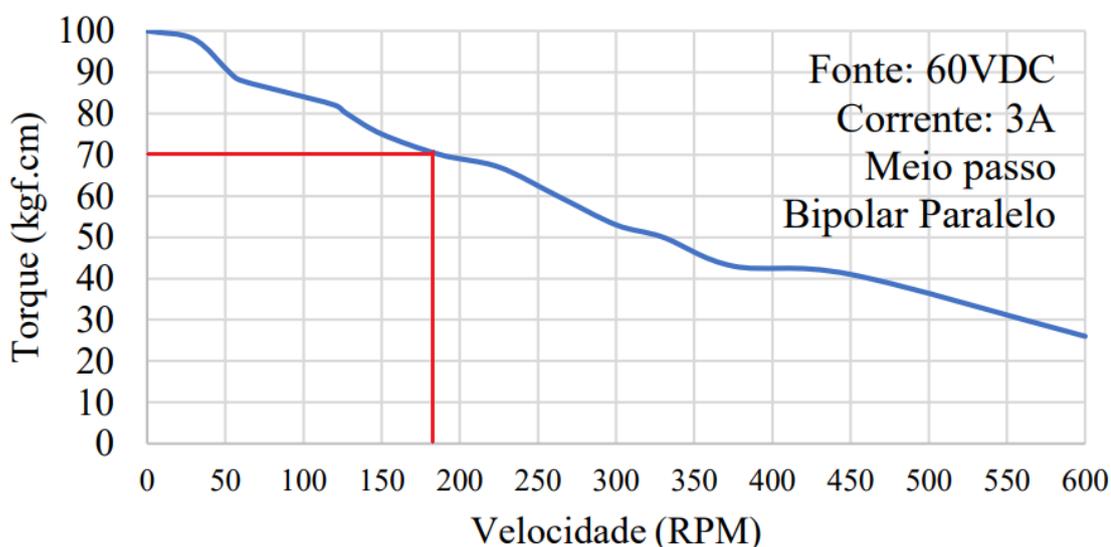
Tabela 29 - Motor de passo escolhido para o torrador

<i>NEMA</i>	<i>MODELO</i>	<i>TORQUE</i> (<i>kgf.cm</i>)	<i>Corrente</i> (<i>A</i>)
34	AK34/100F8FN1.8	70	3

Fonte: NEOMOTION (2022).

Examina-se a curva de torque em função da velocidade nesse motor, salientada na Figura 94, para confirmar se esse modelo atende o requisito de torque adequado para velocidade necessária.

Figura 94 - Curva de torque em função da velocidade para o AK34/100F8FN1.8



Fonte: NEOMOTION (2022).

Para um torque de 70 kgf.cm , que equivale a aproximadamente 7 Nm , conforme determinado previamente, observa-se uma velocidade aproximada de 180 rpm no eixo do motor. Para dimensionamento das polias, inicia-se definindo a relação de transmissão obtida por meio da equação (5).

Como a opção para transmissão é por correias em V, pode-se basear na Tabela 12 para estimar o fator de serviço para o torrador, K_S , em características normais de torque e choque uniforme. Estima-se então, para um fator de projeto igual a 1, a potência de projeto do torrador dada pela expressão (6). Os parâmetros estimados para relação de transmissão, fator de serviço e potência de projeto são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 - Resultados obtidos de parâmetros importantes no dimensionamento das polias

Relação de transmissão (i)	2,25
Fator de Serviço (K_S)	1,2
Potência de Projeto (H_d)	0,216 HP

Fonte: Elaboração própria

Com base nos resultados obtidos para potência e, tendo em vista a rotação do motor, optou-se pelo tipo B como perfil da correia em V. Evidencia-se as características do perfil escolhido na Tabela 31, que diz respeito às dimensões expostas na Figura 57.

Tabela 31 – Seção B de correia em v padronizada

Seção de Correia	Largura a	Espessura b	Diâmetro mínimo de roldana	Intervalo de kW
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	
B	16	11	135	0,7 – 18,5

Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

Estipula-se, para polia menor, um valor de diâmetro conveniente e, a partir da relação de transmissão, calcula-se o valor do diâmetro da polia motora. Após determinar tais variáveis pode-se estimar a velocidade da correia por meio da equação (7).

Em seguida utiliza-se as expressões (8) e (9) para avaliar os resultados do comprimento primitivo e da distância entre os centros das polias. Visa-se minimizar a distância entre os centros para otimizar a vida da correia. A distância entre centros deve ser simultaneamente maior que o diâmetro da maior roldana e menor do que o triplo da soma dos diâmetros das roldanas (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K., 2016).

Deste modo, para o presente projeto vale o intervalo estabelecido na expressão (54).

$$315mm < C < 1365 mm \quad (54)$$

A Tabela 32 engloba as circunferências internas de correias padronizadas em V para seção B. Uma vez que os cálculos de comprimento da correia são realizados com base no comprimento primitivo, soma-se 45 *mm* para seção de correia em B.

Tabela 32 - Circunferências Internas Padronizadas de Correias em V

Seção	Circunferência <i>mm</i>
B	875, 950, 1050, 1150, 1200, 1275, 1325, 1425, 1500, 1550, 1600, 1650, 1700, 1775, 1875, 1950, 2000, 2125, 2250, 2400, 2625, 2800, 3000, 3200, 3275, 3400, 3450, 3950.

Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

Finalmente, a distância entre centros é corrigida por meio da equação (11).

O ângulo de abraçamento é estimado por meio da expressão (13) e avalia-se o resultado obtido e a Tabela 16 para definir o fator de correção do ângulo de abraçamento. Sabe-se o comprimento da correia e sua seção. Então, a partir da Tabela 33, determina-se o fator de correção para comprimento de correia (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K., 2016).

Tabela 33 - Fator de correção para comprimento de correia

Fator de comprimento	Comprimento nominal da correia de seção B, metros
0,85	<i>até 1,15</i>
0,90	1,2 – 1,5
0,95	1,55 – 1,88
1,00	1,95 – 2,43
1,05	2,63 – 3,0
1,10	3,2 – 3,6
1,15	3,95 – 4,5
1,20	<i>acima de 4,88</i>

Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

Efetivamente pode-se estimar a potência admissível por correia por meio da equação (12) e descobrir o número de correias necessárias aplicando a equação (14). Em sequência, estima-se as trações máxima e mínima. Por meio da equação (15) e do parâmetro definido na Tabela 18 para seção B de correia, sabe-se o valor da tração centrífuga.

Além disso, sabe-se que a potência transmitida por correia é baseada em ΔF cujo valor é extraído da equação (16). Através das equações (17) e (18) é fácil deduzir os valores de tração máxima e mínima. Com os parâmetros definidos, utiliza-se a expressão (19) para se estimar o valor numérico da tração inicial, F_i .

Por fim, o fator de segurança é obtido através da equação (20) e o tempo de vida, em horas, é adquirido aplicando-se, devidamente, as equações (21), (22), (23), (24) e (25). Para tanto é necessário saber os parâmetros destacados na Tabela 34.

Tabela 34 - Alguns parâmetros para correias em V de seção B

Seção de correia	K	B	K_b
B	5309	10,926	65

Fonte: BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. (2016).

Os cálculos efetuados nessa seção foram realizados com auxílio do *Software Excel*. De acordo com os procedimentos realizados, os valores definidos para o conjunto proposto foram compilados, na Tabela 35, para facilitar a visualização das características do projeto (*SOFTWARE EXCEL*, 2019).

Tabela 35 - Saída de dados - Conjunto proposto para o torrador

Modelo da correia conforme catálogo SKF	PHG B112
Seção	B
Diâmetro da polia menor, d_1	140 mm
Diâmetro da polia maior, d_2	315 mm
Velocidade da correia, V	1,32 m/s
Distância entre os centros calculada, $C_{calc.}$	1000 mm
Comprimento calculado, L_p	2722,37 mm
Comprimento tabelado, L_{tab}	2845 mm
Distância entre os centros corrigida, C	1061,32 mm
Ângulo de abraçamento, ϕ	170 graus
Potência Admissível por correia, H_a	0,7034 HP
Número de Correias	1
Tração máxima, F_1	122,3 N
Tração mínima, F_2	0,30 N
Fator de Segurança, n_{fs}	3,26
Tempo de vida em horas, t	$t > 5,9869 * 10^6 \text{ horas}$

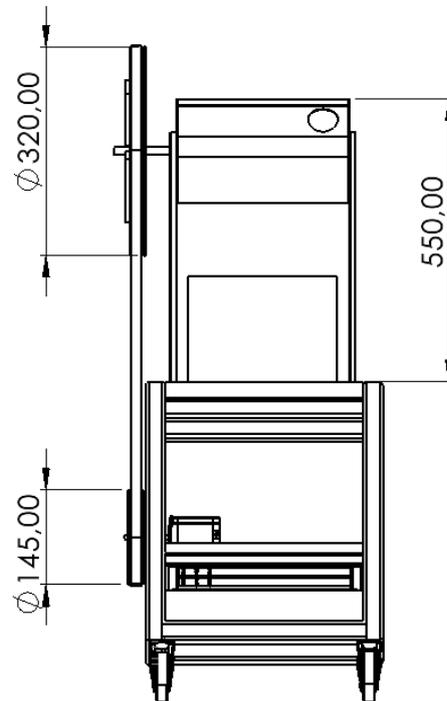
Fonte: Elaboração própria

Dimensões finais do equipamento torrador

As dimensões atualizadas, para o maquinário de torra, são destacadas na Figura 95. Observa-se, em destaque, os diâmetros externos das polias motora e movida e, também, a altura final do torrador.

Além disso, pode-se analisar a concepção final do *retrofit* do torrador na Figura 96, obtida através da renderização no *Visualize Professional do Software SolidWorks (SOFTWARE SOLIDWORKS [2], 2022)*.

Figura 95 - Dimensões do equipamento torrador



Fonte: Elaboração própria

Figura 96 - Concepção final do torrador



Fonte: Elaboração própria

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante o exposto no estudo do processo de beneficiamento do café, realizado na revisão de literatura, pode-se perceber a importância da aplicação dos conhecimentos de engenharia no cenário de inovação no meio rural a fim de equiparar a tecnologia produtiva em plantações de larga escala a dos pequenos produtores. A partir desse estudo, verificou-se a dificuldade de interligar múltiplas fase do processo para produções em pequena escala o que motivou o desenvolvimento do projeto.

Além disso, a execução do estudo de campo, na Fazenda Caxambu, possibilitou contato com o processo produtivo e identificação com maior precisão das adequações específicas para a propriedade em questão. Pôde-se perceber, com o auxílio do processo de tomada de decisão, que os principais requisitos de projeto incluíam a segurança do operador, a redução do esforço físico demandado e a otimização do tempo total do processo. Desta forma, definiu-se adequadamente, para demanda da Fazenda Caxambu, pela adaptação dos procedimentos de descasque, separação de cascas e grãos e torrefação.

Esse estudo de campo, junto ao planejamento de projeto, permitiu o desenvolvimento, desde o princípio, focado nas necessidades específicas do local em análise. Então deu-se procedência à aplicação da metodologia adaptada de Jung e Rozenfeld, com o pré desenvolvimento e o desenvolvimento, segmentado em projeto conceitual e projeto detalhado.

A aplicação da fase de Pré-desenvolvimento ocorreu conforme o previsto uma vez que, com as etapas produtivas escolhidas para modificação, pode-se analisar detalhadamente os procedimentos de descasque, separação e torra. Escolheu-se, então, os principais problemas apontados pelos operadores e observados. Com os principais problemas em foco, e expondo as normas de segurança aplicáveis a fim de contribuir para o bem-estar dos operadores, iniciou-se as análises de solução.

Ao final do projeto conceitual sugere-se um dispositivo prático e acessível que integra três etapas produtivas do café. Alguns resultados alcançados nessa etapa incluem a proposta de um mecanismo de integração, além de sugestões de melhorias no processo das máquinas estipuladas para o processo de *retrofit*.

A fim de validar o funcionamento do equipamento dimensionou-se os componentes mecânicos envolvidos. Iniciando a etapa de desenvolvimento. Acerca do equipamento de descasque, os principais problemas identificados são: manivela de acionamento com alta demanda de trabalho braçal e o tamanho impróprio do sistema de admissão de grãos.

Optou-se então pela substituição da manivela de acionamento por um motor trifásico, WEG, com 0,33 HP de potência. Para o sistema de redução utilizou-se de polias em V com seção de correia A e diâmetros de 100 mm e 376 mm para polia motora e movida, respectivamente.

Observou-se que os valores obtidos para os diâmetros de polias, velocidade da correia e comprimento da correia estão todos dentro das faixas sugeridas para prevenção de falhas. Além disso, para modificar o sistema de admissão de grãos avaliou-se a necessidade de volume por ciclo produtivo na Fazenda Caxambu percebendo-se que quadruplicando seu volume inicial a demanda seria atendida.

Assim, estudou-se diversos formatos para o recipiente, definindo sua altura em 320 mm com a base superior quadrada medindo 300 x 300 mm. Priorizou-se pelo equipamento ser o mais compacto possível. O material escolhido para fabricação do compartimento foi chapa de aço 1020, com a mesma espessura do compartimento anterior, de 2mm.

No que tange ao dimensionamento do eixo motor do descascador escolheu-se fabricá-lo com aço AISI 1050, a tensão máxima de cisalhamento encontrada, de 38,63 MPa é menor do que a metade do limite de escoamento do material de 690 MPa. Assim, considerou-se o material utilizado bom para a aplicação e o diâmetro definido de 10 mm para o eixo aceitável.

Analisou-se, em seguida, os esforços ao qual o eixo do descascador está submetido. Com auxílio do *Software Ftool* posicionou-se, na metade da distância entre os suportes laterais do equipamento, a força aplicada no eixo pelos grãos de café com o compartimento de admissão completamente cheio.

Além disso, analisou-se o torque no eixo e as forças provocadas pela movimentação da polia com o intuito de comprovar que o eixo do equipamento suportará as modificações. Todos os problemas sugeridos no pré-dimensionamento para o equipamento de descasque foram abordados e solucionados.

Com relação ao dimensionamento do separador de grãos e cascas de café, observa-se que os valores encontrados para velocidade terminal média obtida para as cascas, de 0,885 m/s, e para os grãos, de 2,59 m/s, são razoáveis já que apresentam um intervalo aceitável para selecionar a velocidade de ar terminal. Com a velocidade de corrente de ar ascendente definida em 2 m/s pode-se caracterizar o escoamento como turbulento. Definiu-se a seção do duto retangular, com as dimensões: 250 mm x 325 mm.

Em seguida, estimou-se a vazão de projeto e as perdas de carga e, a partir dos resultados obtidos, com $Q = 9,75 \text{ m}^3/\text{min}$ e $P_{total} = 9,02 \text{ Pa}$ foi possível determinar o ventilador adequado para aplicação.

Percebe-se que o ventilador escolhido para o separador, “Ventilador Centrífugo de Simples Aspiração 200” atende aos requisitos definidos. Opta-se pela utilização de um registro de descarga para definir a vazão do ar de maneira mais controlada e viabilizar a escolha de um ponto de rendimento maior para o ventilador.

Por fim, adaptou-se a tubulação de saída do equipamento separador com hastes que servem de apoio à sacola coletora de cascas.

No que tange ao dimensionamento do torrador determinou-se a altura adequada para seu suporte lateral aumentando-a em 200 mm . Assim, pode-se encaixar uma caixa de coleta de grãos pós torrefação embaixo do torrador sem prejudicar a rotatividade do tambor de torra. A caixa selecionada possui base quadrada com lado de 200 mm e altura de 200 mm . O material selecionado para sua fabricação é o aço inox.

Selecionou-se, para substituir a manivela nesse equipamento, o motor de passo NEMA 34. Por possuir velocidade de rotação menor do que os modelos analisados da WEG esse motor atendeu a demanda para o torrador de maneira mais eficiente permitindo uma relação de transmissão menor e um projeto mais compacto.

Nesse caso, para o sistema de redução, optou-se pela utilização de polias em V com seção de correia B e diâmetros de 140 mm e 315 mm para polia motora e movida, respectivamente.

Observando os objetivos traçados inicialmente é perceptível que se cumpriu as atividades propostas, incluindo: o estudo do processo de beneficiamento do café em diferentes escalas, comparando os maquinários; a realização do estudo de campo para coletar dados sobre as etapas produtivas de uma propriedade, o desenvolvimento de soluções para melhoria dos equipamentos e do processo e, também, o dimensionamento das peças principais dos equipamentos.

Sugestões de desenvolvimento para trabalhos futuros incluem o devido dimensionamento da rampa de conexão entre os três equipamentos e avaliação da possibilidade de generalização dos resultados do projeto com estudo de campo em outras propriedades.

Sugere-se, também, para projetos a serem desenvolvidos, análises mais detalhadas dos materiais e processos de fabricação para as peças propostas com o intuito de sugerir um orçamento o mais reduzido possível.

Ademais, seria adequado repetir os experimentos de velocidade terminal das cascas e grãos do separador para uma variedade maior de cascas e grãos, em ambiente mais controlado, com maquinário laboratorial, para definir a velocidade da corrente ascendente de ar com maior precisão. Nesse contexto é também interessante investigar outros procedimentos de separação com o intuito de ressaltar a importância do método proposto.

Por fim, ressalta-se que não se dimensionou as chavetas, rolamentos, parafusos e elementos de fixação em geral. Essa etapa, bem como a elaboração dos desenhos técnicos com tolerâncias para cada peça, pode ser concluída em trabalhos seguintes e deve ser realizada antes das etapas de preparação do produto e lançamento do produto.

5 BIBLIOGRAFIAS

AÇOSPORTE. **Aço SAE 1020**. Açosporte Comercial de Aços. Disponível em www.acosporte.com.br/aco-sae-1020. Acesso em 20 de julho de 2022.

AGROLEV. **Torrador de café industrial 15Kg**. Bom Jardim, Manhuaçu, Minas Gerais. Disponível em <https://www.agrolev.com.br/agrolev/produto/torrador-de-cafe-industrial-15-kg/>. Acesso em 24 de fevereiro de 2022.

ALBUQUERQUE, L. **Netafim desenvolve tecnologia de irrigação subterrânea em café conilon – Tecnologia e Manejo**. São José do Rio Preto – São Paulo, 2021. Disponível em <https://ruralpecuaria.com.br/tecnologia-e-manejo/netafim-desenvolve-tecnologia-de-irrigacao-subterranea-em-cafe-conilon.html>. Acesso em 05 de abril de 2022.

ANDRADE, A. S. **Elementos de Máquinas II – AT 102**. Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Industrial Madeireira. 2022.

BAGGENSTOSS, J. *Coffee Roasting and Aroma Formation: Application of Different Time–Temperature Conditions*. *Journal of Agricultural and food chemistry*. 2008.

BEUNO, S. **Exportação no Brasil – Quais os principais produtos exportados?** *FazComex* - Empresa de Tecnologia para Comércio Exterior, Brasil, 2022. Disponível em <https://www.fazcomex.com.br/blog/quais-principais-produtos-exportados-brasil/> . Acesso em 20 de janeiro de 2022.

BORÉM, F. M. **Edição Especial Seminário do Café**. Revista Cafeicultura nº 13. 2013

BOTINI. **Descascador para Café**. Linha de café – Produtos Botini. Disponível em <https://www.botini.com.br/produto/descascador-para-cafe>. Acesso em 04 de abril de 2022.

BRASIL. Lei Nº 11.326, de 24 de Julho de 2006. **Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais**. Poder Executivo, Brasília, Brasil. 2006.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley**. Editora AMGH, 10ª Edição. 2016.

CAVALCANTE, D. Por que a gravidade nos puxa sempre para baixo aqui na Terra?. Revista CANALTECH, 2021. Disponível em <https://canaltech.com.br/espaco/por-que-a-gravidade-nos-puxa-para-baixo>. Acesso em 01 de abril de 2022.

CETRO – MÁQUINAS. **Moinho CTS-120**. Disponível em https://www.cetro.com.br/moinho-cts-120/p?idsku=620&gclid=Cj0KCQiApL2QBhC8ARIsAGMm-KEcLTqa7toGU7RCyU7PWNv1gf5BUTTIWrOvIyKvQxKHmqRTJQOoq1QaAmLWEALw_wcB. Acesso em 28 de fevereiro de 2022.

CHALFOUN, S. M.; SANTOS, M. A. **INFLUÊNCIA DO PROCESSAMENTO POR VIA ÚMIDA E TIPOS DE SECAGEM SOBRE A COMPOSIÇÃO, FÍSICO QUÍMICA E QUÍMICA DO CAFÉ (Coffea arabica L)**. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 33, n. 1, p. 213-218, 2009

CIMBALA, J.; ÇENGEL, Y. A. **Mecânica dos Fluidos – Fundamentos e Aplicações**. 3ª Edição. Editora AMGH. 2015.

CJD. **Inox Ltda – Peças em aço Inox**. Disponível em www.cjdinox.com.br. Acesso em 28 de agosto de 2022.

COLLINS, J. A. et al. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas – Uma perspectiva de Prevenção de Falhas**. 1ª Edição – Editora LTC. 750 páginas. 2006.

CONAB [1]. **Boletim da Safra de Grãos**. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO Outubro de 2021. Disponível em http://www.consorciopequisacafe.com.br/images/stories/noticias/2021/dezembro/relatorio_oic_outubro_2021.pdf. Acesso em 03 de fevereiro de 2022.

CONAB [2]. **Série Histórica das Safras**. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Outubro de 2021. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em 03 de fevereiro de 2022.

CORREA, P. C. Café na Amazônia.

COUTO, S. M. et al. **Características de frutos de café sob compressão**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.1, p.117-122, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 2002.

DICKOW, J.; WIKING, L. A. *Effect of homogenization temperature and pressure on 531 lipoprotein lipase activity and free fatty acids accumulation in milk.. Food and Nutrition 532 Sciences*, 4, 101-108, 2013.

EADKONG, T. et al. **Unraveling the vertical motion of Dipterocarpus alatus seed using Tracker**. 2020.

ELECTRA MÁQUINAS AGRÍCOLAS. **Electra colheitadeira de Café**. Varginha – Minas Gerais. Disponível em <https://electra.ind.br/>. Acesso em 15 de fevereiro de 2022.

ELIAS, A. M. T. **Relatório de Estágio Supervisionado Obrigatório (ESO) – Indústria & Comércio Café Ouro Verde LTDA**. 61f. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia de Alimentos, Garanhuns, BR - PE, 2018.

EMBRAPA [1]. **Módulos Fiscais**. Código Florestal – Adequação ambiental da paisagem rural. 2012. Disponível em <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl/modulo-fiscal>. Acesso em 10 de fevereiro de 2022.

EMBRAPA [2]. **Espaço Temático – Agricultura Familiar**. 2010. Disponível em <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar/perguntas-e-respostas>. Acesso em 15 de fevereiro de 2022.

EVERS, P. H. et al. **A física do jogo Super Mario World e a comparação com o mundo real**. A Física na Escola, v. 17, n. 2. 2019.

FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S. **Importância Econômica e Social do Café Conilon**. Livro Café Conilon. Espírito Santo. 2015. p. 35-49.

FERNANDES, A. L. T.; LIMA, L. A. **Características dos principais sistemas de irrigação do cafeeiro**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP. Revista Visão Agrícola, Piracicaba, n.12, p. 40-42, 2013.

FERREIRA, L. F. **Planilha de Dimensionamento de Dutos de Ar condicionado**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, Brasil. 2015.

FERREIRO, L. T. **Estados Unidos adquirem 20% dos Cafés do Brasil exportados para 119 países**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/66297161/estados-unidos-adquirem-20-dos-cafes-do-brasil-exportados-para-119-paises> . Acesso em 30 de janeiro de 2022.

FINALÉ, G. L. **Desempeño de vuelo de los frutos de Triplaris americana (Polygonacea) según su morfología**. Revista del Jardim Botánico Nacional. Vol. 37, 47-51. 2016

GASPAR, M. S.; AMORIM, D. A. **A importância do Crédito Rural no Agronegócio e na Atividade Cafeeira de Pequeno Porte na Região do Município de Monte Carmelo – MG**. Artigo Original - A Revista de Auditoria Governança e Contabilidade. 2021, v.9, n.40, p. 29-41.

GENERIC. **Sacolas Dobrável para Armazenamento de 2 Alças para Jardim**. Disponível em www.produto.mercadolivre.com.br/MLB-2693281937-de-dobavel-para-armazenamento-de-e-2-alcas-de-de-jardim-JM?attributes=COLOR_SECONDARY_COLOR%3AQmxhY2sgMjQgR2FsIDkwTA%3D%3D&quantity=1 . Acesso em 25 de agosto de 2022.

GIESBRECHT, I. C. B. **Projeto da Cadeia de Suprimentos Sustentável: o caso da produção de cafés especiais**. Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 103p. 2015.

GOIS, T. C. **Perfis metabolômicos da ingestão de café**. Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina – Título de Mestre em Ciências Médicas. Universidade de São Paulo, 2018.

GONÇALVES, D. A. S. R. **Implementação da EM ISSO 22000:2005 numa empresa de torrefação**. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2020.

Google Maps website. Disponível em <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em 03 de abril de 2022.

GOVERNO DO BRASIL [1]. **Café no Brasil**. 2017. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em 20 de janeiro de 2022.

GOVERNO DO BRASIL [2]. **Produção de café deve atingir 55,7 milhões de sacas na safra de 2022**. 2022. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Disponível em <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2022/01/producao-de-cafe-deve-atingir-55-7-milhoes-de-sacas-na-safra-de-2022> . Acesso em 20 de janeiro de 2022.

GOVERNO DO BRASIL [3]. **NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. 2022. Norma Regulamentadora N° 12 – Governo Brasileiro, Trabalho e Previdência. Disponível em <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário – Tabela 949: **Número de estabelecimentos agropecuários, Quantidade produzida, Área colhida e Valor da produção por agricultura familiar e não familiar e tipo de produção vegetal**. 2006. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/949>. Acesso em 10 de fevereiro de 2022.

IDEAL VENTILADORES. **Ventiladores Centrífugos – Catálogo**. Disponível em www.idealventiladores.com.br/produtos-e-servicos/ventiladores-centrifugos. Acesso em 20 de agosto de 2022.

JUNG, C. F. **Elaboração e redação de projetos de estágio e TCC**. Disponível em: <http://www.metodologia.net.br> . Acesso em: 30 de janeiro de 2022.

LEME, H. A. **A evolução das Máquinas de Beneficiar Café no Brasil**. Catedrático de Mecânica e Máquinas Agrícolas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo – Piracicaba, 1953.

LOURENÇO, G. L. **Planejamento da Manutenção para as Colheitadeiras de Café**. Monografia apresentada para obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Mecânica. Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, Minas Gerais, 2018.

LUXFER. **Tubos e aço Ltda – Produtos**. Disponível em www.luxfer.com.br/produtos.php. Acesso em 25 de agosto de 2022.

MARCOLAN, A. L.; ESPÍNDULA, M. C. **Café na Amazônia**. Editora Embrapa, 1ª Edição, capa dura, p. 474. Brasília, DF, 2015.

MARQUES, E. **Pilão: Artefato de origem remota muito popular no Brasil**. Coisas da Roça - Retrata a vida na roça, seus alimentos, utensílios, plantas medicinais e tradições, 2016. Disponível em <https://www.coisasdaroca.com/coisas-antigas-da-roca/pilao.html>. Acesso em 10 de fevereiro de 2022.

MARTIN, W. G. **Colheita Mecanizada do Café. Gerente de Produto – Colhedoras**. Poços de Caldas – Minas Gerais, 2013.

MARTINS, A. L. **História do Café**. Editora Contexto. São Paulo, p. 320, 2012.

MATWEB. **AISI 1050 Steel, cold drawn, 19-32 mm (0.75-1.25 in) round**. MatWeb – Material Property Data. 2022. Disponível em <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=03105257ef9947999d6c0086e6ac2c98>. Acesso em 15 de agosto de 2022.

MELLO, C. A. **Processamento de Imagens com MATLAB**. Centro de Informática. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em www.cin.ufpe.br/~cabm/visao/Aula03_ImagemMatLab.pdf. Acesso em 28 de agosto de 2022.

MENDONÇA, B. et al. **Descascador de Café Mecanizado**. Instituto Federal Minas Gerais. Arcos – MG, Brasil. 2018.

MENDONÇA, P. de V. **Sobre a Equação de Colebrook-White**. Comunicação ao 3º Congresso Nacional de Mecânica Teórica Aplicada realizado em Lisboa. Anais do Instituto Superior de Agronomia. 1983.

MENDONÇA, R. F et al. **Abordagem sobre a bienalidade de produção em plantas de café**. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre – ES, Brasil. 2011

MF RURAL [2]. **Descascador de Amostra e Renda de Café**. Marília, São Paulo. Disponível em <https://www.mfrural.com.br/detalhe/59739/descascador-de-amostra-e-renda-de-cafe>. Acesso em 24 de fevereiro de 2022.

MF RURAL [1]. **Torrador de café elétrico – TORRABEM**. Marília, São Paulo. Disponível em <https://www.mfrural.com.br/detalhe/228832/torrador-de-cafe-eletrico-torrabem>. Acesso em 24 de fevereiro de 2022.

MOTOVENT. **Catálogo de Ventiladores**. Motovent – Ventilação Industrial. Disponível em <https://www.motovent.com.br/categoria/ventiladores/>. Acesso em 20 de julho de 2022.

MUSEU DO CAFÉ. **Moedor de Café**. Centro Histórico, Santos – SP, 2016. Disponível em <https://www.museudocafe.org.br/conhecendo-o-acervo/moedor-de-cafe/>. Acesso em 24 de fevereiro de 2022.

NATREB. **Combatendo acidentes com proteções de polias – conforme NR-12**. 2022. NATREB – SOLUÇÕES INTELIGENTES PARA AS INDÚSTRIAS. Disponível em <https://www.natreb.com/combatendo-acidentes-com-protecoes-de-polias-conforme-nr-12>. Acesso em 20 de julho de 2022.

NEOMOTION. Catálogo Datasheet – Motores de Passo. Disponível em www.neomotion.com.br/catalogo-datasheet-motores-de-passo-2. Acesso em 22 de agosto de 2022.

NOBRE, G. W. et al. **Composição Química de Frutos Imaturos de Café Arábica (*Coffea arabica* L.) Processados por via seca e via úmida**. *Coffee Science*, Lavras, v. 6, n. 2, p. 107-113, 2011

OLIVEIRA, H. et al. **Caracterização física de café após torrefação e moagem**. Semina: Ciências Agrárias, vol. 35, núm. 4, pp. 1813-1827. Universidade Estadual de Londrina, Paraná, Brasil, 2014.

OIC. **Alta dos preços do café prossegue em outubro, apesar de melhores condições meteorológicas no Brasil**. ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ – RELATÓRIO SOBRE O MERCADO DE CAFÉ. Relatório sobre o mercado cafeeiro – outubro de 2021. Disponível em http://www.consorciopesquisacafe.com.br/images/stories/noticias/2021/dezembro/relatorio_oic_outubro_2021.pdf. Acesso em 03 de fevereiro de 2022.

OTAM. **Soler & Palau – Ventilation Group**. Vale Clima. Disponível em www.valeclima.com.br/ventilador. Acesso em 22 de agosto de 2022.

PALA, R. F. **Análise Técnica de um Secador Estático de Café**. Centro Universitário do Sul de Minas. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica – obtenção de grau de bacharel. Varginha, Minas Gerais, 2018.

PALACIN, J. J. F. et al. **Secagem Combinada de Café Cereja Descascado**. Revista Engenharia na Agricultura - REVENG, Universidade Federal de Viçosa – UFV, v. 17, n.3. Minas Gerais, 2009.

PALINIALVES. **Secador Rotativo para café e outros grãos - Modelo PA-SR/5 de capacidade de 5.000 L**. Palinialves – Máquinas para processamento de café, cacau, castanhas e cereais. Disponível em https://www.palinialves.com.br/produto.php?produto=53&pa_sr_5. Acesso em 10 de fevereiro de 2022.

PEDROSA, M. L. R. S. **A Importância da Terra do Café: Etapas e Procedimentos do Processo na Indústria**. Faculdade de Ciências Educacionais Capim Grosso Curso de Engenharia de Produção. Título de Bacharel em Engenharia de Produção. Capim Grosso – BA, 2018.

PEREIRA, C. A. **O Comportamento dos Custos de Produção do Café Arábica em Relação a Venda de Máquinas Agrícolas no Estado de Minas Gerais**. Dissertação apresentada à Faculdade de Gestão de Negócios da Universidade Federal de Uberlândia – Obtenção de Título de Mestre em Administração. Uberlândia, Minas Gerais, 2012.

REBORED, E. M. et al. **Processador e Transportador pneumático de grãos de café pós-secagem, designo ao pequeno produtor rural**. Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuma-RJ. Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico – REINPEC, v. 06, n. 3, 2020.

REVISTA CAFEICULTURA. **Peneira manual para preparação de café**. 8 de agosto. 2019. 1 vídeo (7 segundos). Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=4krBzM7I7QI>. Acesso em 15 de fevereiro de 2022.

RIBEIRO, A. S. et al. **Metodologia para Implementação de *Retrofitting* de Controladores de Equipamentos de Automação de Processos**. 8º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA. Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Engenharia Mecânica, Belo Horizonte – MG, Brasil. 2007.

RIBEIRO, L. C. M. **A invenção como ofício: as máquinas de preparo e benefício do café no século XIX**. *Anais do Museu Paulista, São Paulo*. N. Sér, v. 14, n. 1, p. 121-165, 2006.

RODRIGUES, H. L.; DIAS, F. D. **A origem do Café no Brasil: A semente que veio para ficar**. *Revista Pensar Gastronomia*, v.1, n.2. 2015.

SANTOS, V. E. D. et al. **Estudo sobre a diferença entre o tipo de café brasileiro de consumo interno e externo**. *Revista Processando o Saber*. São Paulo. 2021. p. 1-14.

SANTOS, M. R.; JÚNIOR, F. G. O. **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, Minas Gerais, 2017.

SECEX. Secretaria de Comércio Exterior – Produtos com maior saída do Brasil. Disponível em <https://www.gov.br/produktividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/comercio-exterior>. Acesso em 20 de janeiro de 2022.

SENA, P. M. B.; NETO, O. T. **Gestor e Usuários: Duas Visões da Proposta de Valor de um Centro de Informação**. *Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina, Florianópolis*, v.18, n.2, p. 979-1000, jul./dez., 2013.

SILVA, E. M. **Projeto Preliminar de um Separador Pneumático de Casca/Amêndoa da Noz Pecã**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Pampa - Título de Bacharel em Engenharia Mecânica. Alegrete, Rio Grande do Sul, 2016.

SILVA, G. C. **Design, café e percepção de valor**. 2017. Monografia (Graduação em Design) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2017

SILVA, J. S. **Colheita, Secagem e Armazenagem do café**. Editora Aprenda Fácil, p. 137, formato do livro: Brochura colado 14x21cm. Viçosa, Minas Gerais, 1997.

SILVA, M. O. **Técnica de Pulso Ultrassônico para Avaliação de Danos Mecânicos em grãos de café beneficiados**. Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de Mestre. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2014.

SOFTWARE EXCEL. **Aplicativo de Planilhas, Gráfico e Tabelas**. Microsoft, licença ShareWare, 2019, x64.

SOFTWARE FTOOL. **A Graphical-Interactive Program for Teaching Structural Behavior**. PUC RIO, MARLIN, TECGRAF. Versão 4.0, 2017.

SOFTWARE MATLAB. **Math, Graphic, Programming**. MathWorks. 2022.

SOFTWARE MIRODASHBOARD. **Lousa Digital Colaborativa On-line de nível empresarial**. Miro Enterprises. 2020.

SOFTWARE SciDAVis. **Scientific Data Analysis and Visualization**. SourceForge. 2017.

SOFTWARE SOLIDWORKS [1]. **Software para projetos CAD3D**. Dassault Systèmes SOLIDWORKS CORP. 2020.

SOFTWARE SOLIDWORKS [2]. **Visualize Professional**. Licença Dassault Systemes. 2022

SOFTWARE TRACKER. **VIDEO ANALYSIS AND MODELING TOOL**. Open Source Physics Java Framework. Physics Education. 2022.

SOLUTEM. **Proteção de Acoplamento NR12**. 2022. Solutem – Elétrica e Automação Industrial. Disponível em <https://www.solutem.com.br/produtos/protecao-de-acoplamento-nr12/>. Acesso em 20 de julho de 2022.

SOUZA, D. V. et al. **Estudo da Perda de Carga em uma Unidade Piloto de Transporte Pneumático em Fase Diluída**. CONIC – SEMESP: 13º Congresso Nacional de Iniciação Científica, vol. 1. Faculdade Anhanguera de Campinas – Unidade 3. 2013.

TOCI, A.; FARAH, A. **EFEITO DO PROCESSO DE DESCAFEINAÇÃO COM DICLOROMETANO SOBRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS CAFÉS ARÁBICA E ROBUSTA ANTES E APÓS A TORRAÇÃO**. Quim. Nova, Vol. 29, Nº 5. Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, 2006.

VIEIRA, D. R. **Cálculo da Área de Folhas com MATLAB**. MATLAB – Manipulação e Análise de Imagens. Disponível em www.danilorvieira.com/secoes/artigos/4/. Acesso em 28 de agosto de 2022.

WEG. **W50 – Motor Elétrico Trifásico (Catálogo Comercial)**. 2022. Werner Eggon Geraldo. Disponível em <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/search/downloadcenter?q=catálogo>. Acesso em 10 de agosto de 2022.

6 APÊNDICES

6.1 Apêndice 1 – Dimensões propostas para o sistema de admissão do descascador

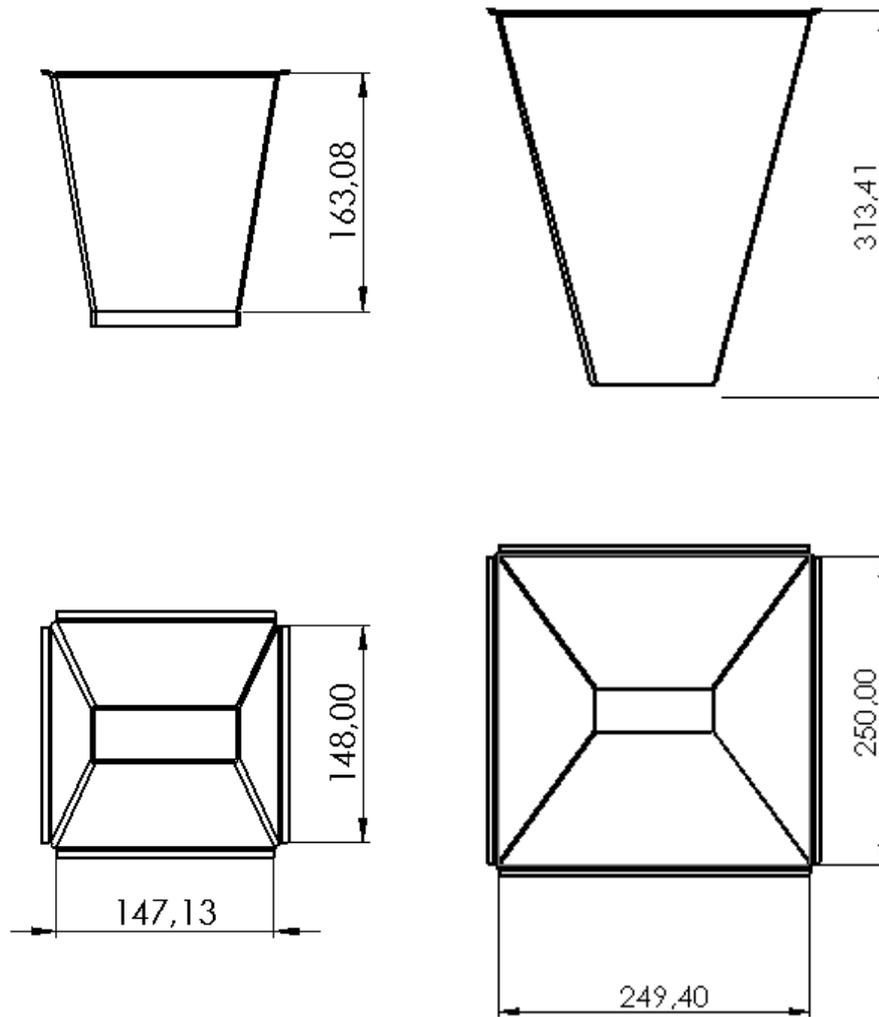
Por meio das ferramentas disponíveis no *Software SolidWorks*, obteve-se algumas informações para o compartimento de admissão inicial com base no desenho realizado com as dimensões adequadas, conforme pode-se estudar nos *prints* abaixo (*SOFTWARE SOLIDWORKS [1], 2022*).

Propriedades de massa da peça funil pré-dimensionamento e pós-dimensionamento

<p>Propriedades de massa de Peça1VolumeFunil Configuração: Valor predeterminado Sistema de coordenadas: -- valor predeterminado --</p> <p>Densidade = 7.90 quilogramas por litro</p> <p>Massa = 16.18 quilogramas</p> <p>Volume = 2.05 litros</p> <p>Área de superfície = 260300.43 milímetros quadrados</p> <p>Centro de massa: (milímetros) X = -47.84 Y = 100.77 Z = -16.79</p> <p>Eixos principais de inércia e momentos de inércia principais: (quilogramas * milímetro) Tomado no centro da massa. Ix = (0.00, 1.00, 0.00) Px = 42650.17 Iy = (-1.00, 0.00, 0.00) Py = 47342.04 Iz = (0.00, 0.00, 1.00) Pz = 53786.53</p> <p>Momentos de inércia: (quilogramas * milímetros quadrados) Obtido no centro de massa e alinhado com o sistema de coordenadas de saída. Lxx = 47342.06 Lxy = 2.14 Lxz = -9.35 Lyx = 2.14 Lyy = 42650.18 Lyz = 7.90 Lzx = -9.35 Lzy = 7.90 Lzz = 53786.52</p> <p>Momentos de inércia: (quilogramas * milímetros quadrados) Tomados no sistema de coordenadas de saída. Ixx = 216213.68 Ixy = -77999.28 Ixz = 12983.45 Iyx = -77999.28 Iyy = 84237.53 Iyz = -27361.88 Izx = 12983.45 Izy = -27361.88 Izz = 255127.45</p>	<p>Propriedades de massa de Peça1Funil Configuração: Valor predeterminado Sistema de coordenadas: -- valor predeterminado --</p> <p>* Inclui as propriedades de massa de um ou mais corpos/componentes ocultos.</p> <p>Densidade = 7.90 quilogramas por litro</p> <p>Massa = 67.99 quilogramas</p> <p>Volume = 8.61 litros</p> <p>Área de superfície = 689306.55 milímetros quadrados</p> <p>Centro de massa: (milímetros) X = -47.73 Y = 202.94 Z = -16.88</p> <p>Eixos principais de inércia e momentos de inércia principais: (quilogramas * milímetro) Tomado no centro da massa. Ix = (0.00, 1.00, 0.00) Px = 452686.26 Iy = (-1.00, 0.00, 0.00) Py = 570253.75 Iz = (0.00, 0.00, 1.00) Pz = 605163.73</p> <p>Momentos de inércia: (quilogramas * milímetros quadrados) Obtido no centro de massa e alinhado com o sistema de coordenadas de saída. Lxx = 570253.79 Lxy = 44.55 Lxz = -45.20 Lyx = 44.55 Lyy = 452686.28 Lyz = 21.32 Lzx = -45.20 Lzy = 21.32 Lzz = 605163.67</p> <p>Momentos de inércia: (quilogramas * milímetros quadrados) Tomados no sistema de coordenadas de saída. Ixx = 3389655.79 Ixy = -658442.54 Ixz = 54737.02 Iyx = -658442.54 Iyy = 626923.72 Iyz = -232923.93 Izx = 54737.02 Izy = -232923.93 Izz = 3560043.78</p>
---	---

Fonte: Elaboração própria

Em seguida, pode-se comparar o formato anterior do compartimento de entrada dos grãos com o componente de admissão com as dimensões projetadas.

Comparativo da variação de dimensão do compartimento de admissão de grãos

Fonte: Elaboração Própria

6.2 Apêndice 2 – Decisão do componente motor e dimensionamento das polias e correias do descascador

Inclui-se no atual tópico, em ordem numerada de acordo com a cronologia dos procedimentos, todos os cálculos realizados com auxílio do *Software Excel* para dimensionamento das polias e correias do descascador (*SOFTWARE EXCEL*, 2019).

i. Potência necessária para acionamento do sistema

A potência estimada com base na equação (4) é:

$$P = 5 * \frac{2\pi}{60} * 450 = 235,62 W = 0,32 cv$$

ii. Relação de transmissão

Substitui-se os devidos valores para N_1 e N_2 na equação (5):

$$i = \frac{1690}{450} = 3,76$$

Assim, a relação de transmissão, (i), adimensional, é de 3,76.

iii. Fator de Serviço

Baseando-se na Tabela 12 é possível definir o fator de serviço no intervalo para características normais de torque e choque leve, portanto:

$$K_s = 1,25$$

iv. Potência de Projeto

Sabe-se o valor da potência nominal, do fator de serviço e do fator de projeto, que neste caso é igual a 1. Substitui-se as grandezas adequadas na equação (6) e a potência de projeto é dada por:

$$H_d = 0,33 * 1,25 * 1 = 0,4125 HP$$

v. Diâmetro das Polias do descascador

Define-se:

$$d_1 = 100 \text{ mm}$$

Com a relação de transmissão, previamente determinada com a equação (5), tem-se:

$$\frac{d_2}{d_1} = 3,76$$

E o valor do diâmetro para polia maior é de:

$$d_2 = 100 * 3,76 = 376 \text{ mm}$$

vi. Velocidade da correia

Utilizando a equação (7):

$$V = \frac{\pi * 100 * 1690}{60000} = 8,85 \text{ m/s}$$

vii. Distância entre centros e comprimento da correia

Com base no intervalo determinado na equação (10) considera-se que a distância entre os centros será de:

$$C = 1000 \text{ mm}$$

Determina-se então, a partir da equação (8), o comprimento da correia:

$$L_p = 2 * 1000 + \pi (476)/2 + (276)^2/(4 * 1000)$$

$$L_p = 2766,75 \text{ mm}$$

viii. Correção da distância entre os centros e do comprimento da correia

Baseando-se na Tabela 15, que expõe circunferências internas de correias padronizadas em V, opta-se pela correia A800 que possui circunferência interna de 2800 mm. Uma vez que os cálculos de comprimento da correia são realizados com base no comprimento primitivo, soma-se, para seção de correia em A 32 mm.

Tal correia tem uma seção primitiva de 2832 mm já que para seção A deve-se adicionar 32 mm a circunferência interna. A distância entre centros é corrigida através da equação (11). Assim:

$$C = 1000 - \frac{2766,75 - 2832}{2} = 967,38 \text{ mm}$$

ix. Potência admissível por correia

O fator de correção do ângulo de contato depende do ângulo de abraçamento estimado pela equação (13). Realocando os valores necessários obtém-se o seguinte resultado para o ângulo de abraçamento:

$$\phi = 180 - \frac{376 - 100}{967} * 60 = 162,87 \text{ graus}$$

Conforme observado na Tabela 16, para o ângulo de abraçamento de 162,87 graus o valor equivalente de K_1 é igual a 0,79. Com os dados de entrada de perfil seção A e comprimento de correia de 2832 mm indica-se um fator de comprimento K_2 de 1,10 para o presente projeto.

Efetivamente pode-se então estimar a potência admissível por correia:

$$H_a = 0,79 * 1,10 * 1,16 = 1,00804HP$$

x. Número de correias necessárias

De acordo com a equação (14), o número de correias necessárias neste projeto é dado por:

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a} = \frac{0,4125}{1,00804} = 0,40921$$

Deste modo, com apenas uma correia, supre-se a necessidade do projeto.

xi. Tração centrífuga

Para seção da correia A, o valor de K_c é de 0,561. Assim, através da expressão (15) obtém-se o seguinte valor para tração centrífuga:

$$F_c = 0,561 \left(\frac{8,85}{2,4} \right)^2 = 7,628 \text{ N}$$

xii. ΔF , tração máxima, tração mínima e tração inicial

Adequando as unidade de medida de acordo com a necessidade e apoiando-se na equação (16) adquire-se o resultado da diferença entre a tração máxima e a tração mínima, ΔF .

$$\Delta F = \frac{307,6012 \text{ W/1}}{8,85 \text{ m/s}} = 34,76 \text{ N} = F_1 - F_2$$

Extrai-se dessa equação que ΔF é igual a 34,76 N. Assim, seguindo as recomendações das equações (17) e (18) para cada variável, obtém-se os seguintes resultados:

$$F_1 = 42,39 \text{ N}$$

$$F_2 = 7,63 \text{ N}$$

Com esses parâmetros já calculados, utiliza-se a equação (19) fica:

$$F_i = \frac{42,39 + 7,63}{2} - 7,628 = 17,382 \text{ N}$$

xiii. Fator de segurança

Através da equação (20) e, com as variáveis já arranjadas, é fácil ver que:

$$n_{fs} = \frac{1,00804 * 1}{0,33 * 1,25} = 2,45$$

xiv. Tempo de vida

Com o intuito de estimar o tempo de vida através da equação (21), inicialmente, aplica-se as equações (23) e (24) e, em seguida, a equação (22), que determina o número de voltas. Concluído esse processo pode-se substituir as variáveis na equação (21).

Calcula-se T_1 e T_2 com o valor do parâmetro Kb conforme exposto na Tabela 19:

$$T_1 = 42,39 + \frac{24}{0,100} = 282,39 \text{ N}$$

$$T_2 = 42,39 + \frac{24}{0,376} = 106,22 \text{ N}$$

Com esses valores junto aos parâmetros de durabilidade tabelados, cujos valores são 2999 e 11,089; pode-se aplicar a equação (22), de modo que:

$$N_p = \left[\left(\frac{2999}{282,39} \right)^{-11,089} + \left(\frac{2999}{106,22} \right)^{-11,089} \right]^{-1}$$

$$N_p = 2,39 * 10^{11}$$

Como o valor numérico de N_p é maior do que o limite válido para equação o tempo de vida, t , em horas é:

$$t > \frac{N_p L_p}{3600 * V} = \frac{10^{11} * 2,832}{3600 * 8,85} = 1,004 * 10^6 \text{ horas}$$

6.3 Apêndice 3 – Dimensionamento do eixo do motor no descascador

- i. Força resultante da polia e momento fletor máximo

Aplica-se a equação (26) para encontrar a força resultante da polia:

$$F_R = \sqrt{42,39^2 + 7,63^2 + 2 * 42,39 * 7,63 \cos (180 - 162,87)}$$

Portanto $F_R = 49,73 \text{ N}$. Utiliza-se esse resultado a fim de estimar o momento fletor máximo atuante no eixo, para tanto, se faz uso da equação (27).

$$M_{m\acute{a}x} = 49,73 * 0,15 = 7,46 \text{ Nm}$$

- ii. Tensões de flexão e torção

Para estimar as tensões devido à flexão e a torção aproveita-se das equações (28) e (29) considerando o diâmetro do eixo de 10mm .

$$\sigma = \frac{32 * 7,46}{\pi * 0,01^3} = 75,9 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{16 * 1,371}{\pi * 0,01^3} = 6,98 \text{ MPa}$$

- iii. Tensão máxima de cisalhamento

A tensão máxima de cisalhamento é dada pela equação (30):

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{75,9}{2}\right)^2 + 6,98^2} = 38,63 \text{ MPa}$$

Analisando a falha por escoamento, conforme a expressão (31), nota-se que:

$$\tau_{m\acute{a}x} = 38,63 < \frac{690}{2}$$

iv. Diâmetro mínimo do eixo

Aplica-se a equação (33) para um fator de segurança de 2,5 e obtém-se:

$$\sigma_{adm} = \frac{690 \text{ MPa}}{2,5} = 276 \text{ MPa}$$

Portanto pode-se aplicar a equação (32) para obter o diâmetro mínimo recomendado para o eixo, com um fator de forma igual a 1 para eixo maciço.

$$d \geq 2,17 * \sqrt[3]{1 * \frac{7,46}{276 * 10^6}} = 0,0065 \text{ m}$$

Ou seja, o diâmetro mínimo recomendado é de 6,5 *mm*. Mantém-se, portanto, o diâmetro de eixo sugerido de 10 *mm*.

6.4 Apêndice 4 – Determinação das áreas das cascas e grãos de café

Inclui-se, nas imagens abaixo, os códigos utilizados para realização do procedimento de determinação das áreas das cascas e dos grãos.

Código utilizado em MatLab para determinação de área das cascas

```

Editor - C:\Users\karol catta preta\Dropbox\Projeto de Graduação 2\Projeto Detalhado Separador\codgareamatlab.m
codgareamatlab.m
1 %Universidade de Brasília
2 %Faculdade de Tecnologia
3 %Karol Catta Preta
4 %Determinação de área das cascas projetadas
5 %Referências: UFPE Processamento de Imagens com Matlab; Danilo R. Vieira
6 %Área de Folhas com Matlab.
7
8 clear all; close all
9
10 %Importa imagem
11 cascas = imread('AREACASCA.png');
12 imshow(cascas);
13
14
15 %Converte em preto e branco
16 I = rgb2gray(cascas);
17 bw = imbinarize(I, graythresh(I));
18 imshow(bw);
19
20 %Determina Contorno das cascas
21
22 [B,L] = bwboundaries(bw);
23 imshow(label2rgb(L,@jet,[.1 .1 .1]));
24
25 hold on
26 for k = 1:length(B)
27     boundary = B(k);
28     plot(boundary(:,2), boundary(:,1),'black','Linewidth', 2);
29 end
30
31 %Áreas
32 stats = regionprops(L, 'Area');
33
34 % Apresentação dos Dados
35 stats = regionprops(L, 'Area');
36 for k = 1:length(B)
37     boundary = B(k);
38     area = stats(k).Area;
39     area_string = sprintf('%0f',area);
40     text(boundary(1,2)+5,boundary(1,1)+13,area_string,...
41         'Color','white',...
42         'FontSize',6,...
43         'Fontweight','bold',...
44         'BackgroundColor','black',...
45         'FontName','Times');
46 end
47
48 hold off
49
50

```

Fonte: Adaptado de MELLO, 2022 e VIEIRA, 2022.

Código utilizado em MatLab para determinação de área dos grãos

```

Editor - C:\Users\karol catta preta\Dropbox\Projeto de Graduação 2\Projeto Detalhado Separador\codgareamatlab2.m
codgareamatlab2.m  codgareamatlab2.m  +
1  %Universidade de Brasilia
2  %Faculdade de Tecnologia
3  %Karol Catta Preta
4  %Determinação de área dos grãos projetados
5  %Referências: UFPE Processamento de Imagens com MatLab; Danilo R. vieira
6  %Área de Folhas com MatLAB.
7
8  clear all; close all
9
10 %Importa imagem
11
12 graos = imread('AREA_GRAOS.JPEG');
13 imshow(graos);
14
15 %Converte em preto e branco
16 I = rgb2gray (graos);
17 bw = imbinarize (I, graythresh(I));
18 imshow (bw);
19
20 %Determina Contorno dos grãos
21
22 [B,L] = bwboundaries (bw);
23 imshow(label2rgb(L, @jet, [.1 .1 .1]));
24
25 hold on
26 for k = 1: length(B)
27     boundary = B{k};
28     plot(boundary(:,2), boundary(:,1),'black','Linewidth', 2);
29 end
30
31
32 %Áreas
33 stats = regionprops(L, 'Area');
34
35 % Apresentação dos Dados
36 stats = regionprops(L, 'Area');
37 for k = 1:length(B)
38     boundary = B{k};
39     area = stats(k).Area;
40     area_string = sprintf('%0f',area);
41     text(boundary(1,2)+5,boundary(1,1)+13,area_string,...
42         'Color','white',...
43         'FontSize',6,...
44         'Fontweight','bold',...
45         'BackgroundColor','black',...
46         'FontName','Times');
47 end
48
49 hold off
50

```

Fonte: Adaptado de MELLO, 2022 e VIEIRA, 2022.

6.5 Apêndice 5 – Dimensionamento da tubulação e do ventilador para o separador de grãos e cascas

i. Número de Reynolds e Diâmetro hidráulico da tubulação

Deve-se definir o valor do comprimento característico para calcular o *número de Reynolds*. Pode-se estimar o diâmetro de acordo com a equação (43) e, com as dimensões determinadas para seção da tubulação, $a = 250\text{mm}$ e $b = 325\text{mm}$:

$$D = \frac{2 * 0,325 * 0,25}{(0,325 + 0,25)} = 0,28261 \text{ m}$$

Sabe-se que $V_{med} = V_{ar} = 2 \text{ m/s}$ e a viscosidade cinemática do ar a 20°C é de $\nu = 1,516 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Substitui-se, então, na equação (42), os valores de projeto para cálculo do *número de Reynolds*, adquire-se os seguintes resultados:

$$Re = \frac{2 * 0,282}{1,516 * 10^{-5}} = 3,73 * 10^4$$

ii. Vazão de projeto

Estima-se a vazão necessária por meio da equação (44):

$$Q = A_c V_{ar} = 0,25 * 0,325 * 2 = 0,1625 \text{ m}^3/\text{s}$$

iii. Fator de atrito e perda de carga

Aplica-se a equação (46) a fim de calcular o fator de atrito. A rugosidade ε para tubos novos de aço comercial é de $0,045 \text{ mm}$ então:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left(\frac{0,045}{3,7} + \frac{2,51}{3,6 * 10^4 \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0,023$$

Substitui-se o peso específico, dado pela equação (47), na equação (45) e obtém-se o valor da perda de carga (ΔP) do trecho retilíneo da tubulação, com $L = 0,5 \text{ m}$:

$$\Delta P = 0,023 * \frac{0,5}{0,282} * \frac{1,204 * 2^2}{2}$$

$$\Delta P = 0,10 \text{ Pa}$$

A perda de carga nas curvas suaves de 90 graus na entrada e na saída do sistema são obtidas por meio da expressão (48). Para o coeficiente de perda (K_L) numericamente igual a 0,9 estima-se:

$$h_L = 0,9 \frac{2^2}{2 * 9,807}$$

$$h_L = 0,183 \text{ m}$$

A queda de pressão nas curvas suaves de 90 graus é dada pela equação (49), assim:

$$\Delta P = h_L * \rho_{ar} * g = 0,183 * 1,204 * 9,807$$

$$\Delta P = 2,17 \text{ Pa}$$

Com base na equação (50), a pressão estática total do sistema é assim considerada:

$$\Delta P_{total} = 2,17 * 3 + 0,10 \sim 6,61 \text{ Pa}$$

Utiliza-se então a equação (52) para estimar a pressão dinâmica:

$$P_D = \frac{1,204 * 2^2}{2} = 2,408 \text{ Pa}$$

E a pressão total é obtida por meio da equação (51), de modo que:

$$P_{total} = 2,41 + 6,61 = 9,02 \text{ Pa}$$

6.6 Apêndice 6 – Processo decisório do componente motor e dimensionamento das polias e da correia do torrador

O presente tópico apresenta os cálculos feitos durante o processo decisório do componente motor e, também, as operações realizadas, com auxílio do *Software Excel*, para dimensionamento das polias e correias do torrador (*SOFTWARE EXCEL*, 2019).

i. Potência necessária para acionamento do sistema

A potência estimada com base na equação (4) é:

$$P = 7 * \frac{2\pi}{60} * 80 = 58,64 \text{ W} = 0,08 \text{ cv}$$

ii. Relação de transmissão

Substitui-se os devidos valores para N_1 e N_2 na equação (5):

$$i_t = \frac{180}{80} = 2,25$$

Assim, a relação de transmissão, (i), adimensional, é de 2,25.

iii. Fator de Serviço

Baseando-se na Tabela 12 é possível definir o fator de serviço no intervalo para características normais de torque e choque leve, portanto:

$$K_s = 1,2$$

iv. Potência de Projeto

Substitui-se as grandezas adequadas na equação (6) e a potência de projeto é dada por:

$$H_d = 0,18 * 1,2 * 1 = 0,216 \text{ HP}$$

v. Diâmetro das Polias do descascador

Desse modo define-se para polia menor:

$$d_1 = 140 \text{ mm}$$

E, por consequência, o diâmetro da polia maior será:

$$d_2 = 140 * 2,25 = 315 \text{ mm}$$

vi. Velocidade da correia

Utilizando a equação (7):

$$V = \pi dn = \frac{\pi * 140 * 200}{60000} = 1,32 \text{ m/s}$$

vii. Distância entre centros e comprimento da correia

Com base no intervalo determinado na equação (54) considera-se que a distância entre os centros será de:

$$C = 1000 \text{ mm}$$

Determina-se então o comprimento da correia:

$$L_p = 2 * 1000 + \pi (455)/2 + (175)^2/(4 * 1000)$$

$$L_p = 2722,37 \text{ mm}$$

viii. Correção da distância entre os centros e do comprimento da correia

Baseando-se na TABELA 32, que expõe circunferências internas de correias padronizadas em V, opta-se pela correia B800, que possui circunferência interna de 2800 mm. Uma vez que os cálculos de comprimento da correia são realizados com base no comprimento primitivo, soma-se, para seção de correia em B, 45 mm.

Tal correia tem uma seção primitiva de 2845 mm. A distância entre centros é corrigida através da equação (11). Assim:

$$C = 1000 - \frac{2722,37 - 2845}{2} = 1061,32 \text{ mm}$$

ix. Potência admissível por correia

O fator de correção do ângulo de contato depende do ângulo de abraçamento estimado pela equação (13). Realocando os valores necessários obtém-se o seguinte resultado para o ângulo de abraçamento:

$$\phi = 180 - \frac{315 - 140}{1061} * 60 = 170 \text{ graus}$$

Conforme observado na Tabela 16, para o ângulo de abraçamento de 170 *graus* o valor equivalente de K_1 é igual a 0,77. Com os dados de entrada de perfil seção B e comprimento de correia de 2845 mm indica-se um fator de comprimento K_2 de 1,05 para essa etapa.

Efetivamente pode-se então estimar a potência admissível por correia:

$$H_a = 0,77 * 1,05 * 0,87 = 0,7034 \text{ HP}$$

x. Número de correias necessárias

De acordo com a equação (14), o número de correias necessárias neste projeto é dado por:

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a} = \frac{0,216}{0,7034} = 0,307$$

Deste modo, com apenas uma correia, supre-se a necessidade do projeto.

xi. Tração centrífuga

A fim de obter variáveis relevantes para estimar as trações, máxima (F_1) e mínima (F_2), calcula-se a tração centrífuga (F_c):

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{2,4} \right)^2 [N]$$

Para seção da correia B, o valor de K_c é de 0,965. Assim:

$$F_c = 0,965 \left(\frac{1,32}{2,4} \right)^2 = 0,3 N$$

xii. ΔF , tração máxima, tração mínima e tração inicial

Adequando as unidade de medida de acordo com a necessidade e apoiando-se na equação (16) adquire-se o resultado da diferença entre a tração máxima e a tração mínima, ΔF .

$$\Delta F = \frac{H_d/N_b}{\pi n d} = \frac{161 / 1}{\pi * \frac{180}{60} * 0,14} = F_1 - F_2$$

Extrai-se dessa equação que ΔF é igual a 122 N. Assim, seguindo as recomendações das equações (17) e (18) e substituindo os valores adequados para cada variável, conforme o passo a passo disponibilizado na 10ª edição de Elementos de Máquinas de Shigley, obtém-se os seguintes resultados (BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K., 2016).

$$F_1 = 122,3 N$$

$$F_2 = 0,3 N$$

Com esses parâmetros já calculados, utiliza-se a equação (19) fica:

$$F_i = \frac{122,3 + 0,3}{2} - 0,3 = 61,6 N$$

xiii. Fator de segurança

Através da equação (20) e, com as variáveis já arranjadas, é fácil ver que o fator de segurança é:

$$n_{fs} = \frac{H_a N_b}{H_{nom} K_S} = \frac{0,7034 * 1}{0,18 * 1,2} = 3,26$$

xiv. Tempo de vida

Com o intuito de estimar o tempo de vida através da equação (21), inicialmente, aplica-se as equações (23) e (24) e, em seguida, a equação (22), que determina o número de voltas. Concluído esse processo pode-se substituir as variáveis na equação (21).

Calcula-se T_1 e T_2 com o valor do parâmetro K_b conforme exposto na Tabela 19:

$$T_1 = 122,3 + \frac{65}{0,140} = 586,58 \text{ N}$$

$$T_2 = 122,3 + \frac{65}{0,315} = 328,65 \text{ N}$$

Com esses valores junto aos parâmetros de durabilidade tabelados, para seção da correia B os parâmetro são definidos de forma que $K = 5309$ e $b = 10,926$; pode-se aplicar a equação (22), de modo que:

$$N_p = \left[\left(\frac{5309}{586,58} \right)^{-10,926} + \left(\frac{5309}{328,65} \right)^{-10,926} \right]^{-1}$$

$$N_p = 2,83 * 10^{10}$$

Como o valor numérico de N_p é maior do que 10^9 voltas, o limite válido para equação, o tempo de vida, t , em horas é:

$$t > \frac{N_p L_p}{3600 * V} = \frac{10^{10} * 2,845}{3600 * 1,32} = 5,9869 * 10^6 \text{ horas}$$