

FELIPE GUSTAVO DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA RECOLHEDORA AUTOPROPELIDA PARA
COLHEITA DE CAFÉ EM ÁREAS DE MONTANHA TERRACEADAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Mauri Martins Teixeira

Coorientadores: Geice Paula Villibor
Marconi Ribeiro F. Júnior
Paulo Roberto Cecon

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S729d
2023 Souza, Felipe Gustavo de, 1992-
Desenvolvimento de uma colhedora autopropelida para
colheita de café em áreas de montanha terraceadas / Felipe
Gustavo de Souza. – Viçosa, MG, 2023.
1 tese eletrônica (81 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Mauri Martins Teixeira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2023.
Referências bibliográficas: f. 79-81.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.640>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Café - Cultivo. 2. Terraceamento. 3. Máquinas agrícolas.
I. Teixeira, Mauri Martins, 1953-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 633.73

FELIPE GUSTAVO DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA RECOLHEDORA AUTOPROPELIDA PARA
COLHEITA DE CAFÉ EM ÁREAS DE MONTANHA TERRACEADAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 10 de fevereiro de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **FELIPE GUSTAVO DE SOUZA**
Data: 23/10/2023 14:52:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Felipe Gustavo de Souza
Autor

Documento assinado digitalmente
 **MAURI MARTINS TEIXEIRA**
Data: 23/10/2023 16:01:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mauri Martins Teixeira
Orientador

À minha esposa e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé e força para concluir mais esta etapa da minha vida.

À minha esposa Adryse Marques Dias de Souza, pelo amor, apoio, companheirismo, amizade, carinho e puxões de orelha ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, Elisabeth e Osmar, pelas palavras de apoio e compreensão.

Ao professor Mauri Martins Teixeira, pela orientação, ensinamento, compreensão, confiança e exemplo de profissional que é.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Aos professores Geice Paula Villibor, Marconi Ribeiro Furtado Júnior e Paulo Roberto Cecon pela ajuda e auxílio na realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que estiverem presentes nos momentos difíceis e de alguma forma colaboraram com a realização deste trabalho.

“Ninguém começa no topo do mundo. Nem você, nem eu, nem mesmo os mais sábios da Terra”.

(Sousuke Aizen)

RESUMO

SOUZA, Felipe Gustavo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2023. **Desenvolvimento de uma recolhedora autopropelida para a colheita de café em áreas de montanha terraceadas**. Orientador: Mauri Martins Teixeira. Coorientadores: Geice Paula Villibor, Marconi Ribeiro Furtado Júnior e Paulo Roberto Cecon.

Nas inúmeras etapas de produção da cultura de café de montanha, a colheita dos frutos de café é a mais trabalhosa, uma vez que a mesma é realizada, muitas vezes, de forma manual ou semimecanizada. Esse fato gera alguns problemas, pois atualmente existe grande escassez de trabalhadores nas lavouras, isso pode levar a tempos de colheita mais longos, elevando o custo de produção, diminuindo a qualidade dos frutos, reduzindo o preço do produto, e conseqüentemente, diminuindo o lucro da atividade. Objetivou-se com este trabalho o desenvolvimento de uma recolhedora autopropelida para a etapa da colheita de café em áreas de montanha terraceada. Elaborou-se o projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado da recolhedora. Desenhou-se um modelo virtual do protótipo, com o objetivo de facilitar e guiar a construção do mesmo e, suas correções. Fabricou-se um protótipo da recolhedora autopropelida e avaliou-se suas dimensões e peso. Realizou-se ensaios de desempenho na barra de tração, sendo avaliados a patinagem, consumo horário de combustível, consumo específico de combustível e eficiência na barra de tração. Os ensaios referentes às perdas no recolhimento e capacidade operacional foram realizados em fazenda de café de montanha terraceada, localizada no município de Coimbra, MG. Além disso foi realizada uma avaliação das emissões de ruído da recolhedora autopropelida. Observou-se que, tanto as soluções encontradas para a recolhedora autopropelida, quanto os componentes projetados são passíveis de construção. O desenvolvimento de um modelo virtual possibilitou observar falhas no projeto e corrigi-las em tempo hábil. O protótipo da recolhedora autopropelida apresentou baixo centro de massa, fazendo com que a inclinação transversal dinâmica máxima fosse de 68,4%. O lastro não afetou os parâmetros de patinagem e consumo horário. Observou-se que não houve correlação entre a inclinação do terreno e as perdas no recolhimento, assim como não houve correlação entre a inclinação do terreno e a capacidade operacional da máquina. O valor médio das perdas no recolhimento foi de 8,4%, sendo que o maior

percentual de perdas (11,2%) foi observado na declividade de 30°. A média da capacidade operacional do protótipo foi 0,096 ha h⁻¹, cerca de 8 vezes maior que o valor de 0,012 ha h⁻¹ que foi a capacidade operacional média do trabalho convencional realizado na fazenda. Verificou-se que o nível de ruído, 89 dB (A), exigia que o operador da máquina usasse proteção auditiva durante o trabalho. A recolhedora autopropelida para colheita de café em áreas de montanha terraceada apresentou maior capacidade operacional e um nível de perdas aceitável, fazendo com que, com algumas melhorias construtivas, a mesma seja uma alternativa viável para solucionar os problemas enfrentados no processo de colheita dos frutos de café em áreas de montanha terraceadas.

Palavras-chave: Cafeicultura. Recolhimento. Máquinas. Terraceamento.

ABSTRACT

SOUZA, Felipe Gustavo de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2023. **Development of a self-propelled collector for coffee harvesting in mountain region.** Adviser: Mauri Martins Teixeira. Co-advisers: Geice Paula Villibor, Marconi Ribeiro Furtado Júnior and Paulo Roberto Cecon.

In the numerous stages of mountain coffee cultivation, harvesting the coffee fruits is the most labor-intensive, as it is often done manually or semi-mechanized. This fact generates several problems, as there is currently a shortage of workers in the plantations, which can lead to longer harvest times, increasing production costs, decreasing fruit quality, reducing product prices, and consequently decreasing activity profits. The objective of this study was to develop a self-propelled coffee harvester for terraced mountain areas. The informational, conceptual, preliminary, and detailed design of the harvester was elaborated. A virtual model of the prototype was created to facilitate and guide its construction and corrections. A prototype of the self-propelled harvester was manufactured, and its dimensions and weight were evaluated. Performance tests were conducted on the traction bar, assessing slippage, hourly fuel consumption, specific fuel consumption, and traction bar efficiency. Tests regarding harvesting losses and operational capacity were carried out in a terraced mountain coffee farm located in the municipality of Coimbra, MG. Additionally, an evaluation of the noise emissions from the self-propelled harvester was performed. It was observed that both the solutions found for the self-propelled harvester and the designed components are feasible for construction. The development of a virtual model allowed for the identification of design flaws and their timely correction. The prototype of the self-propelled harvester had a low center of mass, resulting in a maximum dynamic transverse inclination of 68.4%. Ballasting did not affect slippage and hourly consumption parameters. There was no correlation between terrain inclination and harvesting losses, as well as between terrain inclination and machine operational capacity. The average harvesting loss was 8.4%, with the highest percentage of losses (11.2%) observed at a slope of 30°. The average operational capacity of the prototype was 0.096 ha h⁻¹, approximately 8 times higher than the average operational capacity of conventional work performed on the farm (0.012 ha h⁻¹). The noise level, 89 dB (A), required the machine operator to use hearing protection during work. The self-propelled harvester for coffee

harvesting in terraced mountain areas showed higher operational capacity and an acceptable level of losses, making it a viable alternative to solve the problems faced in the process of coffee fruit harvesting in terraced mountain areas.

Keywords: Coffee growing. Retreat. Machines. Terracing.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivos específicos.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Desenvolvimento de projeto da recolhedora autopropelida.....	17
3.1.1. Esclarecimento da tarefa.....	19
3.1.2. Projeto conceitual.....	22
3.1.3. Projeto preliminar.....	23
3.1.4. Projeto detalhado da recolhedora de café.....	23
3.2. Desenvolvimento de um modelo virtual.....	24
3.3. Construção do protótipo da recolhedora de café.....	24
3.4. Caracterização dimensional e ponderal do protótipo da recolhedora autopropelida para colheita de café em regiões de montanha terraceada.....	24
3.4.1. Dimensões do protótipo da recolhedora autopropelida para colheita de café em regiões de montanha terraceada.....	24
3.4.2. Vão livre horizontal, vão livre vertical e ângulos de entrada e saída do protótipo.....	25
3.4.3. Posição do centro de massa do protótipo da recolhedora.....	25
3.4.4. Limites de estabilidade do protótipo da recolhedora.....	28
3.4.5. Raio e espaço de giro da plataforma para locomoção de colhedora de café.....	29
3.5. Avaliação do protótipo da recolhedora.....	29
3.5.1. Desempenho na barra de tração.....	30
3.5.3. Tempos de colheita e capacidade operacional.....	32
3.5.4. Determinação das tensões nos dedos retráteis do mecanismo recolhedor.....	33
3.6. Avaliação dos níveis de ruído.....	33
3.7. Delineamento experimental.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1. Desenvolvimento de projeto da recolhedora autopropelida.....	36
4.1.1. Esclarecimento da tarefa.....	36
4.1.2. Projeto conceitual.....	45
4.1.3. Projeto preliminar, detalhado e desenvolvimento de um modelo virtual.....	50
4.2. Construção do protótipo da recolhedora de café.....	56

4.3. Caracterização dimensional e ponderal do protótipo da plataforma para locomoção de colhedora de café.....	62
4.4. Avaliação do protótipo da recolhedora.....	65
4.4.1. Desempenho na barra de tração da recolhedora.....	65
4.4.2. Perda no recolhimento.....	70
4.4.3. Eficiência e capacidade operacional da recolhedora.....	73
4.4.4. Determinação das tensões nos dedos retráteis do mecanismo recolhedor.....	74
4.5. Avaliação dos níveis de ruído.....	76
5. CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS.....	79

1. INTRODUÇÃO

O café arábica (*Coffea arábica* L.) faz parte da família *Rubiaceae* e ao gênero *Coffea*, sendo produzido principalmente em regiões subtropicais e tropicais (Melese e Kolech, 2021). O gênero *Coffea* compreende ao menos 125 espécies, entretanto apenas duas possuem importância do ponto de vista econômico: *Coffea arabica* L. (café arábica) e o *Coffea canephora* (café robusta) (Marques et al., 2022).

O café arábica é de longe o mais significativo na produção global de café, mas é considerado mais sensível a temperaturas elevadas do que o café robusta (Marques et al., 2021). No Brasil, o café é uma das commodities mais importantes do mercado e grande parte da economia brasileira. O estado de Minas Gerais se destaca na produção de café arábica, sendo uma das principais áreas de cultivo a região da zona da mata. A área é montanhosa e de clima ameno, tornando-a ideal para a produção de café de alta qualidade.

A colheita do café pode ser dividida em seis operações: arruação, derriça, varrição, recolhimento, abanação e transporte. A etapa do recolhimento consiste em juntar o café varrido ou derriçado. Essa operação é realizada, em regiões de montanha, utilizando-se panos ou lençóis plásticos por debaixo da planta.

A colheita de café pode ser realizada de forma manual, semimecanizada ou mecanizada. No sistema manual todas as etapas do processo de colheita, exceto o transporte, são realizadas sem o auxílio de máquinas. Devido a esse entrave surgem alguns problemas para esse tipo de colheita, sendo os principais a escassez de mão de obra e o alto custo da operação. A reduzida mão de obra disponível está ligada a pouca oferta de trabalhadores no meio rural e aos salários praticados para esse tipo de serviço, sendo inferiores aos praticados em centros urbanos (Souza et al., 2020). A falta de mão de obra faz aumentar seu preço, aumentando os custos de produção na época de colheita.

Mecanizar os processos agrícolas é a chave para que o agricultor se mantenha na atividade de forma sustentável. Os custos de mão de obra são bastante reduzidos pela colheita mecanizada nas lavouras de café. Essa prática reduz o tempo necessário para a realização da operação e previne a deterioração da qualidade devido ao atraso na coleta dos frutos no campo (dos Santos Guaraldo et al., 2018). Os gastos associados à colheita mecanizada podem diminuir os custos de

colheita em uma faixa de 23% a 67%, em comparação com a colheita manual, conforme indicado por Santinato et al. (2015).

A colheita de café na região de montanha é feita, atualmente, de forma manual ou semimecanizada, sendo esta realizada com o auxílio de derriçadoras portáteis. Este sistema é geralmente executado por, pelo menos, duas pessoas. Um trabalhador opera a derriçadora e o outro é responsável por repassar, levantar e abanar o café colhido (Cunha et al., 2016).

O processo de derriça semimecanizada produz um aumento de rendimento no trabalho da colheita, se comparado ao sistema manual (Almeida et al., 2019). No entanto, a prática da derriça no pano resulta em rendimentos mais baixos e custo de produção significativamente maiores em comparação com a colheita mecanizada. Ventureli et al. (2016) mostraram as diferenças obtidas quanto a sua economia financeira, redução no tempo da operação, menor quantidade de mão de obra utilizada e a viabilidade pela implantação da mecanização de uma forma geral.

Além disso, as condições a que os trabalhadores são submetidos durante a colheita na cafeicultura de montanha são muito árduas. Muitas vezes esse trabalho é dificultoso e demanda elevado esforço físico. Analisando a precarização do trabalho na agricultura familiar de cafeicultores em Minas Gerais, Boas (2022) concluiu que vários cafeicultores não detêm a autonomia sobre as deliberações relativas ao estabelecimento agrícola e ao processo de produção, além de trabalharem em jornadas de trabalho insalubres e extensas, as quais ocasionam sérios agravos aos seus estados de saúde.

Muitas pesquisas estão sendo realizadas atualmente visando a mecanização de áreas de plantio com declividade igual ou superior a 30%. Oliveira (2013) desenvolveu uma colhedora de café autopropelida para áreas montanhosas e concluiu que é possível construir uma colhedora que apresente estabilidade em terrenos com declives de até 50%, mesmo em nível de protótipo. Além das questões relacionadas à eficiência da operação em si, alguns trabalhos têm realizado a análise da qualidade das operações mecanizadas na cafeicultura, visando identificar pontos potenciais e criar um plano de melhorias para eliminar a influência de ações extrínsecas ao processo, aumentando a qualidade das operações (Santinato et al., 2014; Silva et al., 2014).

Outras soluções para o problema enfrentado pelos cafeicultores da região de montanha podem ser observados analisando os estudos sobre recolhimento de

frutos realizados fora do Brasil. Pezzi e Martelli (2015) analisaram a colheita de uva comparando dois sistemas de recolhimento de frutos em regiões montanhosas da Itália, utilizando uma máquina tracionada ERO LS (EROGerätebau) acoplada a um trator e um autopropulsor Braud New Holland VL660 (CNH Industrial N.V., Essex, U.K.); constatando que a capacidade operacional da colhedora de autopropulsão foi de 40% a mais no vinhedo do morro do que na colhedora de arrasto.

Nos Estados Unidos a colheita de maçãs frescas é realizada de forma manual, o que acaba apresentando os mesmos desafios e problemas enfrentados pelos cafeicultores das regiões montanhosas. A fim de solucionar esses problemas He (2018) desenvolveu um protótipo composto por um sistema para derriçar e coletar maçãs que se mostrou um grande potencial para o sistema de colheita mecânica de maçãs frescas para certas cultivares, tanto no que se refere a capacidade de desprender os frutos, quanto a indução de danos aos frutos no processo de colheita.

Na Espanha, Sola-Guirado et al. (2018) desenvolveram uma colhedora baseada na tecnologia dossel shaker para trabalhos em árvores grandes e irregulares em um caminho circular. O projeto foi baseado na determinação da geometria das árvores, acompanhado do treinamento dos operadores da máquina. Testes de campo foram usados para determinar a interação máquina árvore e avaliar a remoção, o quadro de captura e os sistemas acionados. A inovação proposta permitiu a colheita totalmente mecanizada de árvores plantadas anteriormente, com uma eficiência de remoção superior a 84%. Embora os resultados até o momento tenham sido promissores, os autores afirmam que são necessárias melhorias adicionais na adaptação de máquinas e árvores.

Ajustar o terreno também foi o objetivo de muitos experimentos. Para adaptar o terreno, as estradas nas plantações de café são escalonadas para criar uma rota plana, permitindo a passagem de tratores de bitola estreita e seus implementos. Esse processo é chamado de terraceamento da lavoura (Matiello et al., 2015). Vários esforços nesse sentido têm sido feitos por cafeicultores nas regiões serranas de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo e São Paulo. Em um estudo realizado por Alves et al. (2017) constatou-se que apesar do alto custo de investimento inicial, a implantação do microterraceamento na lavoura mostra-se economicamente viável na análise dos indicadores econômicos, além de favorecer os trabalhos manuais por garantir aos trabalhadores a realização das suas

atividades laborais em uma área plana. Atualmente já se tem disponíveis alguns sistemas ou modos de construir os microterraços em cafezais. O método inicial utiliza tratores traçados, operando de marcha-ré, com lâmina traseira, apresentando-se a desvantagem do custo elevado e de risco operacional, estimando-se um rendimento de 30 a 40 h de serviço por ha. Máquinas tipo BobCat de esteira, com concha escavadeira e lâmina dianteira, para acerto do terraço também tem sido utilizada, neste caso podem ser abertos cerca de 1,5 m de terraço por minuto, ou o equivalente a cerca de 35 a 40 horas por ha (Siqueira et al., 2017).

Diante a esse cenário se percebe a exigência por projetos atuais que satisfaçam a necessidade de atender às regiões de acentuadas declividades, principalmente com relação ao desenvolvimento de sistemas que promovam a operação de recolhimento. O desenvolvimento da recolhedora autopropelida que possa trabalhar em áreas de montanha terraceadas apresenta grande potencial para a solução dos problemas da colheita nessas regiões, onde grande parte da produção é colhida manualmente ou de forma semimecanizada.

2. OBJETIVOS

Desenvolver, construir e avaliar uma colhedora autopropelida para a colheita de café em áreas de montanha terraceadas.

2.1. Objetivos específicos

- Elaborar um projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado da colhedora autopropelida;
- Desenvolver um modelo virtual da colhedora autopropelida;
- Construir um protótipo da colhedora autopropelida; e,
- Avaliar o desempenho da colhedora autopropelida.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), estabelecida no município de Viçosa, MG. O projeto foi conduzido em quatro etapas: desenvolvimento, concepção de um modelo virtual, construção e avaliação do protótipo. A etapa de avaliação do protótipo foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola e na Fazenda Oásis, localizada no município de Coimbra, MG (Figura 1), constituída, em sua maioria, por cafeicultura de montanha terraceada. A fazenda possui área total de 59,66 ha; altitude média de 850 metros e as principais variedades cultivadas na fazenda são o Catuaí Vermelho e o Catuaí Amarelo.

Figura 1 – Fazenda Oásis, localizada no município de Coimbra, MG



3.1. Desenvolvimento de projeto da recolhedora autopropelida

A recolhedora autopropelida foi desenvolvida utilizando-se uma máquina base (Figura 2), desenvolvida por Souza (2016), caracterizada por um sistema de baixo centro de gravidade que servirá para compensar o desnível do terreno. Além disso, a máquina base é composta de um sistema de esteiras de borrachas

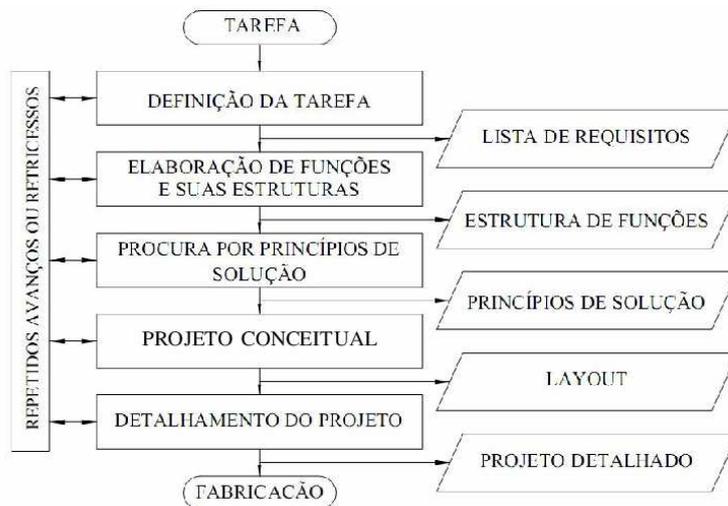
construído a partir de correias de transmissão, sendo que as manobras são realizadas usando o bloqueio do diferencial.

Figura 2 – Protótipo da plataforma para locomoção de recolhedora de café em regiões de montanha



Na etapa de desenvolvimento foram elaborados os projetos informacional, conceitual, preliminar e detalhado de um protótipo da recolhedora autopropelida para colheita de café para regiões de montanha capaz de atender às especificações exigidas pela cafeicultura de montanha em áreas terraceadas. A metodologia descrita por Pahl & Beitz (2005) serviu de base para o desenvolvimento desta primeira etapa. As etapas do processo de planejamento e projeto são apresentadas no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma para o desenvolvimento do projeto, segundo Pahl e Beitz (2005)



3.1.1. Esclarecimento da tarefa

Coletou-se informações sobre as condições necessárias para o funcionamento do protótipo da recolhedora autopropelida. Para esse método, investigou-se as principais características das máquinas existentes no mercado e definiu-se algumas características que são essenciais para o cultivo de café de montanha. Elaborou-se um questionário para obter informações de dez produtores, para determinar e priorizar suas reais necessidades. O questionário elaborado para obter informações, determinar e priorizar as reais necessidades dos produtores está descrito no Quadro 1.

Quadro 1 – Questionário estruturado para obtenção de informações sobre as necessidades dos clientes

Perguntas
1. Qual o tipo de recolhimento usualmente empregado na cafeicultura de montanha terraceada?
2. Quais os problemas enfrentados no recolhimento dos frutos de café em regiões montanhosas, principalmente terraceadas?
3. Sobre quais condições ergonômicas os trabalhadores estão submetidos no processo de recolhimento do café em áreas terraceadas?
4. Qual o nível técnico dos trabalhadores das lavouras?
5. Qual é o nível tecnológico das lavouras na cafeicultura de montanha?
6. Qual o investimento que os produtores possuem?
7. O que se espera de um equipamento para os recolhimentos dos frutos de café de montanha em áreas terraceadas?

O resultado dessa fase gerou uma lista de requisitos do cliente que o produto deverá atender. De posse da lista de requisitos do cliente, elaborou-se o diagrama de Mudge.

O Diagrama de Mudge (Figura 4) é uma técnica que realiza uma análise de comparação de requisitos, duas a duas, com o objetivo de hierarquizá-las por relevância (Rocco e Silveira, 2008). Essa ferramenta permite estabelecer o nível de importância das necessidades exigidas pelos trabalhadores na cafeicultura de montanha. A comparação é realizada, na maioria das vezes, enumerando-se os requisitos como 1,2,3...n, onde “n” é o número de requisitos, sendo que posteriormente se atribuíram valores para as comparações (Nickel et al., 2010).

Figura 4 – Exemplo de um Diagrama de Mudge aplicado

Eficiência		2	3	4	5	SOMA	%
A	5	1B	1A	1A	1B	18	56
B	4	2	2D	2D	5C	4	13
C	3		3	4D	3C	3	9
D	2			4	5D	2	6
E	1				5	5	16
					TOTAL	32	100

Como pode ser observado na Figura 4, a primeira coluna apresenta o requisito 1 que possui relevância B sobre o requisito 2. Na coluna “soma”, soma-se os pesos de cada requisito e na última coluna tem-se a porcentagem que os requisitos representam sobre o total.

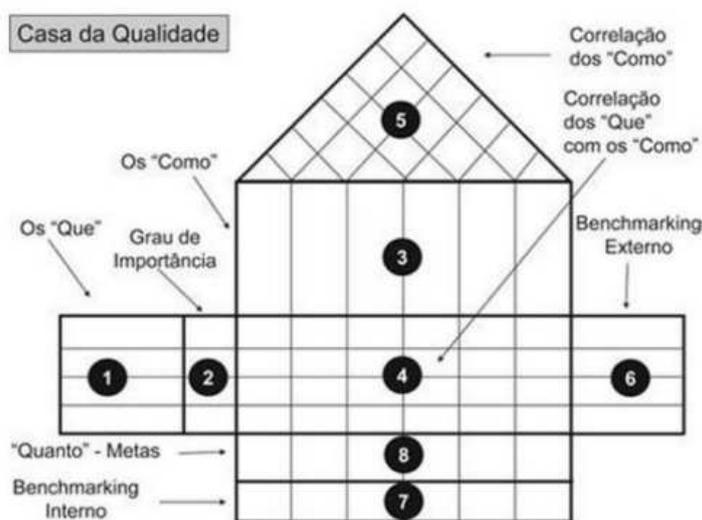
Além dos requisitos dos clientes, também foi elaborada uma lista de requisitos de projeto. Esses requisitos de projeto mostram como os requisitos dos clientes podem ser atendidos. Para alcançá-los, foram atribuídas expressões mensuráveis aos requisitos dos clientes, onde descreveram-se tecnicamente os requisitos do cliente. A importância dos requisitos de projeto se dá pelo fato das especificações de projeto serem resultantes deste modelo. Após essa etapa, definiu-se a lista de especificações do projeto.

Baxter (2011) cita que é a obtenção das especificações do projeto que reflitam as necessidades do consumidor de forma concisa, fiel e utilizável é um processo difícil e trabalhoso. Logo, é necessária uma ferramenta que auxilie neste processo, aplicando-se a técnica do desdobramento da função qualidade (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT ou QFD).

O desdobramento da função qualidade, também conhecido na literatura como casa de qualidade, é uma ferramenta usada no planejamento e no controle da qualidade de todo o processo de desenvolvimento do produto (Baxter, 2011). Conforme Carpinetti (2012) o QFD é fundamental no processo de desenvolvimento de produtos pois permite que características do produto final sejam determinadas a partir de requisitos do produto estabelecidos pelo mercado. Essa ferramenta pode ser considerada um processo que transforma informações em requisitos, sendo extraídas as características de determinado produto com base nos requisitos e na relação proveniente entre os mesmos e as tais características.

Na Figura 5 observam-se os elementos e as etapas para a construção da casa de qualidade, visando traduzir as necessidades dos clientes, que são vagas e não mensuráveis, em características mensuráveis. Construiu-se a casa da qualidade a fim de identificar e priorizar as características que mais somam para os atributos de qualidade do produto final.

Figura 5 – Etapas e elementos da matriz da casa de qualidade do QFD



3.1.2. Projeto conceitual

No projeto conceitual, definiu-se a concepção da solução, ou seja, todos os princípios de funcionamento dos diversos sistemas da máquina. Foi desenvolvida uma criteriosa estrutura de funções, que definiu de maneira clara e objetiva cada subfunção necessária para a fabricação e correto funcionamento do sistema de recolhimento, com o objetivo de simplificar a busca por soluções viáveis e, sobretudo, estabelecer combinações entre variantes de concepções.

Realizou-se uma procura por princípios de soluções apropriadas para as funções definidas por meio de pesquisa bibliográfica, análise de sistemas naturais, análise de sistemas técnicos e "brainstorming" (técnica propõe que um grupo se reúna e utilize a pluralidade de pensamentos e experiências passadas para gerar soluções inovadoras, sugerindo qualquer pensamento ou ideia que vier à mente a respeito do tema tratado). Os princípios de soluções foram integrados à solução global. A solução global resultante passou por uma análise técnica destinada a avaliá-la em relação aos requisitos dos protótipos e outras características essenciais de seu design.

A matriz morfológica foi empregada como método para a organização das possíveis soluções encontradas. Esse método consiste em listar de maneira específica as funções necessárias ao projeto e as respectivas possíveis soluções

que atendam cada função. Após a formação dos diferentes arranjos entre as funções, diversas soluções para o problema foram encontradas e avaliadas, permitindo ranquear as melhores alternativas e, conseqüentemente, a que foi utilizada posteriormente.

3.1.3. Projeto preliminar

No projeto preliminar foram determinados o *layout* e as formas, bem como o desenvolvimento de um produto preliminar, levando-se em conta as considerações técnicas e econômicas. Normalmente, fez-se necessário a produção de diferentes *layouts*, para avaliar de maneira mais eficiente as vantagens e desvantagens das diferentes variantes.

Nesta fase foram definidos os materiais e estruturas dos mecanismos que compõem o protótipo. Foi realizado uma análise de tensões e deformações para verificar se os componentes e materiais escolhidos resistem às condições de operação com aplicação de carga máxima. Para realização desta análise foi utilizado o SolidWorks® 2018, um software CAE (Computer Aided Engineering), que emprega ferramentas de análise por elementos finitos. As formulações de elementos finitos são mais fáceis de aplicar do que as técnicas analíticas, que tendem a ser mais complexas (Maranhão et al., 2016).

3.1.4. Projeto detalhado da recolhedora de café

Durante a fase de projeto detalhado, foram confeccionados documentos para criar o projeto geral, incluindo o projeto dos componentes individuais, a montagem e a lista de componentes usados no protótipo. O projeto detalhado é uma das etapas que mais acumulam informações (Prabhu et al., 2021). Nessa fase de projeto foi concebido o conceito das propriedades físicas e mecânicas de todas as partes individuais da máquina, a partir a solução global definida.

Ainda nessa fase, modelou-se o recolhedor a fim de maximizar a cobertura de superfície do sistema de recolhimento em função do custo do sistema e das áreas descobertas do recolhedor pelo qual pode-se ocasionar perdas no processo de

colheita. Para a determinação das possíveis áreas de perdas utilizou-se o SolidWorks® 2018.

3.2. Desenvolvimento de um modelo virtual

O desenvolvimento do modelo virtual do protótipo foi realizado no SolidWorks® 2018. Realizou-se a modelagem computacional da máquina, da modelagem das peças individuais e da conexão com as ferramentas de montagem, facilitando a construção da máquina e conseqüentemente possíveis modificações do projeto durante a fase de construção. Modelaram-se no software o sistema estrutural, o sistema de propulsão, o sistema regulador, o sistema de recolhimento e o sistema de descarga da recolhedora autopropelida.

3.3. Construção do protótipo da recolhedora de café

Após o desenvolvimento do protótipo, deu-se início à terceira etapa do projeto com a construção do protótipo. A construção foi realizada no Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, Viçosa – MG.

As dimensões e as geometrias do modelo virtual foram usadas para orientar o processo de construção. As dimensões, limites e tolerâncias definidas no projeto foram respeitadas para otimizar a adaptação mecânica dos componentes do protótipo e garantir seu bom funcionamento.

3.4. Caracterização dimensional e ponderal do protótipo da recolhedora autopropelida para colheita de café em regiões de montanha terraceada

3.4.1. Dimensões do protótipo da recolhedora autopropelida para colheita de café em regiões de montanha terraceada

Determinou-se três dimensões lineares básicas: largura (L), comprimento (C) e altura (H). Utilizou-se uma trena metálica graduada em milímetros para a aferição dessas três dimensões.

3.4.2. Vão livre horizontal, vão livre vertical e ângulos de entrada e saída do protótipo

Determinou-se como vão livre horizontal a medida da bitola do protótipo, descontando a largura de seu rodado. O vão livre vertical foi estabelecido pela distância entre o plano de apoio e o ponto mais baixo do protótipo. Essas medidas são importantes para avaliar trafegabilidade nas fileiras da cultura do café com presença de obstáculos, como pedras e tocos.

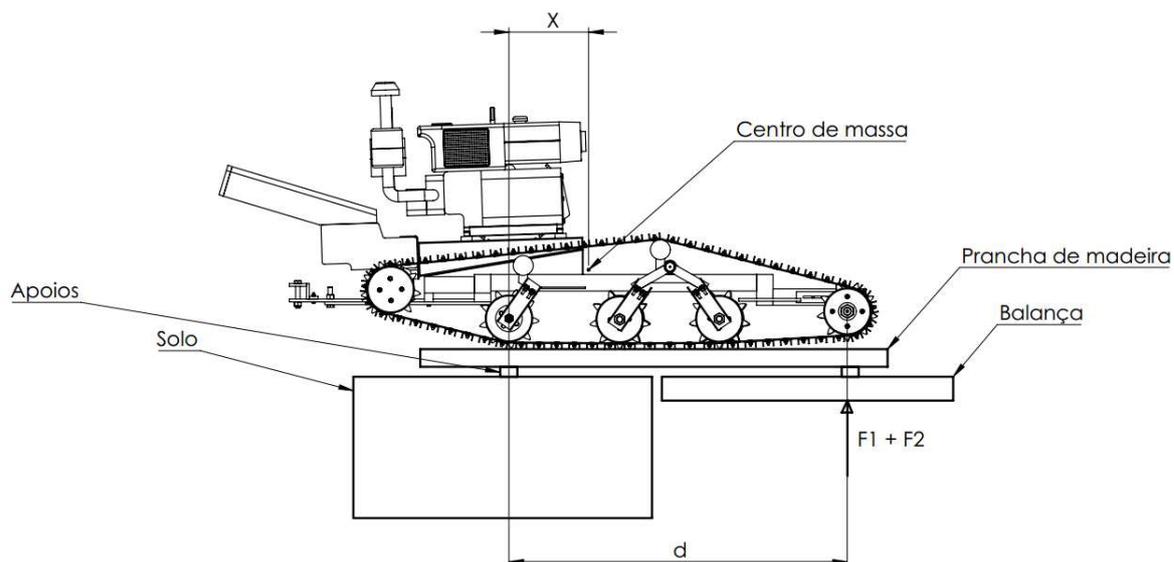
Os ângulos de entrada e de saída foram obtidos por meio dos ângulos de inclinação da tangente à esteira, desenhadas a partir dos pontos dianteiro e traseiro mais baixos do chassi do protótipo, conforme descrito por Mialhe (1996).

3.4.3. Posição do centro de massa do protótipo da recolhedora

O centro de massa da recolhedora autopropelida foi determinado utilizando-se a metodologia de suspensão e reação do piso, proposta pela norma NBR ISO 789-6 de 2015. Esse método consiste em determinar as reações da máquina no piso, com o protótipo primeiramente em uma posição horizontal. A seguir inclina-se o protótipo, com uma extremidade suspensa, e afere-se as reações e determina-se as reações da extremidade que está em contato com o solo. Por fim, repete-se o procedimento anterior porém com a outra extremidade suspensa. Utilizaram-se uma balança do tipo plataforma, marca Filizola, e uma prancha de madeira apoiada para auxiliar nas aferições.

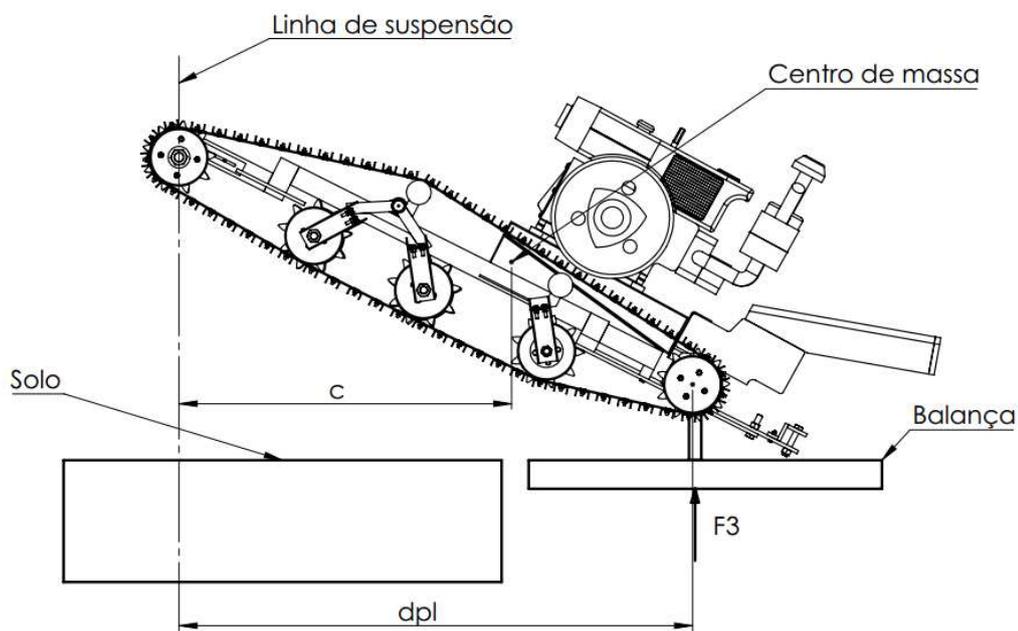
Para a determinação da coordenada horizontal (X) (Figura 6), medida a partir do eixo traseiro do protótipo, utilizou-se a Equação 1. Mediu-se a massa (m) da recolhedora completa na balança. Determinou-se a reação (F_1) embaixo dos apoios proporcionado pela massa da prancha de madeira que sustentou o protótipo. Moveu-se o protótipo pela prancha de madeira até o ponto onde o eixo dianteiro ficasse sobre a balança, mensurando-se a reação ocasionada pela massa da prancha e a massa do protótipo (F_1+F_2). Por diferença calculou-se somente a reação da massa do protótipo (F_2). Mediu-se a distância (d) entre os eixos.

Figura 6 – Determinação da coordenada horizontal do centro de massa do protótipo.



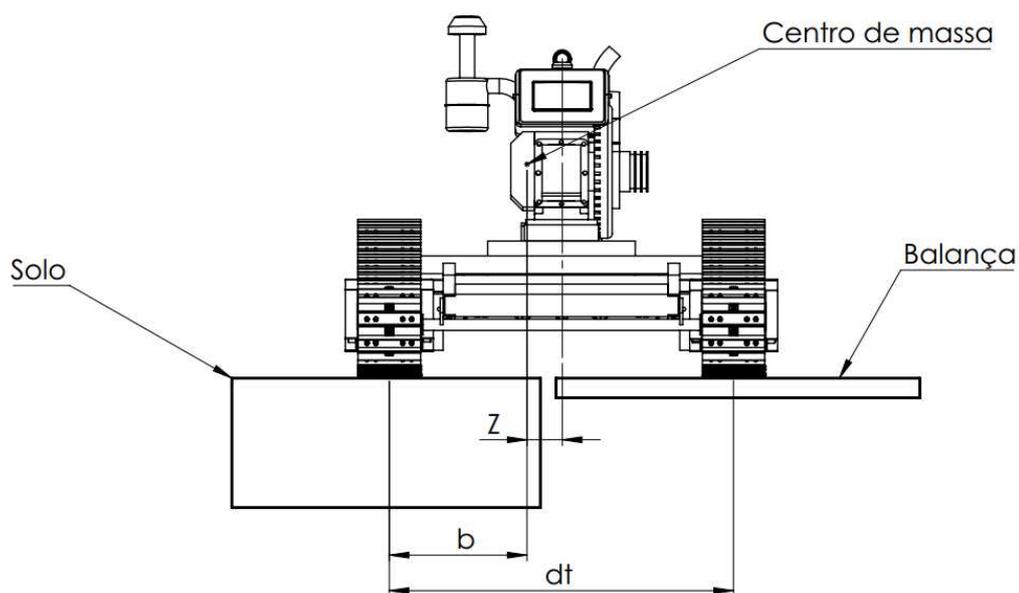
Determinou-se a coordenada vertical (medida a partir do solo) suspendendo a recolhedora por uma das extremidades, em um ângulo de inclinação de aproximadamente 30° (Figura 7). Mediu-se a reação (F_3) no contato do eixo não suspenso e a balança. Em seguida mediu-se a distância horizontal (d_{pl}) entre o eixo suspenso e o eixo em contato com a balança. Calculou-se a distância horizontal (c) do centro de massa até a linha de suspensão pela Equação 2. Desenhou-se uma linha vertical na prancha de marcação na distância “c”. Repetiu-se o procedimento com o trator suspenso pela outra extremidade. Determinou-se a cota vertical (Y) do centro de massa pela interseção das duas linhas na prancha de marcação.

Figura 7 – Determinação da coordenada vertical do centro de massa do protótipo.



Para a coordenada lateral, mediu-se as cargas do lado direito (F_4) e esquerdo (F_5) do protótipo, além da bitola da máquina (d_i) (Figura 8).

Figura 8 – Determinação da coordenada lateral do centro de massa, no plano horizontal, do protótipo.



Calculou-se a distância entre o plano médio do rodado e o centro de massa (b) utilizando a Equação 3. Calculou-se a coordenada lateral (Z), a partir do plano médio da máquina, no plano horizontal pela Equação 4.

$$X = \frac{dF_2}{m} \quad (1)$$

$$c = \frac{d_{pl}F_3}{m} \quad (2)$$

$$b = \frac{d_tF_5}{m} \quad (3)$$

$$Z = \frac{d_t}{2} - b \quad (4)$$

3.4.4. Limites de estabilidade do protótipo da recolhedora

Os limites de estabilidades do protótipo são as condições do plano de apoio que proporcionam o funcionamento estável dos tratores e máquinas agrícolas, sem excesso de carga dos rodados e risco de tombamento (Mialhe, 1996).

Determinaram-se o ângulo limite estático em aclive (α), o ângulo limite estático em declive (θ) e o ângulo limite estático de inclinação transversal (γ) pelas Equações 5, 6 e 7, respectivamente.

$$\alpha = \arctang \frac{X}{Y} \quad (5)$$

$$\theta = \arctang \frac{d - X}{Y} \quad (6)$$

$$\gamma = \arctang \frac{d_t}{Y} \quad (7)$$

Em que α ($^\circ$) é o ângulo limite estático em aclive; X (m) é a coordenada horizontal do centro de massa (m); Y (m) é a coordenada vertical do centro de massa (m); θ ($^\circ$) é o ângulo limite estático em declive; d (m) é a distância entre eixos

do protótipo; γ ($^{\circ}$) é o ângulo limite estático de inclinação transversal; e d_t (m) é a bitola do protótipo (m).

3.4.5. Raio e espaço de giro da plataforma para locomoção de colhedora de café

Para determinar o raio e o espaço de giro, ensaiou-se o protótipo em pista de terra compactada. Esses parâmetros foram determinados travando um dos rodados e fazendo com que a máquina virasse para a esquerda e para a direita. Determinou-se o raio de giro medindo-se o raio do menor círculo descrito por um ponto da intersecção do plano vertical médio da esteira mais externa do protótipo, metodologia proposta por Mialhe (1996). Já o espaço de giro foi delimitado pelo deslocamento do ponto de intersecção da perpendicular baixada pelo ponto mais externo do protótipo.

A relação entre o raio e o espaço de giro foi determinada pela Equação 8, proposta por Mialhe (1985). Outra métrica determinada para caracterizar a manobrabilidade à esquerda ou à direita é a simetria do raio de giro. Essa métrica correlaciona o raio de giro em ambas as direções (Equação 9).

$$IRE = \left(\frac{EGE + EGD}{2(RGE + RGD)} - 1 \right) 100 \quad (8)$$

$$IRsg = \left(\frac{RGE - RGD}{(RGE + RGD)} \right) 100 \quad (9)$$

Em que IRE (%) é a relação do raio e espaço de giro; EGE (m) é o espaço de giro à esquerda; EGD (m) é o espaço de giro à direita; RGE (m) é raio de giro a esquerda; RGD (m) é o raio de giro a direita; e IRsg (%) é o índice de simetria do raio de giro.

3.5. Avaliação do protótipo da recolhedora

Os ensaios, referentes à avaliação do protótipo da recolhedora autopropelida foram realizados na Oficina do Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA),

pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, Viçosa – MG e na fazenda Oásis, localizada no município de Coimbra – MG. Foram avaliados fatores como desempenho na barra de tração, perdas no recolhimento, tempos de trabalho, capacidade operacional e tensões do sistema recolhedor objetivando a caracterização, a quantificação e a qualidade do recolhimento realizado pelo protótipo.

3.5.1. Desempenho na barra de tração

Para realizar a aquisição de dados referente ao ensaio de desempenho da barra de tração, utilizou-se um sistema para a leitura e arquivamento da marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), modelo Spider 8[®], gerenciado pelo software HBM Catman[®] 2.2.

3.5.1.1. Caracterização da pista usada no ensaio

O teor de água do solo foi determinado pelo método gravimétrico padrão baseado na massa de solo seco em estufa até atingir a massa constante, conforme proposto por Embrapa (1997).

Retiraram-se dez amostras na pista de ensaio, entre de 0 a 0,15 m de profundidade, com o intuito de avaliar a massa específica do solo. Para essa avaliação foi utilizado o método do anel volumétrico, conforme descrito por Embrapa (1997).

Obteve-se a resistência a penetração do solo com o auxílio de um penetrômetro, modelo PNT-2000. Os dados foram coletados em trinta pontos na pista de testes, para a camada de 0 a 0,15 m, sendo seus valores expressos em MPa.

3.5.1.2. Força de tração

Para monitorar a força de tração utilizou-se uma célula de carga, modelo Kratos[®], com capacidade máxima para 20 kN e sinal de saída de 2 mV V⁻¹. Essa célula foi fixada junto a barra de tração, sendo ligada por corrente de aço a um trenó de arraste. O aumento de força aplicada à barra de tração foi obtida a partir do acréscimo de carga no trenó de arraste.

3.5.1.3. Patinagem

Para a obtenção da velocidade real desenvolvida pelo protótipo da recolhedora durante a realização do experimento mediram-se a distância de 20 m percorrida pela máquina, com o auxílio de uma trena, e o tempo gasto para completar tal percurso, utilizando um cronômetro.

A obtenção da velocidade teórica se deu por meio da velocidade angular do eixo motriz do protótipo da recolhedora. Utilizou-se transdutores indutivos, marca Autonics, modelo PRCM 18, cilíndrico, com distância de detecção de 5 mm e 18 mm de diâmetro para monitorar a velocidade angular do eixo da máquina.

Calculou-se a patinagem utilizando a Equação 10, relacionando-se a velocidade real desenvolvida pelo protótipo (V_a) com sua velocidade teórica (V_t).

$$S = \frac{V_t - V_a}{V_t} 100 \quad (10)$$

Em que S (%) é a patinagem; V_t (m s^{-1}) é a velocidade teórica dos rodados; e V_a (m s^{-1}) é a velocidade real de deslocamento do rodado.

3.5.1.4. Determinação do consumo horário e específico de combustível

Para determinar o consumo horário de combustível durante o experimento, utilizou-se uma proveta graduada acoplada diretamente na linha de alimentação de combustível da recolhedora autopropelida, efetuando-se leituras antes e depois do ensaio. O consumo específico de combustível foi obtido a partir do cálculo da potência média exigida na barra de tração para tracionar o trenó de arraste. Estimou-se essa potência utilizando a Equação 11. Calculou-se o consumo específico de combustível utilizando a Equação 12.

$$P_{bt} = FV_a \quad (11)$$

$$C_e = \frac{C_h}{P_{bt}} \quad (12)$$

Em que P_{bt} (kW) é a potência na barra de tração; F (kN) é a força de tração média, V_a ($m\ s^{-1}$) é a velocidade real de deslocamento do rodado; C_e ($L\ kWh^{-1}$) é o consumo específico de combustível; e C_h ($L\ h^{-1}$) é o consumo horário de combustível.

3.5.2. Perda de café no recolhimento

A cultura de café (*Coffea spp.*) estudada neste trabalho foi da espécie *Coffea arabica* L., amplamente cultivada em regiões de montanha. O espaçamento entre as plantas foi de 3 x 0,5 metros, resultando em uma densidade populacional de aproximadamente 6.666 plantas por hectare. A idade média das plantas no momento da colheita foi de 4 anos. A área de estudo compreendeu uma fazenda de café de montanha terraceada localizada no município de Coimbra, MG, abrangendo uma área total de 60 hectares. A fazenda apresenta características geográficas e climáticas favoráveis ao cultivo do café, com uma altitude média de 850 metros acima do nível do mar.

Para estimar a perda do café não recolhido foram utilizados panos durante o processo de derriça e recolhimento realizado pelo protótipo. Os panos estavam dispostos abaixo das plantas de café, estendidos nas fileiras onde foram realizadas a derriça e o recolhimento dos frutos de café.

A perda foi calculada, pela relação da massa de frutos de café depositados no pano, abaixo do sistema de recolhimento, e a massa total de frutos recolhidos conforme apresentado na Equação (13).

$$P_r = \left(\frac{m_p}{m_r + m_p} \right) 100 \quad (13)$$

Em que P_r (%) é a perda no recolhimento; m_p (kg) é a massa de frutos depositados no pano (kg); e m_r (kg) é massa de frutos recolhidos.

3.5.3. Tempos de colheita e capacidade operacional

Foram realizadas tomadas dos tempos de trabalho: produtivo e auxiliar. O Tempo produtivo (T_p) é o tempo que a máquina está efetivamente realizando a função produtiva a qual foi designado, já o Tempo auxiliar (T_a) corresponde ao

tempo que a máquina utiliza para realizar funções auxiliares à função a qual foi designada, por exemplo manobras de cabeceira e regulagens.

A eficiência operacional foi estimada considerando-se os valores dos tempos em que a máquina estava desempenhando de maneira efetiva as funções produtivas para as quais foi projetado e o tempo total em que a máquina permaneceu em operação, incluindo os tempos auxiliares. O cálculo da eficiência operacional foi determinado de acordo com a Equação (14).

A capacidade operacional efetiva foi o trabalho real que a máquina realizou, corrigida pela eficiência. A capacidade operacional foi calculada pela Equação (15) apresentada a seguir.

$$E_f = \left(\frac{T_p}{T_p + T_a} \right) \quad (14)$$

$$C_{ce} = \left(\frac{L V}{10} \right) E_f \quad (15)$$

Em que E_f (adimensional) é a eficiência Operacional; T_p (s) é o tempo produtivo; T_a (s) é o tempo auxiliar (s); C_{ce} (ha h^{-1}) é a capacidade de campo efetiva; L (m) é a largura de trabalho; e V (km h^{-1}) é a velocidade de trabalho.

3.5.4. Determinação das tensões nos dedos retráteis do mecanismo recolhedor

Para determinar as tensões requeridas para movimentar os dedos retráteis do mecanismo recolhedor utilizou-se uma balança digital de gancho, marca B-max, modelo BM-A08, com capacidade de 50 kg. Realizou-se as medições para cada dedo retrátil e em seguida efetuou-se as medidas por pares de dedos, com o intuito de determinar que o esforço necessário para retraindois dedos ao mesmo tempo.

3.6. Avaliação dos níveis de ruído

A avaliação do nível de ruído emitido pelo protótipo foi realizada seguindo as recomendações descritas na NR-15 (Norma Regulamentadora N° 15). O experimento foi conduzido em um ambiente livre de ruídos externos intensos e livre

de obstáculos em um raio de 20 metros para evitar reflexos sonoros ocasionados durante as medições. Utilizou-se um dosímetro de ruído digital, marca Instrutherm, para determinar os níveis de ruído, para tal foram considerados os raios de afastamento de 2, 4, 6, 8, e 10 metros ao redor do protótipo, bem como o nível de ruído no posto do operador. A escala utilizada para medir o nível de ruído do protótipo foi o decibel dB (A).

3.7. Delineamento experimental

Para se realizar o ensaio na barra de tração, o conjunto formado pela recolhedora autopropelida e o trenó de arraste percorria toda extensão da parcela experimental, 10 m, com o sistema de aquisição de dados ligado. Ao término do percurso pausava-se a aquisição de dados e coletava-se os mesmos para posterior análise. Utilizaram-se quatro cargas no trenó de arraste (60, 120, 270 e 330 kg), três velocidades angulares no eixo do protótipo ($1,10 \text{ rad s}^{-1}$ (10,5 rpm); $1,95 \text{ rad s}^{-1}$ (18,6 rpm) e $3,24 \text{ rad s}^{-1}$ (30,9 rpm)) e três lastros no protótipo da recolhedora (0, 50 e 100 kg).

O experimento foi conduzido seguindo um esquema fatorial 4x3 no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com quatro repetições. Cada lastro na recolhedora constituiu um experimento. Os dados foram analisados através de análise conjunta. Para o fator qualitativo, as médias foram comparadas utilizando-se o teste Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para os fatores quantitativos os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” e adotando-se o nível de 5% de probabilidade no coeficiente de determinação e no comportamento do fenômeno em estudo. Utilizou-se o teste “t” devido às suas propriedades e aplicabilidade em diferentes situações. Independentemente da situação de maior grau ser ou não significativa, desdobrou-se a mesma devido ao interesse em estudo.

Para a determinação das perdas no recolhimento, eficiência e capacidade operacional o protótipo percorreu toda a parcela experimental, onde foi realizado a derriça sobre o sistema de recolhimento. Utilizou-se cinco graus de inclinação do terreno (8, 17, 25, 30, 38 °). O experimento foi realizado seguindo o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com quatro repetições. Os dados foram analisados por meio de regressão, sendo os modelos escolhidos baseados na significância dos

coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” e adotando-se o nível de 5% de probabilidade no coeficiente de determinação e no comportamento do fenômeno em estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Desenvolvimento de projeto da recolhedora autopropelida

4.1.1. Esclarecimento da tarefa

A definição das necessidades dos clientes teve ênfase em artigos científicos que citam os problemas enfrentados pelos cafeicultores das regiões montanhosas, principalmente em áreas terraceadas. Com base nas respostas mais comuns do questionário elaborado (Quadro 2) e em publicações científicas elencou-se as necessidades dos clientes e os dividiu de acordo com o ciclo de vida do produto (Tabela 1).

Quadro 2 – Respostas ao questionário estruturado elaborado para obtenção de informações sobre as necessidades dos clientes

1 – Qual o tipo de recolhimento usualmente empregado na cafeicultura de montanha terraceada?

R.: O tipo de recolhimento mais comumente empregado é o manual.

2 – Quais os problemas enfrentados no recolhimento dos frutos de café em regiões montanhosas, principalmente terraceadas?

R.: Topografia acidentada, Acesso limitado, colheita manual, segurança dos trabalhadores, manejo na produção e falta de mão de obra.

3 – Sobre quais condições ergonômicas os trabalhadores estão submetidos no processo de recolhimento do café em áreas terraceadas?

R.: Posturas prolongadas e repetitivas o que causa fadiga muscular, alto esforço físico, repetibilidade de trabalho e trabalhos em condições adversas.

4 – Qual o nível técnico dos trabalhadores das lavouras?

R.: Baixo a médio.

5 – Qual é o nível tecnológico das lavouras na cafeicultura de montanha?

R.: Médio a baixo.

6 – Qual o investimento que os produtores possuem?

R.: Médio a baixo.

7 – O que se espera de um equipamento para os recolhimentos dos frutos de café de montanha em áreas terraceadas?

R.: Adaptabilidade ao terreno, tamanho e agilidade, ergonomia e conforto, eficiência no recolhimento e fácil manutenção e durabilidade.

Tabela 1 – Necessidades dos clientes de acordo com a literatura, segregado por fase do ciclo de vida do produto

Fases do ciclo de vida		Necessidades dos clientes
Projeto do produto		1. Simplicidade 2. Dimensões adequadas à cultura, às ruas do cafezal e ao terraceamento 3. Segura para os operadores
Comercialização do produto		4. Baixo custo 5. Materiais de qualidade 6. Vida útil elevada 7. Alto valor de revenda
Uso do produto	Operação	8. Eficiência no recolhimento de frutos de café em áreas terraceadas 9. Baixo consumo energético 10. Inofensiva à cultura 11. Operar independentemente do nível técnico do operador
	Regulagem	12. Fácil regulagem 13. Regulagens rápidas 14. Uso de ferramentas simples para as regulagens
	Manutenção	15. Fácil manutenção 16. Manutenções espaçadas e reduzidas 17. Manutenções pouco onerosas 18. Uso de equipamentos simples para a manutenção

A partir das necessidades dos clientes pesquisados, foram estabelecidos os requisitos dos clientes (Tabela 2), dividindo-os de acordo com o ciclo de vida do produto.

Tabela 2 – Requisitos dos clientes dividido por fase do ciclo de vida do produto

Fases do ciclo de vida		Requisitos dos clientes
Projeto do produto		1. Ter projeto simples 2. Ser ergonômica e segura aos operadores
Comercialização do produto		3. Ser de baixo custo 4. Ter longa vida útil
Uso do produto	Operação	5. Ser fácil de usar 6. Ser eficiente no recolhimento 7. Ter baixo consumo energético 8. Ser inofensivo à cultura
	Regulagem	9. Ter regulagens rápidas 10. Ter regulagens fáceis
	Manutenção	11. Ter manutenção fácil 12. Ser durável 13. Ter manutenção reduzida

Com base nos requisitos dos clientes da Tabela 2, elaborou-se o Diagrama de Mudge (Figura 9) a fim de fazer uma comparação de um requisito com os demais listados, sempre fazendo a confrontação em pares e definindo níveis de importância. O valor relativo do requisito é o somatório dos níveis de importância.

Tabela 3 – Distribuição hierarquizada dos requisitos dos clientes

Posição	Requisito	Soma	%
1°	6-Ser eficiente no recolhimento	44	19,7
2°	2-Ser ergonômica e segura aos operantes	38	17,0
3°	3-Ser de baixo custo 8-Ser inofensivo à cultura	32	14,3
4°	5-Ser fácil de usar	24	10,8
5°	1-Ter projeto simples	17	7,3
6°	12-Ser durável	13	5,8
7°	7-Ter baixo consumo energético	7	3,1
8°	13-Ter manutenção reduzida	6	2,7
9°	9-Ter regulagens rápidas 10-Ter regulagens fáceis	3	1,3
10°	4-Ter longa vida útil 11-Ter manutenção fácil	2	0,9

Os requisitos de projeto da máquina recolhadora proposta, incluindo aspectos como “possuir alto rendimento de coleta dos frutos derrçados”, “possuir dispositivos de segurança” e “possuir baixo custo de construção e manutenção” estão detalhados na Tabela 4 – Requisitos de projeto da recolhadora autopropelida para colheita de café em regiões de montanha terraceadas.

Tabela 4 – Requisitos de projeto da recolhedora autopropelida para colheita de café em regiões de montanha terraceadas

Requisitos dos clientes	Requisitos de projeto
Ser eficiente no recolhimento	Possuir alto rendimento de coleta dos frutos derrizados
Ser ergonômica e segura aos operantes	Possuir dispositivos de segurança
Ser de baixo custo	Possuir baixo custo de construção e manutenção
Ser inofensivo à cultura	Possuir dispositivos para proteção da planta e dimensões adequadas à trafegabilidade
Ser fácil de usar	Ser didática e funcional
Ter projeto simples	Possuir sistemas simples com poucos componentes
Ser durável	Utilizar materiais normalizados e de boa qualidade
Ter longa vida útil	
Ter manutenção reduzida	
Ter manutenção fácil	
Ter baixo consumo energético	Possuir dispositivos que demandam pouca energia para funcionar
Ter regulagens rápidas	Possuir sistemas reguláveis de fácil acesso
Ter regulagens fáceis	

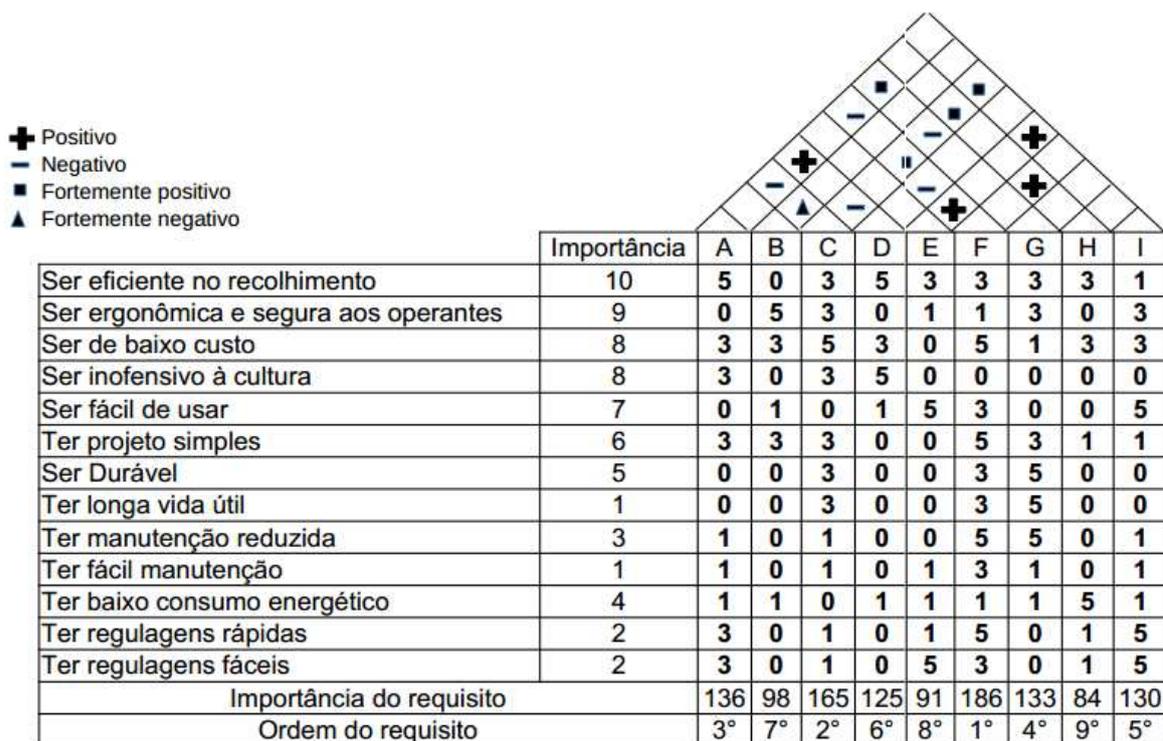
As especificações de projeto consistem em estipular valores “meta” para os requisitos que a máquina proposta deve atender, e a forma de avaliação para garantir que os valores possam ser atingidos. Observam-se na Tabela 5 as especificações do projeto, onde estipularam-se o “valor meta” e a forma de avaliação.

Tabela 5 – Especificações do projeto da máquina recolhadora proposta

Requisito de projeto	Meta	Forma de avaliação
Possuir alto rendimento de coleta dos frutos derrçados	Rendimento > 95%	Avaliação em campo
Possuir dispositivos de segurança	-	Seleção e disposição de componentes de segurança
Possuir baixo custo de construção e manutenção	Custo total de construção < R\$ 30.000,00	Soma dos custos de fabricação
Possuir dispositivos para proteção da planta e dimensões adequadas à trafegabilidade	Largura < 1,6 metro	Estudo de sistemas de proteção para a planta
Ser didática e funcional	Nota em avaliação > 8,5	Aplicação de questionário aos operadores da máquina
Possuir sistemas simples com poucos componentes	-	Concepção de um projeto virtual
Utilizar materiais normalizados e de boa qualidade	-	Seleção de materiais de qualidade no mercado
Possuir dispositivos que demandam pouca energia para funcionar	Consumo horário de combustível < 3 L h ⁻¹	Avaliação de campo
Possuir sistemas reguláveis de fácil acesso	Nota em avaliação > 8,5	Aplicação de questionário aos operadores da máquina

De posse dos requisitos dos clientes e dos requisitos de projeto da máquina a ser desenvolvida, elaborou-se a casa da qualidade (Figura 10), estabelecendo o grau de relacionamento entre esses dois componentes. Correlacionou-se os requisitos de projeto, avaliando o relacionamento entre eles, com o intuito de identificar o efeito de cada um em relação aos demais.

Figura 10 – Desdobramento da função qualidade



A – Possuir alto rendimento de coleta dos frutos derrçados; B – Possuir dispositivos de segurança; C – Possuir baixo custo de construção e manutenção; D – Possuir dispositivos para proteção da planta; E – Ser didática e funcional; F – Possuir sistemas simples com poucos componentes; G – Utilizar materiais normalizados e de boa qualidade; H – Possuir dispositivos que demandam pouca energia para funcionar; I – Possuir sistemas reguláveis de fácil acesso.

A predominância de relacionamentos fortes (5) indica que os requisitos de projetos e os requisitos de clientes estão devidamente endereçados. Neste caso, o projeto possui alta probabilidade de satisfazer as necessidades do consumidor (Percio et al., 2019).

No telhado da casa de qualidade, células com fortes correlações positivas ou negativas identificam características do produto que requerem maior coordenação e comunicação entre os grupos de desenvolvimento. Uma correlação positiva ajudam a identificar requisitos de projeto intimamente relacionados, evitando assim a duplicação de trabalho em projetos. Uma correlação negativa indica condições que podem precisar ser equilibradas entre os fatores.

A hierarquização feita pelo desdobramento da função qualidade ordenou os requisitos de projeto em grau de importância, descrita na Tabela 6.

Tabela 6 – Distribuição hierarquizada dos requisitos de projeto

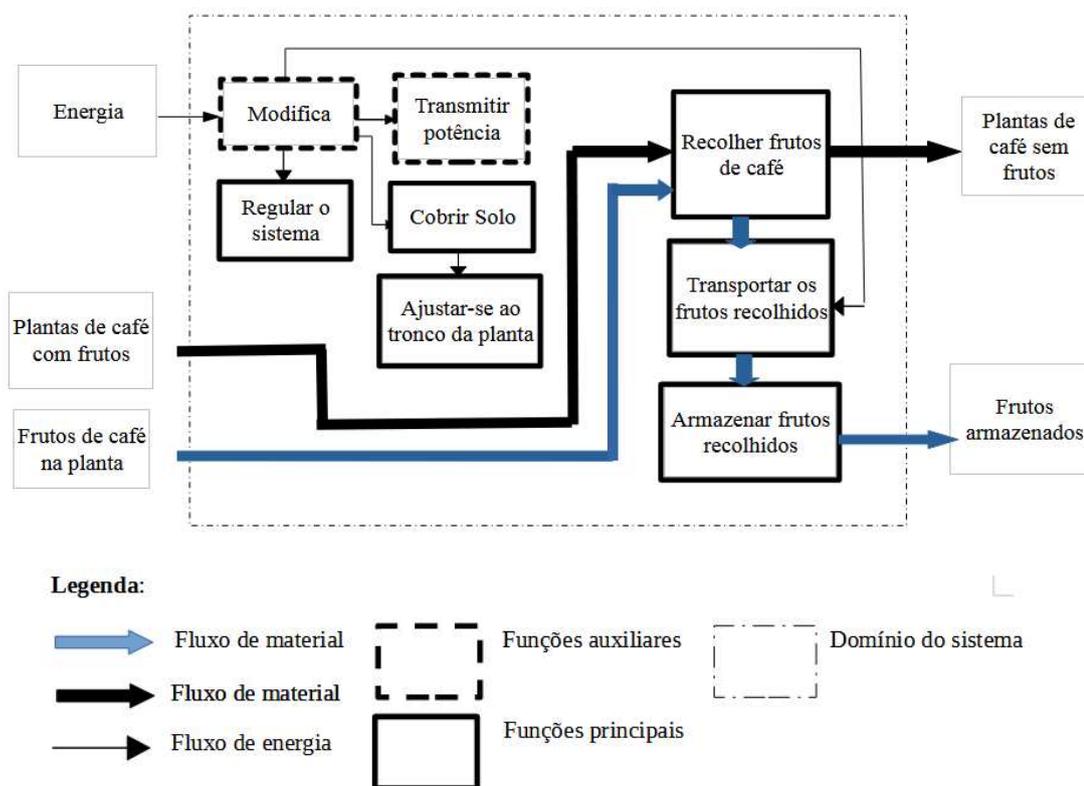
Posição	Requisito de projeto	Soma
1°	Possuir sistema simples com poucos componentes	186
2°	Possuir baixo custo de construção e manutenção	165
3°	Possuir alto rendimento de coleta dos frutos de café derrichados	136
4°	Utilizar materiais normalizados e de boa qualidade	133
5°	Possuir sistemas reguláveis de fácil acesso	130
6°	Possuir dispositivo para proteção da planta	125
7°	Possuir dispositivos de segurança	98
8°	Ser didática e funcional	91
9°	Possuir dispositivos que demandam pouca energia para funcionar	84

Logo, de acordo com a matriz QFD, os três requisitos de projetos mais importantes foram: “Possuir sistemas simples com poucos componentes”, “Possuir baixo custo de construção e manutenção” e “Possuir alto rendimento de coleta dos frutos de café derrichado”. Esses requisitos identificados receberam maior atenção no desenvolvimento do projeto.

4.1.2. Projeto conceitual

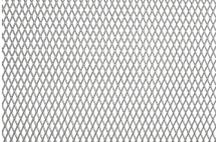
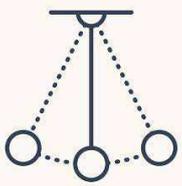
A estrutura de funções da recolhedora autopropelida para colheita de café em região de montanha terraceada é observada na Figura 11.

Figura 11 – Estrutura de funções da recolhedora autopropelida para colheita de café em região de montanha terraceada



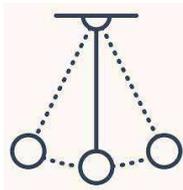
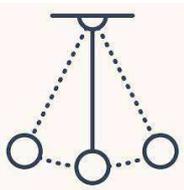
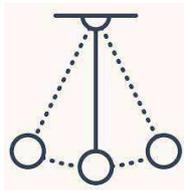
Definiram-se seis funções principais para o recolhimento dos frutos de café: Regular o sistema, cobrir o solo, ajustar-se ao tronco da planta, recolher frutos de café, transportar os frutos recolhidos e armazenar frutos recolhidos. Realizada a busca por princípios de soluções para as funções descritas elaborou-se uma matriz morfológica (Quadro 3).

Quadro 3 – Matriz morfológica para os princípios de solução das funções do protótipo

Função\ Solução	1	2	3	4
(A) Regular o sistema	 <p>Sistema pantográfico</p>	 <p>Sistema telescópico</p>	 <p>Parafuso de potência</p>	
(B) Cobrir o solo	 <p>Panos plásticos</p>	 <p>Chapas metálicas</p>	 <p>Telas</p>	 <p>Chapas de mdf</p>
(C) Ajustar-se ao tronco da planta	 <p>Cerdas</p>	 <p>Lâminas com molas</p>	 <p>Velcro</p>	 <p>Dedos retráteis</p>
(D) Recolher frutos de café	 <p>Gravidade</p>	 <p>Sistema mecânico</p>	 <p>Sistema pneumático</p>	
(E) Transportar os frutos recolhidos	 <p>Esteiras</p>	 <p>Sistema pneumático</p>	 <p>Roscas transportadoras</p>	 <p>Elevadores de caneco</p>
(F) Armazenar frutos recolhidos	 <p>Sacas na própria máquina</p>	 <p>Tanque</p>	 <p>Bandejas</p>	

Eliminaram-se as propostas totalmente inadequadas, tais quais aquelas que não possuam afinidades geométricas ou por motivo de custo são inviáveis, escolhendo soluções que possuam compatibilidade física ao serem combinadas. As variantes escolhidas pela combinação sistemática e matriz de compatibilidade foram: S1 (A1, B2, C1, D1, E1, F2), S2 (A2, B2, C4, D1, E3, F1) e S3 (A2, B1, C1, D1, E1, F2), exemplificado no Quadro 4.

Quadro 4 – Variantes escolhidas pela combinação sistemática e matriz de compatibilidade

Função\Variante	S1	S2	S3
(A) Regular o sistema	 <p>Sistema pantográfico</p>	 <p>Sistema telescópico</p>	 <p>Sistema telescópico</p>
(B) Cobrir o solo	 <p>Chapas metálicas</p>	 <p>Chapas metálicas</p>	 <p>Panos plásticos</p>
(C) Ajustar-se ao tronco da planta	 <p>Cerdas</p>	 <p>Dedos retráteis</p>	 <p>Cerdas</p>
(D) Recolher frutos de café	 <p>Gravidade</p>	 <p>Gravidade</p>	 <p>Gravidade</p>
(E) Transportar os frutos recolhidos	 <p>Esteiras</p>	 <p>Roscas transportadoras</p>	 <p>Esteiras</p>
(F) Armazenar frutos recolhidos	 <p>Tanque</p>	 <p>Sacas na própria máquina</p>	 <p>Tanque</p>

Para a seleção da melhor solução, elaborou-se um quadro de seleção (Quadro 5), adotando-se os seguintes critérios de seleção: compatibilidade

garantida, atende à demanda da lista de requisitos, realizável em princípio, dentro dos custos permitidos, incorporam medidas de segurança e preferidas pela equipe de projeto.

Quadro 5 – Quadro de seleção para a recolhedora autopropelida

Soluções	Compatibilidade garantida	Atende a demanda da lista de requisitos	Realizável em princípio	Dentro dos custos permitidos	Incorporam medidas de segurança	Preferidas pela equipe de projeto
S1	+	+	+	-		
S2	+	+	+	+		
S3	+	+	+	-		

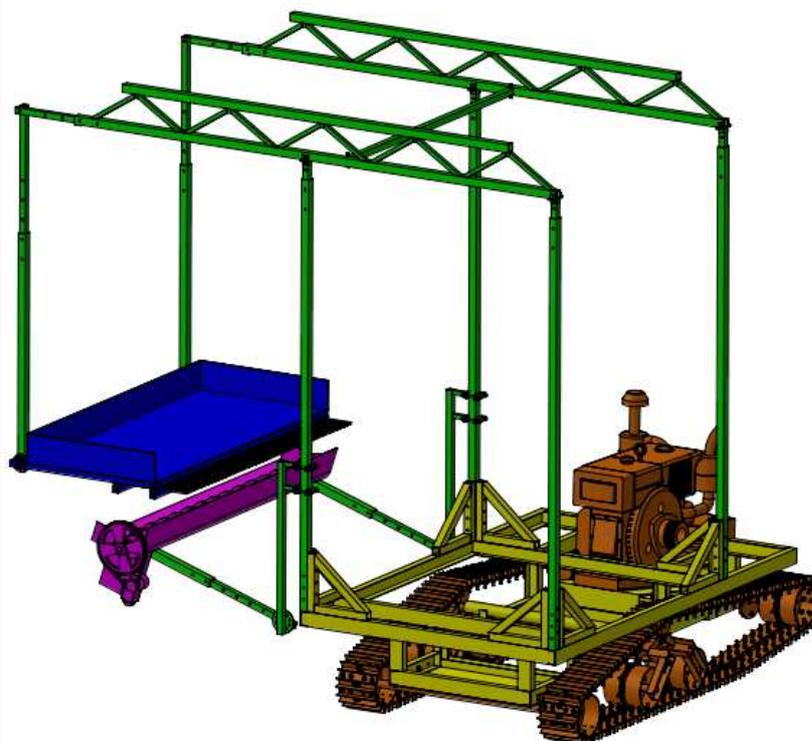
(+) sim, (-) não, (?) falta informação, (!) checar lista de requisitos

O fator limitante para a escolha da solução foi os custos para a construção, uma vez que os recursos eram escassos. A solução escolhida para regular o sistema de recolhimento foi o telescópico. Para cobrir o solo, ficou definido que seria utilizado as chapas metálicas. Foi determinado que o ajuste da placa recolhedora ao tronco da planta seria realizado empregando-se dedos retráteis. O recolhimento dos frutos de café por meio da gravidade. O uso de rosca transportadora e sacas na própria máquina foram as melhores soluções para o transporte e armazenamento dos frutos, respectivamente.

4.1.3. Projeto preliminar, detalhado e desenvolvimento de um modelo virtual

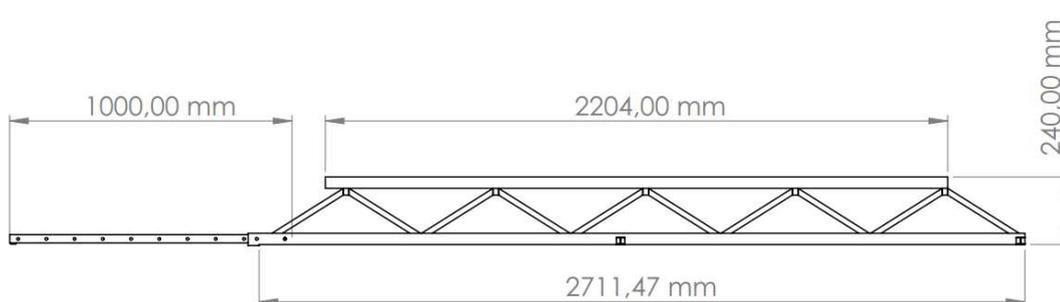
O protótipo foi constituído de cinco sistemas básicos (Figura 12): estrutural, sistema de propulsão e movimentação, sistema regulador, sistema de recolhimento e sistema de descarga. Com a finalidade de facilitar a construção de todos os sistemas que compõe o protótipo, buscou-se trabalhar com materiais e peças padronizadas que se encontram facilmente no mercado local.

Figura 12 – Sistemas básicos da recolhedora autopropelida: estrutural (amarelo), sistema de propulsão e movimentação (laranja), sistema regulador (verde), sistema de recolhimento (azul), e sistema de descarga (roxo)



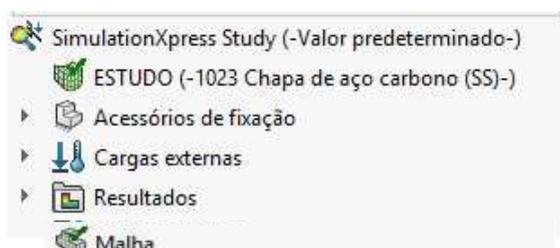
Verificou-se que o componente mais exigido, em termos de esforço mecânico, foi o tirante do sistema regulador (Figura 13), logo realizou-se uma análise de tensões e deformações nesta peça utilizando-se o método de elementos finitos.

Figura 13 – Estrutura do sistema regulador da recolhedora autopropelida



O software utilizado na análise de tensões e deformações apresenta uma ferramenta para a inserção e uso das mais variadas condições de contorno a serem implementadas no componente analisado (Figura 14).

Figura 14 – Condições de contorno no SolidWorks simulator



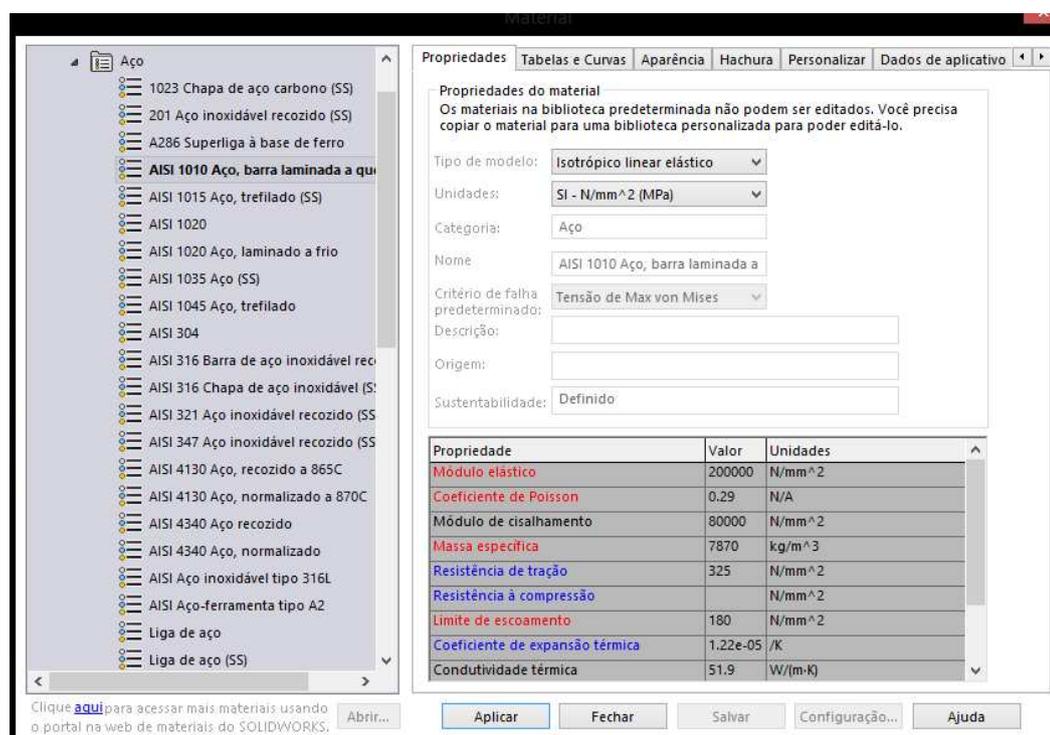
Conforme descrito no manual de ajuda do SolidWorks, têm-se na mesma ordem da Figura 14:

- a) ESTUDO: onde se faz a escolha do material por meio de uma biblioteca preexistente ou com a inserção de dados próprios;
- b) Acessórios de fixação: define os tipos de apoio e se existirá deslocamento de algum vértice do modelo;
- c) Cargas externas: define os mais variados tipos de carregamento;
- d) Malha: ambiente de criação e configuração da malha.

Com o conhecimento do que é possível criar com cada uma das ferramentas de condições de contorno, apresentar-se-ão as condições que foram utilizadas para a simulação. Iniciando com a configuração utilizada para o material empregado.

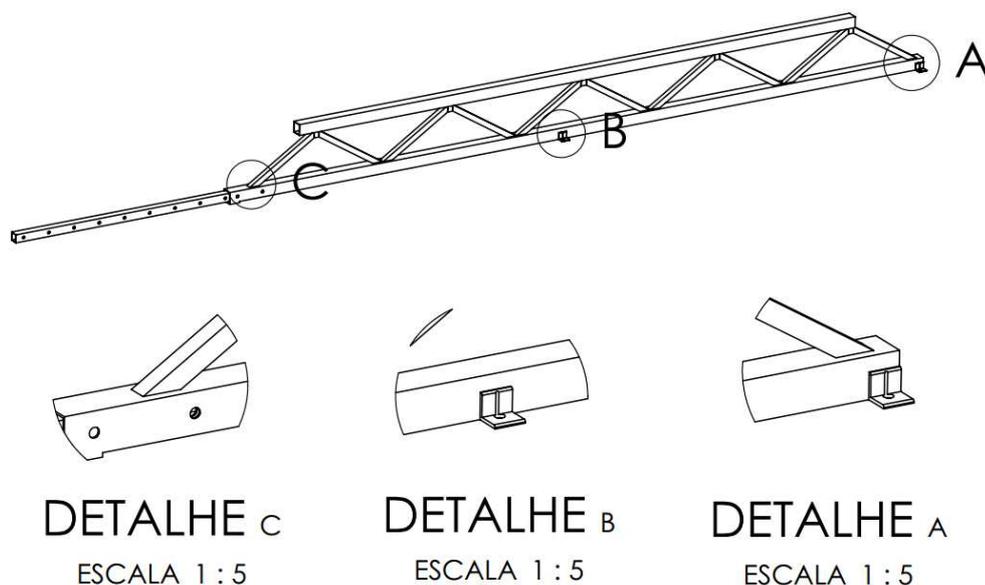
Utilizou-se, como material para a simulação, o aço-carbono comum AISI-SAE 1010, por se tratar de um aço que é comercializado na região do estudo. Este aço possui cerca de 0,10% de carbono em sua composição, mesclando uma boa resistência a uma alta ductilidade. Realizada a seleção do material na biblioteca do programa, é fornecido as propriedades mecânicas do mesmo, conforme se observa na Figura 15.

Figura 15 – Janela de seleção de materiais do software SolidWorks simulator



Na ferramenta, acessórios de fixação, dentre os diversos tipos de restrições a deslocamentos e/ou rotações, a opção utilizada foi a geometria fixa. Com esta, para malhas sólidas, define todos os graus translacionais de liberdade como zero. As faces dos componentes selecionadas com esta restrição foram as faces inferiores dos fixadores na torre telescópica (detalhes a e b) e as cilíndricas formadas pelos furos na peça, por onde foram presas empregando-se parafusos (detalhe c). Na Figura 16 observa-se a configuração descrita.

Figura 16 – Restrição de deslocamentos às faces seleccionadas



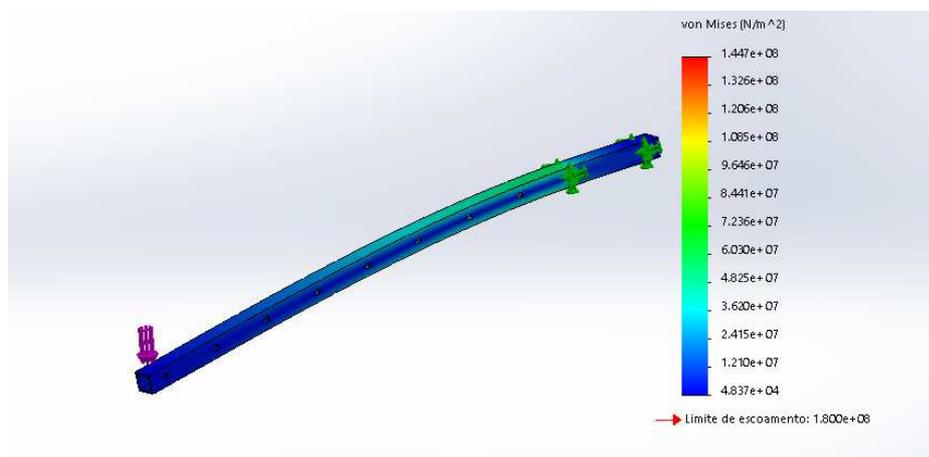
O próximo passo na configuração das condições de contorno é a escolha de uma carga externa. Aplicou-se uma força na extremidade da barra de aproximadamente 196,13 N (20 kgf), metade do peso máximo do conjunto recolhedor fixado ao componente, uma vez que o peso de 40 kgf é suportado por duas estruturas.

O software SolidWorks possui três tipos de geração de malhas, sendo estas: sólidos tetraédricos 3D, cascas triangulares 2D e elementos de viga 1D. Diante desse cenário surge a necessidade de uma análise de qual malha e qual o tamanho dos elementos utilizar. Essa análise é realizada através da convergência da malha (NORTON, 2013). Na simulação proposta, gerou-se uma malha com o uso do recurso “Malha Padrão” e com tamanho de elemento global de 4 mm, com tolerância máxima de 0,2 mm. O tipo de elemento adotado foi o tridimensional tetraédrico. Após concluir essa etapa, executou-se a simulação.

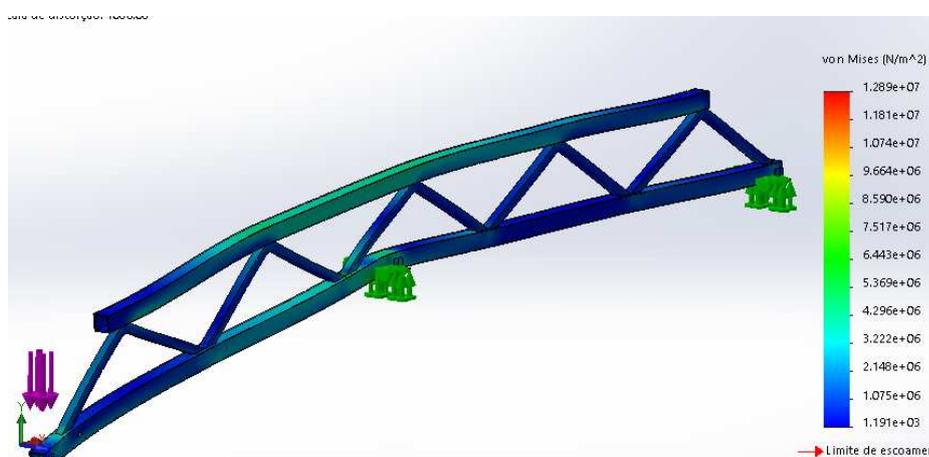
Na Figura 17 observam-se os resultados da tensão de Von Mises, obtidos na simulação realizada no componente. A máxima tensão alcançada no estudo foi 144,7 MPa, esforço esse localizado nos pontos de fixação dos parafusos do detalhe “c” da Figura 13. Esse valor de tensão ficou abaixo de 180 Mpa, que é a tensão limite de escoamento. Entretanto, vale ressaltar que estas regiões, onde ocorrem os

picos de tensões, são mais suscetíveis ao aparecimento de trincas, pois são regiões concentradoras de tensão, logo deve-se tomar cuidado com as mesmas.

Figura 17 – Resultados da análise de tensões de Von Mises, obtidos na simulação para (a) ponta do eixo e (b) treliça



(a)



(b)

Com base nos parâmetros especificados no programa, o fator de segurança mais baixo obtido na análise foi de 1,24. O resultado demonstra que as solicitações no componente estudado estão abaixo do limite de escoamento do material, logo, a peça não falhará diante de um carregamento estático. Entretanto, a incerteza quanto a qualidade do material utilizado, faz com que o fator de segurança encontrado seja baixo, logo deve-se observar o comportamento dos componentes em operação.

Todo o procedimento descrito acima foi realizado para outros componentes da recolhedora, não constatando nenhuma peça a ser redimensionada.

4.2. Construção do protótipo da recolhedora de café

Utilizou-se como base da recolhedora autopropelida o protótipo da plataforma autopropelida para locomoção de colhedora de café em região de montanha, desenvolvida por Souza (2016). O conjunto composto pelo motor mais a transmissão foi adaptado utilizando-se um microtrator de rabiça. Observa-se pela Tabela 7 as especificações técnicas desse trator de rabiça, sendo listados a massa total do trator, tipo de motor, sistema de transmissão, sistema elétrico e sistema de arrefecimento.

Tabela 7 – Especificações técnicas do trator de rabiças utilizado no protótipo da recolhedora

Item	Especificações
Massa total do microtrator	350 kg
Tipo de motor	Um cilindro, quatro tempos, resfriado a água, modelo horizontal.
Potência do motor	15 cv
Rotação nominal do motor	2200 rpm
Tipo de embreagem	Disco de fricção dupla e contato constante
Caixa de câmbio	Engrenagens de dentes retos e engrenagem deslizante constantemente engrenada.
Tipo de gerador	Magneto-permanente gerador A.c
Voltagem da bateria	12 V
Capacidade do radiador	5 litros de água
Capacidade do tanque de combustível	12 litros de óleo diesel

Houve a necessidade de modificar o chassi do modelo, estendendo-se o mesmo para cima (Figura 18). Para a confecção da extensão do chassi utilizou-se serra policorte para o corte da barra de perfil “U” em tamanhos variados, unindo-as utilizando uma máquina de solda elétrica. Outra modificação necessária foi a modificação do sistema de movimentação da máquina, substituindo as rabiças por comandos com alavancas.

Figura 18 – Construção da extensão do chassi do protótipo



Utilizando barras de metalon de perfil quadrado, construíram-se suportes em forma de triângulo (Figura 19), soldados junto ao chassi, com o objetivo de suportar o sistema regulador da recolhedora autopropelida. Com o auxílio de uma furadora de bancada realizaram-se os furos nesse componente.

Figura 19 – Construção dos suportes do sistema regulador da recolhedora autopropelida



Todo o sistema regulador do protótipo (Figura 20) foi construído utilizando barras de metalon de perfil quadrado. Os sistemas telescópicos foram compostos de barras de tamanhos de perfis diferentes, a fim de que uma barra ficasse por dentro da outra, podendo assim variar altura e largura do sistema.

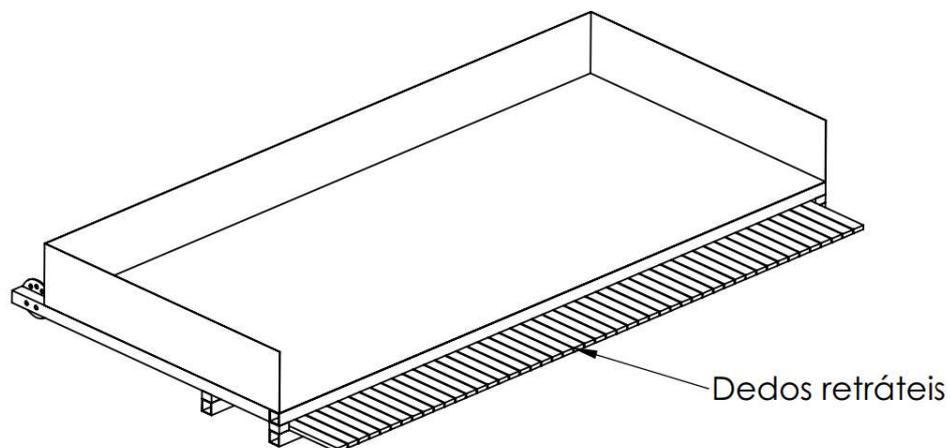
Figura 20 – Sistema regulador do protótipo



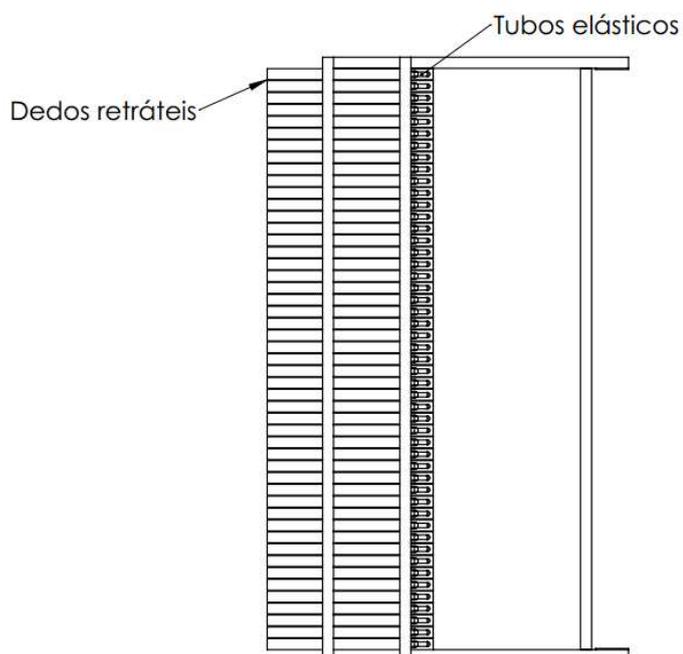
O sistema recolhedor foi composto por uma estrutura metálica que recebia dedos retráteis confeccionados em madeiras presos a um tubo elástico, proporcionando o movimento de “vai e vem” (dedos retráteis) (Figura 21). Toda a estrutura foi coberta com chapas metálicas para realizar o recolhimento e a condução do café até a rosca transportadora. Esse sistema é a parte mais importante do protótipo, sendo responsável por envolver a planta de café e evitar que os frutos caiam no chão durante o processo de derrça.

O movimento linear de “vai e vem” dos dedos retráteis otimiza o trabalho, uma vez que ao retirar o mecanismo da planta de café, os dedos retráteis voltam à sua posição inicial. O espaçamento entre as peças foi dimensionado para que nenhum fruto de café passe por entre eles.

Figura 21 – Desenho esquemático do sistema recolhedor de dedos retráteis, (a) vista isométrica e (b) vista inferior



(a)



(b)

A rosca transportadora foi montada em uma estrutura que possibilitava a regulação de altura do sistema de descarga (Figura 22), sendo acionada por um

motor elétrico de 12 V, ligado à bateria do protótipo. Após a união de todos os sistemas, realizou-se a pintura do protótipo para conferir melhor acabamento ao mesmo. Na Figura 23 observa-se o resultado final da construção da recolhedora autopropelida para colheita de café em região de montanha terraceada.

Figura 22 – Estrutura de regulação de altura do sistema de descarga



Figura 23 – Montagem completa da recolhedora autopropelida para colheita de café em região de montanha terraceada



4.3. Caracterização dimensional e ponderal do protótipo da plataforma para locomoção de colhedora de café

Os valores obtidos na caracterização dimensional e ponderal do protótipo podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 – Caracterização dimensional e ponderal do protótipo

Item	Valor	Unidade
Largura	2,75 a 3,75	metros
Comprimento	3,07	metros
Altura	3,11 a 5,11	metros
Vão livre horizontal	0,94	metros
Vão livre vertical	0,17	metros
Ângulo de entrada	55	°
Ângulo de saída	10	°
Posição “X” do centro de massa	0,8	metros
Posição “Y” do centro de massa	0,62	metros
Posição “Z” do centro de massa (Vista frontal, sendo a linha de centro da máquina o ponto de referência)	-0,24	metros
Ângulo limite estático em aclave	52,2	°
Ângulo limite estático em declive	29,4	°
Ângulo limite estático de inclinação transversal	61,6	°
Raio de giro	2,3	metros
Espaço de giro	6,5	metros

Item	Valor	Unidade
Relação do raio e espaço de giro (IRE)	41,3	%
Índice de simetria do raio de giro (IRsg)	0	%

As medidas do vão livre vertical e vão livre horizontal foram de 0,17 e 0,94 m, respectivamente. Observa-se que quanto maior o vão livre vertical, melhor a circulação do protótipo em culturas implantadas e menores são os danos. O vão livre horizontal está diretamente relacionado com a distribuição do peso da máquina no terreno, sendo que quanto maior o valor do vão livre horizontal, menor a compactação do solo que o protótipo provoca. Como os ângulos de entrada e saída foram de 55° e 10°, respectivamente, o protótipo perdeu parte de sua capacidade de vencer obstáculos, como cumes e desfiladeiros.

As coordenadas “x”, “y” e “z” do centro de massa do protótipo foram 0,8; 0,62 e -0,24; respectivamente. Lima et al. (2004), estimaram as estabilidades longitudinal e transversal de um trator florestal derrubador-amontoador ("Feller-Buncher"), com cabine de proteção, tração tipo 4x4, pneus 23.1-26, pressão interna de inflagem de 193 kPa, raio estático dos pneus de 790 mm, distância entre os eixos de 2.540 mm, bitola de 2.000 mm, distribuição de peso no eixo dianteiro de 53,9%, massa total de 13.375 kg; e um trator florestal arrastador ("Skidder"), articulado, tração tipo 4x4, motor CAT 3304 DIT, potência de 130 kW, 4 cilindros, com cabine de proteção, pneus (BPAF) 66 x 43-26 ", raio estático dos pneus de 850 mm, pressão interna de inflagem de 179 kPa, distância entre eixos de 3.500 mm, bitola de 2.700 mm, distribuição de peso no eixo dianteiro de 55%, massa total de 16.245 kg. Segundo os autores, a coordenada vertical do centro de massa (coordenada “y”) dos tratores florestais “Feller Buncher” e “Skidder” foram de 1,21 e 1,31 metros em relação ao plano de apoio, ou seja, aproximadamente 50% maior do que a encontrada no protótipo. Os ângulos estimados para os tratores "Skidder" e "Feller-Buncher" foram de 56,3° e 48,5°, respectivamente. Essa informação é bastante relevante, uma vez que esses tratores florestais são projetados para trabalhar em regiões de terrenos montanhosos.

O ângulo limite estático em aclave foi de aproximadamente $52,2^\circ$, os ângulos limite estático em declive e de inclinação transversal foram de aproximadamente $29,4^\circ$ e $61,6^\circ$; respectivamente. Para garantir a segurança do operador, o ângulo limite de inclinação dinâmica deve ser 50,0% do limite de inclinação estática ou uma inclinação de $30,8^\circ$; aproximadamente 68,4%.

Durante o ensaio, verificou-se que o raio e o espaço de giro não mudaram dependendo da velocidade imposta e do lado em que o protótipo foi girado. Ao fim dos ensaios constatou-se que o raio de giro, tanto para a esquerda quanto para a direita, foi de 2,30 metros e o espaço de giro foi de 6,5 metros. A relação do raio e espaço de giro e o índice de simetria do raio de giro foi de 41,3 % e 0,0 %, respectivamente. De acordo com Mialhe (1996) valores da relação do raio e espaço de giro menores que 3,0% se enquadram na categoria ótimo; 3,1 a 5,9% bom; 6,0 a 9,0% regular e $>9,0\%$ é dado como deficiente. A relação do raio e espaço de giro do protótipo construído foi considerada deficiente, muito devido à largura do sistema regulador que aumenta em muito o espaço de giro. O índice de simetria do raio de giro foi classificado como ótimo sendo esse abaixo de 0,5%.

4.4. Avaliação do protótipo da recolhedora

Para a avaliação do protótipo caracterizou-se alguns componentes do mesmo. A altura da barra de tração do solo foi de aproximadamente 20 cm. Os rodados de esteira possuía largura de 21 cm e altura da garra de uma polegada (2,54 cm). A área de contato total das esteiras com o solo era de 6.300 cm².

4.4.1. Desempenho na barra de tração da recolhedora

4.4.1.1. Caracterização da pista usada no ensaio

Os resultados obtidos durante a caracterização da pista usada no experimento para avaliar o desempenho na barra de tração podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 – Características da pista utilizada no ensaio

Característica	Valor
Resistência à penetração	1200 kPa
Densidade	1,42 g cm ⁻³
Teor de água	0,17 kg kg ⁻¹

4.4.1.2. Força de tração

As médias, acompanhadas do coeficiente de variação, das forças de tração encontrada em cada tratamento são observadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Forças médias desenvolvidas no ensaio da barra de tração da recolhedora

Carga no trenó de arraste (kgf)	Força média (N)	C.V. (%)
60	615	10,92
120	980	8,04
270	1835	19,73
330	2340	5,69

4.4.1.3. Patinagem dos rodados da recolhedora

Os valores médios de patinagem dos rodados da recolhedora autopropelida para as combinações entre os fatores estudados estão na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores médios para patinagem, em %, para as combinações entre as velocidades angulares, força na barra de tração e lastro

F (N)	R1 (10,5 rpm)			R2 (18,6 rpm)			R3 (30,9 rpm)		
	L1 (0 kg)	L2 (50 kg)	L3 (100 kg)	L1 (0 kg)	L2 (50 kg)	L3 (100 kg)	L1 (0 kg)	L2 (50 kg)	L3 (100 kg)
615	6,9c	7,4b	6,9c	7,7c	7,6b	7,1c	7,7c	7,0b	7,2c
980	8,9c	8,4b	7,5b	9,2b	7,9b	7,5c	9,1c	8,8b	9,0c
1835	18,1b	10,5b	10,8b	11,9b	9,9b	9,6b	14,0b	12,6a	11,8b
2340	28,1a	16,1a	14,9a	17,6a	14,3a	11,2a	23,8a	13,0a	14,3a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. F – Força exercida na barra de tração, R – Velocidade angular do eixo motriz e L – Lastro adicionado ao protótipo.

O maior valor observado foi de 28,1% a uma velocidade angular de 10,5 rpm, com o trator trabalhando sem lastro e tracionando uma carga de 2340 N na barra de tração. Os maiores valores de patinagem, para cada classe de força, foram observados quando o protótipo estava sem lastro. Esse comportamento é explicado pelo fenômeno de transferência de peso do eixo dianteiro para o eixo traseiro, resultando em menor peso dinâmico no eixo dianteiro e menor superfície de contato da esteira com o solo. De acordo com a NBR 10400/88 a taxa de patinagem ideal para tratores com rodados de esteira está em torno de 7%.

Realizou-se uma análise de regressão, em função das velocidades angulares e da adição de lastro no protótipo. Na Tabela 12 são observadas as equações de regressão ajustadas para patinagem seguido do coeficiente de determinação.

Tabela 12 – Equações de regressão ajustadas para a patinagem do protótipo (S, em %) em função da velocidade angular do eixo motriz e do acréscimo de lastro no protótipo e o respectivo coeficiente de determinação (R^2), para cada uma das classes de forças

Força (N)	Equação ajustada	R^2
615	$\hat{S} = 16,89^{**} R$	0,85
980	$\hat{S} = 19,01^{**} R$	0,88
1835	$\hat{S} = 30,38^{**} R$	0,80
2340	$\hat{S} = 44,53^{**} R$	0,74

** - Significativo ao nível de 1%, pelo teste t. S – Deslizamento dos rodados, R – Velocidade angular do eixo motriz e L – Lastro adicionado ao protótipo.

A variável velocidade angular do eixo motriz apresentou efeito linear na porcentagem de patinagem, para todas as classes de força. O parâmetro lastro foi investigado como um possível fator influente na variável “patinagem” durante o experimento. O lastro é frequentemente utilizado para melhorar a tração do trator em terrenos acidentados ou escorregadios. No entanto, com base nos resultados obtidos e na análise estatística realizada, verificou-se que o lastro no trator não apresentou uma influência significativa na variável “patinagem” ($p > 0,01$). Uma possível explicação para esse resultado é que as condições de terreno na qual o protótipo foi testado não foram desafiadoras o suficiente para que o lastro fizesse diferença significativa na patinagem. Apesar de não ter sido observada uma influência significativa do lastro na patinagem neste estudo, é importante ressaltar que esses resultados são específicos para as condições experimentais e a

recolhedora utilizada. Estudos futuros podem ser conduzidos considerando diferentes terrenos e características da máquina para obter uma compreensão mais abrangente do efeito do lastro na patinagem.

4.4.1.4. Determinação do consumo horário e específico de combustível

O maior consumo horário de combustível foi de 2,29 L h⁻¹ (Tabela 13), na velocidade angular de 30,9 rpm, sem lastro e com o protótipo tracionando 2340 N na barra de tração. O consumo por hora é diretamente proporcional ao deslizamento do protótipo. À medida que a porcentagem de patinagem aumenta, a barra de tração usa energia com menos eficiência, aumentando assim o consumo de combustível. Correa, 2019, ao avaliar o consumo horário de combustível de um trator Forwarder, em diversas operações de extração de madeira, encontrou valores de consumo oscilando entre 6,8 a 8,6 L h⁻¹. Logo pode-se perceber que o consumo horário de combustível da recolhedora autopropelida está bem abaixo dos consumos de outros tratores agrícolas de esteira.

Tabela 13 – Valores médios para o consumo horário de combustível, em L h⁻¹, para as combinações entre as velocidades angulares, força na barra de tração e lastro

F (N)	R1 (10,5 rpm)			R2 (18,6 rpm)			R3 (30,9 rpm)		
	L1 (0 kg)	L2 (50 kg)	L3 (100 kg)	L1 (0 kg)	L2 (50 kg)	L3 (100 kg)	L1 (0 kg)	L2 (50 kg)	L3 (100 kg)
615	0,86a	0,85a	0,86a	1,19a	1,11a	1,22a	1,31b	1,53a	1,31a
980	0,90a	0,91a	0,91a	1,22a	1,22a	1,12a	1,29b	1,46a	1,29a
1835	1,14a	0,93a	0,98a	1,16a	0,99a	1,19a	1,37b	1,54a	1,40a
2340	0,92a	0,93a	0,89a	1,08a	1,34a	1,07a	2,29a	1,39a	1,37a

As médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. F – Força exercida na barra de tração, R – Velocidade angular do eixo motriz e L – Lastro adicionado ao protótipo.

Para cada classe de força, a variável lastro não apresentou efeito significativo para o consumo horário de combustível. A variável velocidade angular apresenta efeito linear positivo para o consumo horário de combustível (Tabela 14).

Tabela 14 – Equações de regressão ajustadas para o consumo horário do protótipo (ch , em $L h^{-1}$) em função da velocidade angular do eixo motriz e do acréscimo de lastro no protótipo e o respectivo coeficiente de determinação (R^2), para cada uma das classes de forças

Força (N)	Equação ajustada	R^2
615	$\widehat{Ch} = 2,89^{**} R$	0,93
980	$\widehat{Ch} = 2,87^* R$	0,94
1835	$\widehat{Ch} = 2,95^{**} R$	0,92
2340	$\widehat{Ch} = 3,66^{**} R$	0,95

** e * - Significativo ao nível de 1% e Significativo ao nível de 5% respectivamente, pelo teste t. Ch – Consumo horário de combustível, R – Velocidade angular do eixo motriz e L – Lastro adicionado ao protótipo.

Os valores médios do consumo específico de combustível podem ser observados na Tabela 15. O menor e o maior consumo específico foram de 1,77 e 11,44 $L kWh^{-1}$, respectivamente.

Tabela 15 – Valores médios para consumo específico de combustível, em $L kWh^{-1}$, para as combinações entre as velocidades angulares, força na barra de tração e lastro

F (N)	R1 (10,5 rpm)			R2 (18,6 rpm)			R3 (30,9 rpm)		
	L1 (0 kg)	L2 (50 kg)	L3 (100 kg)	L1 (0 kg)	L2 (50 kg)	L3 (100 kg)	L1 (0 kg)	L2 (50 kg)	L3 (100 kg)
615	11,26a	10,90a	11,44a	7,58a	8,79a	7,95a	7,00a	7,16a	5,51a
980	8,11b	7,17b	7,74b	5,74b	5,26b	5,19b	3,69b	3,83b	3,39b
1835	5,00c	4,08c	4,61c	2,86c	2,72c	2,96c	2,27b	2,37c	2,22bc
2340	3,89c	3,24c	3,28c	2,30c	2,70c	2,27c	3,07b	1,80c	1,77c

As médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. F – Força exercida na barra de tração, R – Velocidade angular do eixo motriz e L – Lastro adicionado ao protótipo.

À medida que a carga na barra de tração aumenta e a velocidade do eixo motriz aumenta, o combustível é utilizado de forma mais proveitosa, reduzindo assim o consumo específico.

Realizando a análise de regressão, em função das velocidades angulares e da adição de lastro no protótipo (Tabela 16), observou-se que apenas para a classe de força de 2340 N o lastro adicionado ao protótipo não teve efeito significativo. Para as classes 615, 980 e 1835, tanto a velocidade angular quanto lastro tiveram efeito linear positivo no consumo específico de combustível.

Tabela 16 – Equações de regressão ajustadas para o consumo específico de combustível (C_e , em $L\ kWh^{-1}$) em função da velocidade angular do eixo motriz e do acréscimo de lastro no protótipo e o respectivo coeficiente de determinação (R^2), para cada uma das classes de forças

Força (N)	Equação ajustada	R^2
615	$\widehat{C_e} = 14,70 * R + 0,04 * L$	0,71
980	$\widehat{C_e} = 8,76 * R + 0,03 * L$	0,66
1835	$\widehat{C_e} = 5,05 * R + 0,02 * L$	0,66
2340	$\widehat{C_e} = 5,39 * R$	0,70

** e * - Significativo ao nível de 1% e 5% respectivamente, pelo teste t. C_e – Consumo específico de combustível, R – Velocidade angular do eixo motriz e L – Lastro adicionado ao protótipo.

4.4.2. Perda no recolhimento

Os valores médios de perdas no recolhimento dos frutos de café podem ser observados na Tabela 17, no qual foram separados por inclinação do terreno trabalhada na fazenda terraceada. Ainda são apresentados os desvios padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) das amostras.

Tabela 17 – Média dos valores de perdas no recolhimento dos frutos de café seguidas pelo Desvio Padrão (DP) e Coeficiente de Variação (CV)

Declividade (°)	Média (%)	DP (%)	CV (%)
8	7,0	1,16	16
17	6,7	2,05	30
25	9,8	1,63	16
30	11,2	1,67	15
38	7,2	1,21	17

Ao avaliar os valores médios das perdas no recolhimento, observam-se que os valores foram próximos, variando de 6,7 a 11,2 %. Ao realizar uma análise de regressão linear para os dados, constatou-se um coeficiente de determinação 0,08. Efetuando-se o teste t para avaliar a significância dos coeficientes de regressão, observou-se que a declividade não possui correlação com as perdas no

recolhimento, a um nível de 5% de significância. Loureiro (2015), ao desenvolver um recolhedor de frutos para uma colhedora de café em áreas inclinadas, avaliou a eficiência do recolhimento do mecanismo. Variando a declividade entre 0 a 40% (0 a 18°), o autor conseguiu valores de perdas que oscilaram entre 20 a 22,64 %, aproximadamente 2,4 vezes maior que as perdas encontradas pelo sistema de recolhimento da colhedora autopropelida. Na Figura 25, observa-se algumas etapas do procedimento experimental realizado na fazenda Oásis, localizada no município de Coimbra.

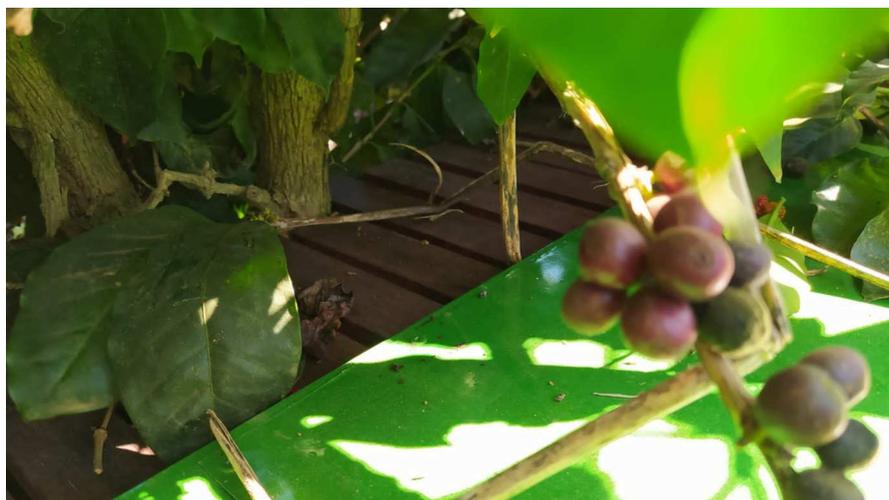
Figura 25 – Procedimento experimental realizado na fazenda Oásis. (a) deslocamento do protótipo nas ruas do cafezal, (b) ação do mecanismo recolhedor e (c) ação dos dedos retráteis



(a)



(b)



(c)

4.4.3. Eficiência e capacidade operacional da recolhedora

Na Tabela 18 observam-se as eficiências operacionais médias no recolhimento do café utilizando a recolhedora autopropelida. Calculou-se a partir dos tempos de colheita e da área trabalhada a capacidade operacional do protótipo (Tabela 17). Durante o experimento a recolhedora autopropelida deslocou-se a uma velocidade média de 1,2 km h⁻¹. A distância entre fileiras das plantas foi de 2,5 m e o espaçamento médio entre as plantas foi de 0,5 m.

Tabela 18 – Tempos médios de recolhimento e capacidade operacional do protótipo

Declividade (°)	Eficiência operacional (%)	Capacidade operacional (ha h ⁻¹)
8	67,8	0,10
17	69,9	0,11
25	64,8	0,09
30	64,4	0,09
38	64,1	0,09

Avaliando a significância dos coeficientes de regressão, pelo teste t, observou-se que a declividade não possui correlação com a capacidade operacional, a um nível de 5% de significância. Ao comparar a capacidade operacional da recolhedora autopropelida com o da colheita mais utilizada para as regiões de montanha (colocação de panos por debaixo da planta de café e derriça manual) (Tabela 19), observou-se que a capacidade operacional daquela foi maior do que essa, utilizando o mesmo número de trabalhadores no processo.

Tabela 19 – Capacidade operacional da colheita tradicional realizada na fazenda de café de montanha terraceada

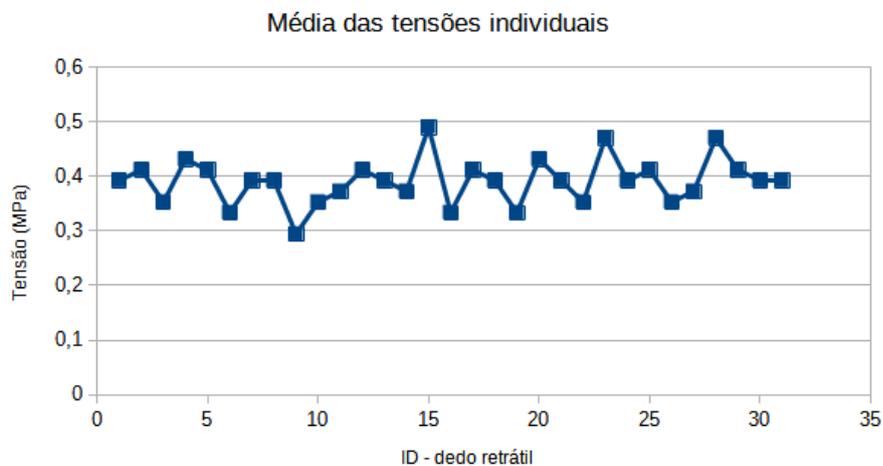
Declividade (°)	Capacidade operacional (ha h ⁻¹)
8	0,013
17	0,014
25	0,012
30	0,013
38	0,012

Tavares et al. (2019), ao realizarem estudos de tempos, movimentos e eficiência operacional da colheita mecanizada de café em áreas inclinadas, constataram que a operação de colheita mecanizada apresentou resultados superiores em relação às operações semimecanizadas e manual. As capacidades operacionais para a colheita mecanizada, semimecanizada e manual foram de 0,11 ha h⁻¹, 0,01 ha h⁻¹ e 0,01 ha h⁻¹, respectivamente. Em outro estudo, Souza et al. (2017), utilizando colhedoras automotrizes com hastes vibratórias que realizam a derriça, limpeza e transporte dos frutos, obtiveram capacidade operacional entre 0,3 a 0,48 ha h⁻¹, valores um pouco acima porém próximos aos encontrados no presente trabalho.

4.4.4. Determinação das tensões nos dedos retráteis do mecanismo recolhedor

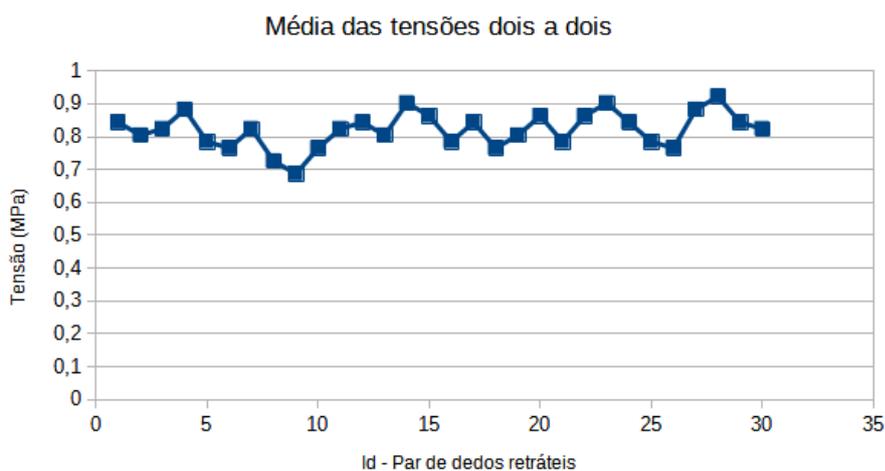
As médias das tensões individuais observadas nos dedos retráteis da placa de recolhimento do sistema recolhedor são mostradas na Figura 26. Os valores oscilaram entre 0,29 a 0,49 MPa, sendo o valor médio 0,39 MPa.

Figura 26 – Valores médios das tensões individuais nos dedos retráteis do mecanismo recolhedor.



Para as medidas de tensão por pares de dedos retráteis (Figura 27) o menor valor foi de 0,68 MPa e o maior valor foi de 0,92 MPa. A média das tensões necessária para retraindois dedos do sistema recolhedor foi 0,82 MPa.

Figura 27 – Valores médios das tensões por pares nos dedos retráteis do mecanismo recolhedor



A resistência da madeira do caule de café pode variar dependendo de vários fatores, como a espécie específica de café, a idade da árvore, as condições de crescimento e as características genéticas. No entanto, para dar uma estimativa geral, a madeira do caule de café normalmente possui uma resistência que varia entre 30 a 80 MPa.

O resultado revelou que o mecanismo de dedos retráteis projetado para o recolhimento do café não causará danos físicos nas plantas. Com o mecanismo de dedos retráteis, os riscos de danos são minimizados, garantindo que as plantas de café sejam tratadas com cuidado durante o processo de colheita. Essa descoberta é promissora, pois permite que a colheita seja adotada sem preocupações com possíveis prejuízos à planta, contribuindo para a eficiência e sustentabilidade da indústria cafeeira.

4.5. Avaliação dos níveis de ruído

Observou-se um nível de ruído de 89 dB(A) junto ao posto de operação da colhedora autopropelida. Esse nível supera o recomendado pela NR-15 (Brasil, 2005). A NR-15 estipula um limite de 85 dB (A) para até 8 horas de exposição por dia sem proteção auditiva. Por esse motivo, equipamentos de proteção individual (EPI), principalmente protetores auditivos, devem ser utilizados durante a operação. Os níveis de ruído coletados em um raio de afastamento de 2, 4, 6, 8 e 10 metros, a esquerda, a direita, a frente e atrás do protótipo são observados na Tabela 20.

Tabela 20 – Valores médios dos níveis de ruído (dB (A)) em diferentes distâncias, para o lado direito, esquerdo, a frente e atrás do protótipo

Posição	Distância de afastamento (m)				
	2	4	6	8	10
Frente	81,5	79,5	77,0	75,0	74,5
Direito	85,5	84,0	82,0	79,0	78,0
Esquerdo	86,5	81,0	78,0	77,5	75,5
Atrás	84,5	81,0	78,5	78,0	77,0

Para os raios de distância, os valores máximos ocorreram até uma distância de 2 m apenas nos lados direito e esquerdo. Pessoas dentro desta faixa em seu trabalho diário também devem usar EPI, especialmente proteção auditiva. O maior valor para o lado esquerdo, a 2 metros de afastamento, em relação ao lado direito se deve ao fato do escapamento do protótipo se situar nessa posição. A Tabela 21 lista a exposição diária máxima permitida pela norma regulamentadora (NR 15), com nível sonoro de 85 dB(A) para exposição de 8 horas por dia. Para a recolhedora autopropelida, a exposição máxima permitida por dia é de 4 horas e 30 minutos.

Tabela 21 – Máxima exposição diária permissível em relação ao nível de ruídos sem proteção auricular, segundo a Norma Regulamentadora (NR15)

Nível de ruído db (A)	Máxima exposição diária permissível	Nível de ruído db (A)	Máxima exposição diária permissível
85	8 horas	98	1 hora e 15 minutos
86	7 horas	100	1 hora
87	6 horas	102	45 minutos
88	5 horas	104	35 minutos
89	4 horas e 30 minutos	105	30 minutos
90	4 horas	106	25 minutos
91	3 horas e 30 minutos	108	20 minutos
92	3 horas	110	15 minutos
93	2 horas e 40 minutos	112	10 minutos
94	2 horas e 15 minutos	114	8 minutos
95	2 horas	115	7 minutos
96	1 hora e 45 minutos		

5. CONCLUSÕES

Os objetivos do estudo foram alcançados, uma vez que:

- A solução proposta era fabricável mesmo em nível de prototipagem;
- O desenvolvimento de um modelo virtual permitiu identificar erros de projeto e corrigi-los em tempo hábil;
- O protótipo apresentou uma inclinação transversal dinâmica máxima de 68,4%;
- Não houve correlação entre a inclinação do terreno e as perdas no recolhimento, assim como não houve correlação entre a inclinação e a capacidade operacional da máquina;
- O maior valor de capacidade operacional foi de 0,11 ha h⁻¹, obtido na declividade de 17°;
- A média da eficiência operacional foi de 66,2%.

REFERÊNCIAS

- Almeida, P. F. P. D., Vitória, E. L. D., Infantini, M., & Furtado Junior, M. R. (2019). Colheita mecanizada e manual do café conilon.
- Alves, E. L., Pereira, F. A. C., & Dalchiavon, F. C. (2017). Potencial econômico da utilização de micro-terraceamento em lavouras de café: um estudo de caso. *Revista iPecege*, 3(1), 24-38.
- Baxter, M. (2011). *Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos*. Editora Blucher.
- Boas, L. G. V. (2022). A precarização do trabalho na agricultura familiar em nepomuceno-mg. *Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE/UEM)*, 14(1), 145-168.
- Carpinetti, L. C. R. (2012). *Gestão da qualidade*. EDa Atlas SA.
- Correia, Luiz Paulo de Sousa. Estimativa do consumo horário de combustível do Forwarder. 2019.
- Cunha, J. P. B., Silva, F. M. D., Dias, R. E. B. A., Lisboa, C. F., & Machado, T. D. A. (2016). Viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas de colheita do café.
- dos Santos Guaraldo, M. M., de Oliveira, A. L. R., & de Campos Coleti, J. (2018). Entraves e potencialidades do café de montanha: alternativas de agregação de valor. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(1), 270-278.
- Embrapa. Manual e métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Atual, 1997. 212p
- Loureiro, D. R. (2015). Projeto de um recolhedor de frutos para uma colhedora de café em áreas inclinadas.
- Lima, J. S. D. S., Souza, A. P. D., Machado, C. C., Pezzopane, J. E. M., & Areas, M. L. (2004). Estimativa das estabilidades longitudinal e transversal de tratores florestais utilizados na colheita de madeira. *Revista Árvore*, 28, 839-844.
- Maranhão, C., Silva, L. R., & PAULO DAVIM, J. O. ã. O. (2016). SIMULAÇÃO POR ELEMENTOS FINITOS COM VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL NO MICRO-TORNEAMENTO ORTOGONAL DO AÇO AISI D2. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 20(1).
- Marques, I., Fernandes, I., Paulo, O. S., Lidon, F. C., DaMatta, F. M., Ramalho, J. C., & Ribeiro-Barros, A. I. (2021). A transcriptomic approach to understanding the combined impacts of supra-optimal temperatures and CO2 revealed different responses in the polyploid *Coffea arabica* and its diploid progenitor *C. canephora*. *International journal of molecular sciences*, 22(6), 3125.

Marques, I., Gouveia, D., Gaillard, J. C., Martins, S., Semedo, M. C., Lidon, F. C., ... & Ramalho, J. C. (2022). Next-Generation Proteomics Reveals a Greater Antioxidative Response to Drought in *Coffea arabica* Than in *Coffea canephora*. *Agronomy*, 12(1), 148.

Matiello, J. B., Dias, J. R., & Franco, L. (2015). Viabilidade técnica e econômica do micro-terraceamento em cafezais de montanha, com o uso de trator com lamina traseira.

Melese, Y. Y., & Kolech, S. A. (2021). Coffee (*Coffea arabica* L.): Methods, objectives, and future strategies of breeding in Ethiopia. *Sustainability*, 13(19), 10814.

Mialhe, L.G. Manual de mecanização agrícola. V.2. São Paulo: EDUE/SP, p.367, 1980.

Mialhe, L.G. Maquinas Agrícola – Ensaio & Certificação. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz, p.723, 1985.

Mialhe, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - FEALQ, p.722, 1996.

Nickel, E. M., Ferreira, M. G. G., Forcellini, F. A., Santos, C. T. D., & Silva, R. A. Á. Modelo multicritério para referência na fase de Projeto Informacional do Processo de Desenvolvimento de Produtos. *Gestão & Produção*, v. 17, p. 707-720, 2010.

NORTON, R. L. Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada. [SI]: Bookman Editora, 2013.

Oliveira, M. V. M. (2013). Desenvolvimento e avaliação de uma colhedora automotriz de café para regiões montanhosas.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2005). *Projeto na engenharia*. Editora Blucher.

Percio, A., Velasque, A., Pedroso, E. C., Mendes, G., Granella, N. J., Baldissera, A., & Orso, K. D. F. . PROJETO DE UM TRITURADOR DE LIXO ELETRÔNICO. *Anais da Engenharia Mecânica/ISSN 2594-4649*, 2019, 4.1: 132-148.

Pezzi, F., & Martelli, R. (2015). Technical and economic evaluation of mechanical grape harvesting in flat and hill vineyards. *Transactions of the ASABE*, 58(2), 297-303.

Prabhu, R., Simpson, T. W., Miller, S. R., Cutler, S. L., & Meisel, N. A. (2021). Teaching Designing for Additive Manufacturing: Formulating Educational Interventions That Encourage Design Creativity. *3D Printing and Additive Manufacturing*.

ROCCO, A. M.; SILVEIRA, A. D. Ferramental para eficiência em vendas. In: Congresso de Administração e Gerência. 2008.

Santinato, F., Silva, R. P. D., Cassia, M. T., & Santinato, R. (2014). Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras. *Coffee Science*, 2014, v.09, n.4.

Santinato, F., Ruas, R. A. A., Silva, R. P. D., Duarte, A. P., & Santinato, R. (2015). Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas operações da colhedora. *Coffee Science*, 2015, v.10, n.3.

Siqueira, H., Carvalho, M. L., Krohling, C. A., & Matiello, J. B. (2017, June). Modos de fazer micro-terraços em cafezais de montanha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 41., 2017, Poços de Caldas. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2017.

Sola-Guirado, R. R., Blanco-Roldan, G. L., Castro-Garcia, S., Castillo-Ruiz, F. J., & Gil-Ribes, J. A. (2018). Innovative circular path harvester for mechanical harvesting of irregular and large-canopy olive trees. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(3), 86-93.

Souza, F. G. *Desenvolvimento de uma plataforma autopropelida para locomoção de colhedora de café em região de montanha*. 2016. Universidade Federal de Viçosa.

SOUZA, G.S.et al. Colheita mecanizada do café conilon. In: FERRÃO, R.G; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.; DE MUNER, L.H. (ed.). Café conilon. Vitória, ES: Incaper, 2017. p. 509-530.

Souza, G. S. D., Lani, J. A., Infantini, M. B., Krohling, C. A., & Senra, J. F. D. B. (2020). Mechanized harvesting of Conilon'coffee clones. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55.

Silva, R. P. D., Voltarelli, M. A., Cassia, M. T., Vidal, D. O., & Cavichioli, F. A. (2014). Qualidade das operações de preparo reduzido do solo e transplântio mecanizado de mudas de café.

Tavares, T. D. O., de Oliveira, B. R., Silva, V. D. A., Pereira da Silva, R., Dos Santos, A. F., & Okida, E. S. (2019). The times, movements and operational efficiency of mechanized coffee harvesting in sloped areas. *PloS one*, 14(5), e0217286.

VENTURELI, I., Patto, G. J., Beli, E., & Mandelli, I. (2016). Comparação de custos entre colheita mecanizada e semi-mecanizada de café: Um estudo de caso em uma propriedade no município de Andradas–MG. *Revista de Administração*, 16(20), 93-104.