

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEMEC
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

EDUARDO CUNHA DE CARVALHO

Melhorias no Projeto da Caçamba de uma Máquina Colheitadeira de Milho

Uberlândia – MG

2023

EDUARDO CUNHA DE CARVALHO

Melhorias no Projeto da Caçamba de uma Máquina Colheitadeira de Milho

Projeto de Fim de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Lourenço de Souza

Uberlândia – MG

2023

EDUARDO CUNHA DE CARVALHO

Melhorias no Projeto da Caçamba de uma Máquina Colheitadeira de Milho

Projeto de Fim de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Uberlândia, 27 de Janeiro de 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fernando Lourenço de Souza – FEMEC-UFU

Prof. Me. Thiago Gomes Cardoso – CEFET-MG

Profa. Dra. Gabriela Lima Menegaz – FACES-UFU

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo o suporte em todo este tempo, à minha noiva por ter sido meu Norte em todos os desafios que me propus e ao professor Fernando Lourenço pela oportunidade de desenvolver este trabalho com sua orientação.

Por último, mas não menos importante, estendo meus agradecimentos à Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade de estudar em tão renomada instituição, com professores tão singulares e sábios, e ao meu curso de Engenharia Mecatrônica por me abrir os olhos para as possibilidades da Engenharia.

“A vida é o que acontece a você enquanto você está ocupado fazendo outros planos.”

John Lennon

RESUMO

Ao longo dos anos, diversos avanços tecnológicos ocorreram no meio da agricultura para que melhorias pudessem ser concretizadas, facilitando a colheita, diminuindo seus custos e tempo de execução, e aumentando as vendas e lucros. Desta maneira, as empresas buscam diariamente formas de otimizar ainda mais seus serviços para diminuir a concorrência existente (já bastante acirrada), aumentar a quantidade de clientes e, conseqüentemente, o número de vendas. Por isto, este projeto visa a proposta de melhorias em uma caçamba que é acoplada em uma colheitadeira de milho, incluindo o aumento da capacidade de carga desta caçamba e o projeto de uma esteira funcional para auxiliar o processo de evacuação do milho da caçamba basculante. Para realizar este projeto, tomou-se como base um modelo de colheitadeira de milho já consolidada no mercado, modelou-se suas peças em *software* SolidWorks com base nas medidas reais e projetou-se um formato de caçamba de volume maior com base em observações empíricas de melhoria para a máquina, além disso, projetou-se um sistema de esteira que atenda à necessidade de melhorar a evacuação do milho da caçamba. Com este projeto, foi possível alcançar um aumento de 3,4 % no volume de armazenamento da caçamba, uma estrutura que suporta com segurança os esforços causados pela nova capacidade de carga, ausência de interferências com o resto da máquina colheitadeira e um projeto de esteira que atende à dificuldade de basculamento do milho devido à sua abrasividade e tendência de se aglomerar no fundo da caçamba durante o basculamento.

Palavras-chave: melhoria de projeto; máquinas agrícolas; caçamba; colheitadeiras; colheitadeiras de milho.

ABSTRACT

Over the years, several technological advances have occurred in the field of agriculture, so that improvements could be made, facilitating the harvest, reducing its costs and execution time, and increasing sales and profits. Thus, companies seek daily ways to further optimize their services to reduce existing competition (already quite fierce), increase the number of customers and, consequently, the number of sales. For this reason, this project aims to propose improvements to a dump box that is coupled to a corn harvester, including increasing the storage volume of this dump box and designing a functional conveyor belt to assist the process of evacuating corn from the dump box. To carry out this project, a corn harvester model already established in the market was taken as a basis, its parts were modeled in SolidWorks *software* based on real measurements and a dump box format with a larger volume was designed based on empirical observations of improvement for the machine, in addition, a conveyor system was designed to meet the need to improve the evacuation of corn from the dump box. With this project, it was possible to achieve an increase of 3.4 % in the storage volume of the dump box, a structure that safely supports the efforts caused by the new load capacity, absence of interference with the rest of the harvester machine and a conveyor belt design which addresses the difficulty of tipping corn due to its abrasiveness and tendency to pool at the bottom of the dump box during tipping.

Keywords: project improvement; agricultural machinery; dump box; harvester machines; corn harvesters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Colheitadeira de milho	19
Figura 2 – Caçamba de uma colheitadeira de milho	20
Figura 3 – Principais partes de uma colheitadeira	21
Figura 4 – Fluxograma das etapas realizadas	26
Figura 5 – Fluxograma para modelagem das peças	27
Figura 6 – Desenho das peças utilizando o recurso “Sketch” do SolidWorks	29
Figura 7 – Árvore de Recursos mostrando os processos da modelagem	30
Figura 8 – Luva do tubo de basculamento da caçamba	30
Figura 9 – Chapa lateral da base da caçamba	31
Figura 10 – Perfil de apoio do elevador na caçamba	31
Figura 11 – Suporte estrutural da base da caçamba	32
Figura 12 – Tubo de basculamento da caçamba	32
Figura 13 – Estrutura lateral da caçamba	33
Figura 14 – Montagem da caçamba completa	33
Figura 15 – Esboço do volume ganho	34
Figura 16 – Vista explodida da montagem da caçamba	35
Figura 17 – Tubo do eixo da esteira	35
Figura 18 – Montagem do eixo da esteira	36
Figura 19 – Montagem completa da esteira	36
Figura 20 – Vista explodida da esteira da caçamba	37
Figura 21 – Chassi traseiro modelado	38
Figura 22 – Caçamba da colheitadeira de milho	39
Figura 23 – Caçamba da colheitadeira de milho com esteira	40
Figura 24 – Colheitadeira de milho no software de CAD	41
Figura 25 – Vista traseira da caçamba da colheitadeira de milho	41
Figura 26 – Pistões de subida da caçamba acionados	42
Figura 27 – Movimento da caçamba da colheitadeira de milho	43
Figura 28 – Basculamento completo da caçamba	44
Figura 29 – Posição final do movimento da caçamba	45
Figura 30 – Volume representativo da caçamba	46

Figura 31 – Propriedades de massa do sólido modelado	47
Figura 32 – Propriedades de massa da nova estrutura	49
Figura 33 – Pré-processamento da simulação	51
Figura 34 – Análise de Tensão de von Mises	52
Figura 35 – Vista superior da Análise de Tensão de von Mises	53
Figura 36 – Análise de Deformação Equivalente	54
Figura 37 – Vista superior da Análise de Deformação Equivalente	54
Figura 38 – Análise de Deslocamento	55
Figura 39 – Vista superior da Análise de Deslocamento	55
Figura 40 – Análise do coeficiente de segurança	57
Figura 41 – Sistema de Esteira	58
Figura 42 – Vista Frontal do Sistema de Esteira	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	Computer Aided Design
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IBGE	Instituto Brasileira de Geografia e Estatística
PDMA	Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas
UFU	Universidade Federal de Uberlândia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1.	JUSTIFICATIVA	14
1.2.	HIPÓTESES	14
1.3.	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4.	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.	PROJETOS DE ENGENHARIA.....	17
2.2.	OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS	18
2.3.	COLHEITADEIRAS	18
2.4.	FUNCIONALIDADES DE UMA COLHEITADEIRA.....	19
2.5.	PRINCIPAIS SISTEMAS MECÂNICOS DE UMA COLHEITADEIRA.....	20
2.6.	ARMAZENAMENTO DOS GRÃOS	21
3	METODOLOGIA.....	25
4	DESENVOLVIMENTO.....	28
5	RESULTADOS	39
6	DISCUSSÃO.....	59
7	CONCLUSÃO.....	61
8	REFERÊNCIAS.....	62
9	ANEXO A – LISTA DE PEÇAS DA CAÇAMBA.....	65
10	ANEXO B – LISTA DE PEÇAS DA ESTEIRA	66

1 INTRODUÇÃO

A economia brasileira tem uma grande parcela agrícola, a qual se desenvolve cada vez mais e, para garantir este crescimento, se faz fundamental o uso da tecnologia como seu suporte (YAMASHITA, 2010). Dessa forma, se mantém também constante a necessidade de maior produtividade e incremento no volume gerado nas colheitas para que se possa também reduzir os preços das mercadorias.

Com o advento da revolução industrial, promovido pelo aumento populacional mundial, houve uma mudança gradual das formas de produção artesanais para as formas de produção mecanizadas, sendo considerado então um marco na mecanização (CARPANEZZI et al., 2017). Logo, o que se sucedeu foi um incremento na produtividade daquilo que era produzido no campo, configurando uma revolução que determinou um desenvolvimento tecnológico inesperado.

Sabe-se que nos últimos 10 anos houve aumento substancial na produção de alguns produtos agrícolas, sendo eles: algodão, soja, milho, etc. (BRASIL, 2021). Diante desse crescimento, torna-se imprescindível um maior investimento em tecnologias que auxiliem em uma maior produtividade, para que as empresas possam acompanhar a necessidade de produção.

Com o incremento na demanda, houve essa necessidade de aumento na velocidade da produção de produtos agrícolas. Desta forma, as empresas que se prendem às tecnologias do passado tenderão a desaparecer, pois estas não conseguem oferecer recursos que facilitem o aumento da demanda em pouco tempo, impedindo a competição com empresas que investem em tecnologias atuais, como bem pontua Martina Basile, do blog *Ilegra*.

De acordo com Canal Rural (2022), no blog escrito por pesquisadores da Embrapa Soja, nos dez primeiros meses do ano de 2021, a China importou 26 Mt de milho, o triplo da quantidade importada na temporada anterior. De acordo com o Rabobank (2021), o consumo mundial de milho deverá crescer 25 % até 2030, saindo de um valor de 1,144 bilhão de toneladas em 2021 para 1,430 bilhão de toneladas em 2030.

Devido à alta demanda vinda até mesmo de outros países, como a China, as empresas das mais diferentes áreas de atuação procuram a melhoria de seus produtos e serviços com o objetivo de melhor atender aos requisitos de seus clientes. Isso não muda no Brasil com empresários do ramo agrícola. Para Poyer e Roratto (2017, p.21):

[...] Embora o Brasil possua mais de 500 anos de história e as relações de comércio internacional acompanhem o desenrolar desse tempo, o comércio exterior brasileiro, tanto no passado como no presente, ainda é pouco representativo quando comparado com os volumes transacionados no mundo globalizado.

Sendo assim, otimizar continuamente os produtos e serviços oferecidos no mercado pode ajudar a melhorar a qualidade dos produtos, as vendas e os lucros das empresas brasileiras e assim aumentando a exportação, diminuindo a concorrência e conseqüentemente aumentando a representatividade do país.

Dado o exposto acima, o presente trabalho visa o aperfeiçoamento do projeto de uma máquina colheitadeira de milho já consolidada no mercado com o objetivo de aumentar a produtividade, as vendas e, conseqüentemente, os lucros da empresa que faz o uso de tal tecnologia.

Em busca de melhorias no projeto da máquina colheitadeira de milho e a partir da abordagem junto a empresa, procurou-se uma outra avaliação nos sistemas da máquina, assim com uma perspectiva diferente para o *design* da caçamba do projeto.

Como parte do desenvolvimento deste trabalho, foram consultadas informações de máquinas análogas no mercado, bem como uma pesquisa sobre o tema que abrange esse assunto que, juntamente com a metodologia e revisão de literatura, ajudaram para que o objetivo do projeto apresentado cumpra as necessidades de utilização da colheitadeira no campo, onde foram consideradas as fases informacional, conceitual e detalhada sucessivamente para execução do projeto da colheitadeira.

A caçamba de uma colheitadeira de milho tem como atribuição armazenar para transporte e proteger os grãos armazenados contra a umidade. Sendo assim, o prosseguimento deste projeto vai permitir analisar e otimizar a caçamba, a partir da mudança de seu formato e implementação de uma esteira na base, ou seja, na própria colheitadeira. Desta forma, o desenvolvimento deste projeto permitirá aplicar os conhecimentos obtidos durante o curso de Engenharia Mecatrônica, satisfazer os requisitos da disciplina de Projeto de Fim de Curso e possibilitar a viabilidade para uma possível implementação.

1.1. JUSTIFICATIVA

O uso de colheitadeiras, hoje, é indispensável para o desenvolvimento do agronegócio no Brasil. Sendo assim, torna-se assunto fundamental, tanto para grandes, quanto para médios produtores rurais, afinal, o aumento da produtividade e competitividade para o produtor faz grande diferença no cenário agrícola e no mercado de modo geral (SIQUEIRA, 2008). Utilizar tais máquinas, além de aumentar a eficiência da produção, como já comentado aqui, melhora a qualidade de vida dos trabalhadores de modo geral.

Sendo assim, o desenvolvimento desse trabalho será de grande benefício para a empresa, além de proporcionar uma inovação para o cenário nacional agrícola, permitindo a criação de novas tecnologias no futuro.

Portanto, a análise, pesquisa e desenvolvimento de melhorias no projeto da caçamba de uma colheitadeira de milho se torna essencial e importante para o quadro analisado acima, uma vez que possibilita a prática das atribuições de um engenheiro mecatrônico de modo geral, experiência com adequação às normas e atendimento aos requisitos de segurança de um projeto.

Vale salientar que este trabalho demonstra uma importância significativa para os futuros engenheiros mecatrônicos, por mostrar o amplo campo de trabalho dentro desta engenharia, diminuindo diversos estigmas e consolidando a sua atuação no meio do agronegócio. É de grande valia para profissionais brasileiros, devido a necessidade de melhorias em maquinários, como a própria otimização da caçamba, a qual será descrita neste projeto.

1.2. HIPÓTESES

A partir de estudos e simulações da máquina consolidada no mercado, foi possível identificar alguns pontos-chaves, que serão considerados como hipóteses para o desenvolvimento deste trabalho:

- a) Há itens da máquina colheitadeira de milho que podem ser melhorados;
- b) É possível realizar uma melhoria na caçamba da máquina colheitadeira de milho;
- c) É possível o aumento do volume da caçamba;
- d) É possível um projeto para minimizar o problema do milho, devido a sua abrasividade, se aglomerando no fundo da caçamba durante o basculamento;
- e) É possível o desenvolvimento de um projeto de esteira para evacuar as espigas;

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral propor melhorias no projeto da caçamba de uma máquina colheitadeira de milho, incluindo o aumento de volume da caçamba e o projeto de uma esteira para auxiliar na expulsão dos aglomerados de milho durante o basculamento da caçamba.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Desenho das peças que compõem o projeto da caçamba da máquina colheitadeira de milho utilizando *software* de CAD;
- b) Montagem do conjunto da caçamba da máquina colheitadeira de milho utilizando *software* de CAD;
- c) Construção do projeto da máquina utilizando *software* de CAD;
- d) Executar análise estrutural por meio de simulações numéricas para avaliar o dimensionamento do projeto;

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do presente capítulo, no qual são apresentados o problema a ser pesquisado, a justificativa, os objetivos gerais e específicos, tal Projeto de Fim de Curso está estruturado com mais seis capítulos, atingindo um número de sete capítulos no total.

No capítulo 2, discute-se a revisão bibliográfica, isto é, aborda-se e analisa-se todos os textos, artigos e pesquisas realizados para dar origem aos conceitos e métodos deste trabalho. Assim, neste capítulo, são abordados temas sobre projetos de engenharia, planejamento de projetos, otimização de projetos, processos de desenvolvimento de máquinas agrícolas, colheitadeiras e suas funcionalidades, além de enfatizar a parte a ser otimizada: as caçambas das máquinas colheitadeiras de milho.

No capítulo 3, são apresentadas as metodologias de pesquisa usadas no estudo atual, sendo o método, estratégias, delineamento da pesquisa e atividades realizadas discutidas.

Já no capítulo 4, tem-se o desenvolvimento deste trabalho, ou seja, como são abordados os principais objetivos já descritos acima, além de quais pontos são tidos como foco para o desenvolvimento do projeto de modo geral.

No capítulo 5, são apresentados os resultados da execução do projeto, além de ilustrações para melhor entender o desenvolvimento do projeto.

No capítulo 6, são comparados, avaliados e criticados os resultados. Discute-se o valor absoluto e relativo dos resultados obtidos ao longo do trabalho.

Por fim, no capítulo 7, tem-se as conclusões da pesquisa que constará de deduções lógicas e sugestões para próximos trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PROJETOS DE ENGENHARIA

Para o escopo deste trabalho, se propõe a melhoria do projeto da caçamba de uma máquina agrícola colheitadeira de milho. Segundo Jung (2004), todo projeto se baseia num conjunto de etapas, ordenadas de forma sistemática, com propósito de especificar ações a serem executadas para a realização de um objetivo almejado.

Já para Back (1997), o projeto de engenharia se trata de uma atividade voltada para o suprimento das necessidades humanas, com principal enfoque naquelas necessidades capazes de serem supridas por fatores tecnológicos da cultura humana.

Quanto à atividade que gera o projeto de engenharia, para Budynas e Nisbett (2016), projetar significa elaborar estratégias para atender a resolução de um problema e, uma vez que esta solução conceba um objeto físico, este deverá ser competitivo, funcional, confiável e próprio para ser fabricado.

Segundo Norton (2013), o principal objetivo de um projeto de máquinas é conceber forma aos elementos de máquinas, dimensionando e escolhendo materiais e modos de produção adequados ao projeto. Dessa forma, entender ao que se propõe o projeto, bem como suas características e as fases envolvidas em seu ciclo de vida são fatores determinantes no desenvolvimento e planejamento do projeto.

Assim como expõe Romano (2003), projetos de desenvolvimento de produtos não se definem como uma atividade simples e não são unicamente dependentes dos conhecimentos de um só profissional ou departamento de empresa. Por isso, é necessário o planejamento do projeto de forma estruturada, visando sempre alcançar a maior eficiência, eficácia e efetividade num ramo que engloba tantas variáveis reais (subordinadas por vezes ao acaso) e que trata da resolução de problemas (e conseqüentemente se imergindo nestes), a engenharia.

Desta maneira, é possível concluir que projetos de engenharia englobam as conceituações dos diversos autores pontuados. Estes projetos se baseiam em conjuntos de etapas visando o suprimento das necessidades dos seres humanos. Além disso, mostra que é uma forma de traçar estratégias para resolução de um problema, criação de um elemento ou mesmo para uma melhoria significativa, a qual é a proposta deste trabalho. Também deve-se ressaltar que para um bom projeto é necessário a escolha correta de materiais. Sendo assim, como Romano (2003) diz: para conseguir alcançar eficiência, eficácia e efetividade.

2.2. OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS

Ao se tratar da melhoria ou adequação de projetos já desenvolvidos e finalizados, para disponibilizar um produto ainda melhor, que corrija falhas passadas, se beneficie de oportunidades funcionais ou disponha de melhores condições de uso ou manutenção, se faz necessária a otimização dos projetos. De acordo com Jung (2004), a otimização é definida como o processo que tem por finalidade lograr solução que provenha o maior benefício segundo um critério definido.

A atividade de otimização deve primar a todo momento pelo aperfeiçoamento da relação custo-benefício, levando em consideração inclusive o investimento disposto para tal atividade. Aplicando-a, pode-se ter posse de grandes ganhos para um produto como, por exemplo, um maior rendimento do sistema, redução de peso ou dimensões (caso seja benéfico ao produto), melhora da qualidade do sistema como um todo, superior manuseio do usuário do produto etc.

Dentre as diversas técnicas de otimização de projetos, todas devem ser aplicadas de acordo com os resultados almejados, dessa forma, são definidos os diferentes estágios de resposta requerida na otimização (JUNG, 2004):

1. Especificação da função ou tipo de resposta requerida;
2. Determinação das variáveis de influência relevante ao sistema a ser otimizado;
3. Atividade de otimização em si, ou seja, estudo para a obtenção da melhor combinação de variáveis, previamente selecionadas, que resultam na melhor condição possível;

Assim, nota-se que o modo utilizado para a otimização, de fato, tem influência sobre o resultado adquirido neste processo de melhoria do sistema ou projeto a que se propõe a otimização.

2.3. COLHEITADEIRAS

De acordo com Balastreire (1987), a operação de colheita é a última realizada no campo na produção agrícola. A colheitadeira é uma máquina importante para o trabalho contínuo no campo. A sua serventia e bom funcionamento geram ótimos resultados para os produtores. Porém, para que o equipamento produza bons frutos de trabalho é necessário um conhecimento mais profundo sobre as engrenagens e o processo que move a colheitadeira.

A máquina colheitadeira tem a expressiva tarefa de executar esta operação, tendo como

atribuições a colheita, limpeza e armazenamento dos grãos junto ao tanque graneleiro para descarga em locais de armazenamento secundário apropriados (MOLIN, 2021).

A máquina colheitadeira também tem como características o corte, alimentação, trilha, separação e auto propensão, possibilitando um volume grande de grãos processados. Fato esse que exalta a importância fundamental das colheitadeiras para a sustentabilidade do plantio e colheita das áreas plantadas, independente de cultura.

2.4. FUNCIONALIDADES DE UMA COLHEITADEIRA

Uma colheitadeira serve para colher, debulhar e limpar diferentes culturas de grãos, como milho, aveia, trigo, linhaça e entre outros. Considerada por especialistas do campo como o equipamento mais importante para o trabalho de colheita, o seu funcionamento apresenta detalhes inteligentes e muito bem pensados (MOLIN, 2021).

Em uma colheitadeira, o processamento dos grãos inicia-se pelo sistema de corte e alimentação, no qual a plataforma de corte (conjunto mecânico) alimenta o sistema de esteira da máquina, aparelho este que permite o transporte do milho para a próxima etapa de processamento, a despalha. Na Figura 1, está destacada a plataforma de corte e seus “dentes” em uma colheitadeira de milho.

Figura 1 – Colheitadeira de milho



Fonte: AgriExpo (2022)

Como descreve Molin (2021), o sistema de separação de palha e grão (espiga, no caso do milho), a separação é realizada por meio de rotor ou saca-palhas. Então, o grão segue para o compartimento de armazenamento da colheitadeira, o qual pode ser um tanque granelheiro ou caçamba, objeto este de estudo deste trabalho onde se promoverá a melhoria do projeto da caçamba de uma colheitadeira de milho. Com a Figura 2, é possível identificar a caçamba de um modelo de colheitadeira de milho popular no mercado de máquinas agrícolas brasileiro.

Figura 2 – Caçamba de uma colheitadeira de milho



Fonte: Selpo EU SRL (2022)

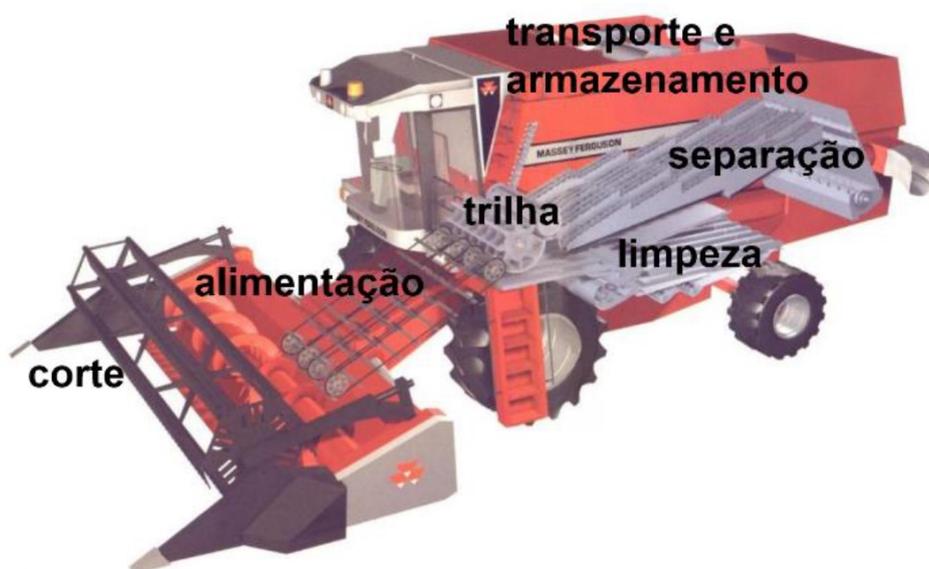
2.5. PRINCIPAIS SISTEMAS MECÂNICOS DE UMA COLHEITADEIRA

Dentre os sistemas mecânicos mais importantes de uma colheitadeira de grãos, tem-se o sistema de alimentação, no qual o alimentador do cilindro conecta a colheitadeira e a plataforma, podendo ser considerada uma das partes fundamentais para o correto funcionamento e alimentação dos outros sistemas da colheitadeira (MOLIN, 2021).

O sistema de trilha serve para debulhar e realizar a separação inicial do material que foi colhido, composto por um cilindro rotativo (ou rotor) e uma parte fixa e côncava. Há, também, o sistema de limpeza, que faz a limpeza dos grãos ainda de forma mecânica, retirando a palha e reintegrando à retrilha o material parcialmente trilhado.

É possível observar na Figura 3 um esquema dos principais sistemas de uma colheitadeira.

Figura 3 – Principais partes de uma colheitadeira



Fonte: José Paulo Molin (2021)

O sistema de transporte e armazenamento de grãos se trata de um sistema mecânico que transporta e armazena os grãos limpos, bem como direciona o material a ser trilhado novamente mediante a uma operação de coleta, transporte, agrupamento e distribuição de grãos.

Um outro componente desse sistema é o elevador de grãos. Essa estrutura leva os grãos limpos para o depósito de grãos, além de conduzir o material não trilhado para o sistema de trilhas e para o sistema de limpeza.

Já a parte onde os grãos ficam armazenados é conhecida como depósito de grãos ou tanque graneleiro, pois tem a atribuição de guardar a granel e temporariamente o que é colhido para descarregar, após todos os processos, pelo tubo descarregador.

2.6. ARMAZENAMENTO DOS GRÃOS

No processo de produção de sementes, tanto o armazenamento quanto a proteção dos grãos se destacam pela sua importância. Nas colheitadeiras, durante o próprio processo de colheita de grãos já é possível ver uma pequena e rápida armazenagem dos grãos no tanque graneleiro. Além disso, deve-se considerar os inúmeros cuidados que são pertinentes ao

armazenamento e tratamento de grãos, os quais podem trazer várias vantagens à qualidade do produto em questão.

Para Milman (2002), o comportamento de pequenos grãos armazenados a granel é análogo para todos os grãos de cereais, diferenciando-se, em relação aos grãos de maior tamanho, principalmente, pela maior tendência à compactação e pela maior resistência à passagem do ar.

Em relação a grãos a granel, é possível observar que a tendência à compactação dos grãos é superior em relação aos pequenos grãos. Sendo assim, é preciso ter cautela em relação ao local de armazenamento, fundamentado no tamanho do grão.

Ainda segundo Milman (2002), o grão é um organismo vivo, cuja finalidade é a de se reproduzir formando uma nova planta. Por conseguinte, durante a estocagem, onde ele se encontra em vida latente e respirando, poderá germinar dependendo das condições de armazenamento.

2.6.1 QUALIDADE DOS GRÃOS DE MILHO

Ao falar da qualidade do milho é inevitável não pensar nos custos que determinam esse fator. Alguns aspectos a serem avaliados devem ser: limpeza, unidade, tamanho, cor, entre outros. Vale ressaltar que tais aspectos que geram custos podem ser agregados ao valor do grão ao vendê-lo. Para Milman (2002):

[...] a obtenção da qualidade nos grãos somente será obtida se forem tomadas medidas sérias, através de normas corretas de procedimento e treinamento de pessoal em todas as áreas do ciclo produtivo, desde os cuidados com a lavoura, com a forma da colheita com o mínimo dano mecânico e com a mínima perda, observada, para isto, a umidade ideal de colheita, indicada para cada grão.

Sabe-se que muitos fatores podem impactar no custo para o produtor, mesmo que qualifique ainda mais o produto, podendo inviabilizar benefícios para os próprios. No entanto, é visto que cuidados básicos com o maquinário podem influenciar na qualidade do milho, um exemplo é a regulagem periódica da máquina que irá colher os grãos.

Outra questão é a umidade, em que dependendo do seu grau é possível trazer ganhos para o produtor, como Milman (2002) traz que ao determinar o índice da umidade, é possível separar "águas livres" sem alterar a constituição do milho, diminuindo o peso total da quantidade grãos, o que se denomina- de umidade em relação ao peso da matéria seca.

Ao armazenar o milho é visto que a umidade influencia na condição do produto, devido ao fato do grão ser condicionado em um ambiente propício para ataque de pragas, acúmulo de impurezas e até mesmo danos mecânicos. Além disso, o excesso de umidade gera gastos extras, devido a utilização de mais energia para secagem dos grãos e pode deteriorar equipamentos ou o próprio milho. Com isso, é necessário proteger o tanque graneleiro, onde os grãos serão armazenados (MILMAN, 2002).

2.7 MODELAGEM DE PEÇAS

A modelagem de peças é importante atualmente devido a facilidade de reproduzir peças reais, bem como criar protótipos para facilitar o entendimento e simulações de sistemas físicos. Um exemplo consolidado é o SolidWorks, que é um programa de CAD que permite o desenvolvimento de desenhos tridimensionais, no qual utiliza-se características e propriedades para fazer modelagens paramétricas de peças, sendo possível alterá-las durante o processo de simulação. Ou seja, é um programa utilizado para a execução da simulação (SOLIDWORKS).

Dentro do *software*, temos alguns pacotes que permitem a análise de engenharia e simulações específicas, capazes de realizar, por exemplo, análises de tensão, deflexão, vibração e até mesmo transferência de calor. (BUDYNAS, 2011). Um dos mais utilizados é o de método de elementos finitos. (SORIANO, 2003)

2.7.1 SIMULAÇÕES

Um dos pacotes mais utilizados é o SolidWorks Simulation, o qual é um módulo para simulações do próprio programa (SolidWorks), que utiliza a técnica de elementos finitos para oferecer estudos de frequências, dinâmico, de flambagem, de projetos, térmicos, fadiga, entre outros. Outro ponto importante é que o programa usa equações para controlar o comportamento de cada elemento, trazendo uma interação entre os cálculos e diversos aspectos, além de associar os valores à incógnitas. Dessa forma, cria-se um próprio sistema de acordo com a necessidade do cliente (SOLIDWORKS)

Neste *software*, se pode ainda determinar o tipo de elemento que será utilizado para fazer a simulação e, conseqüentemente, refinar a malha gerada, executando com facilidade ao selecionar a opção de malha fina ou grossa (SOLIDWORKS).

Além disso, o SolidWorks apresenta a Tensão de Von Mises como resultado, isto é, um escalar positivo que descreve o estado de tensão, pois os materiais podem apresentar falhas ao ultrapassar um determinado valor da tensão de Von Mises (SOLIDWORKS). Esta tensão será vista nas simulações posteriormente.

3 METODOLOGIA

Conforme Cervo e Bervian (1996, p. 20), método é “o conjunto de processos que o espírito humano deve empregar na investigação e na demonstração da verdade”. Dessa forma, identifica-se a metodologia como o modo em que se atinge os objetivos propostos em uma pesquisa.

Ademais, esses processos podem mudar de acordo com as características de cada pesquisa. Sendo necessário, primeiramente, esclarecer qual o tipo de pesquisa que será realizada. Quanto à natureza da pesquisa, esta pode ser exploratória, descritiva ou explicativa (GIL, 2007).

O projeto proposto tem caráter de pesquisa exploratória:

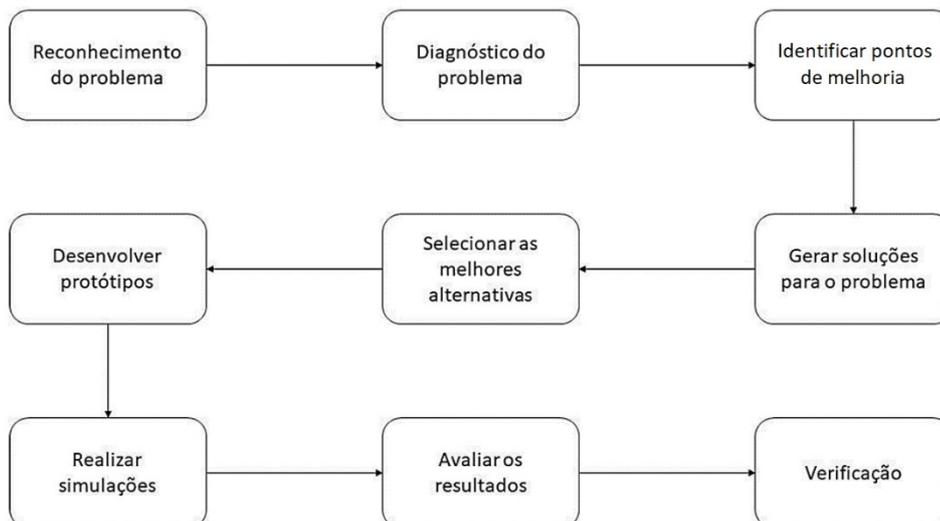
[...] pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar familiaridade com o problema, com vista a torná-lo mais explícito, seu objetivo principal é o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Sendo de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado, (GIL, 2007, p. 41).

Em relação à parte de procedimentos, tal pesquisa pode ser enquadrada como de campo, afinal para Lakatos e Marconi (2001), a pesquisa de campo é usada com o intuito de levantar informações e/ou conhecimentos sobre o problema para o qual se procura uma resposta ou sobre uma hipótese que se queira comprovar.

Sendo assim, é possível observar as características de uma pesquisa de campo por intermédio da listagem de informações e sobre o conteúdo em questão.

Já em relação ao delineamento, a pesquisa em questão consiste, inicialmente, na coleta de dados e documentos, bem como de uma revisão bibliográfica sobre o assunto. Na Figura 4 é apresentado um fluxograma metodológico do trabalho desenvolvido:

Figura 4 – Fluxograma das etapas realizadas



Fonte: Autor

Sendo assim, a pesquisa será constituída das seguintes etapas:

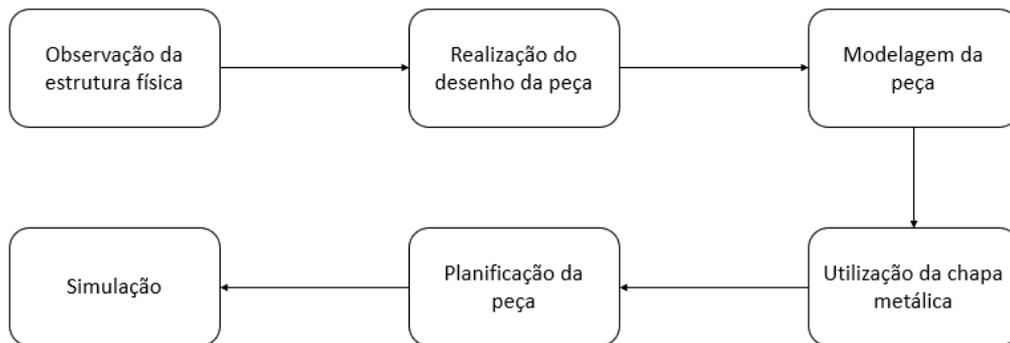
- a) Reconhecimento do problema: entender qual o problema será levado em consideração para o desenvolvimento da pesquisa;
- b) Diagnóstico do problema: diagnosticar o porquê desse problema causado e observar pontos de melhora;
- c) Identificar: identificar pontos de melhoria para o problema observado;
- d) Gerar soluções para o problema: elaborar conceitos e propostas de soluções para os problemas identificados;
- e) Selecionar as melhores alternativas: dentre as alternativas propostas, selecionar a que melhor atende aos requisitos em questão;
- f) Desenvolver protótipos: modelar e detalhar as soluções;
- g) Realizar simulações: testar os protótipos desenvolvidos;
- h) Avaliar os resultados: analisar os valores obtidos;
- i) Verificação: confirmar a aplicabilidade das soluções.

Para o desenvolvimento dos protótipos foi utilizado o *software* de CAD SolidWorks, em que é possível desenhar peças tridimensionais. Sendo assim, por meio dessa ferramenta, foi possível desenhar cada peça de modo a permitir a montagem da caçamba inteira.

Também foi desenhado e montado um protótipo da colheitadeira completa para ser possível avaliar os pontos positivos e negativos das soluções apresentadas, bem como executar simulações para a verificação da qualidade da resolução encontrada.

Sendo assim, para a modelagem das peças no SolidWorks, inicialmente foi seguido o seguinte fluxograma, conforme demonstra a Figura 5 a seguir:

Figura 5 – Fluxograma para modelagem das peças



Fonte: Autor

Portanto, o processo de modelagem das peças será constituído das seguintes etapas:

- a) Observação da estrutura física: observar as peças da máquina;
- b) Realização do desenho da peça: a partir da observação anterior, desenhar cada peça no CAD;
- c) Modelagem da peça: transformar o desenho feito anteriormente em peça sólida dentro do *software*;
- d) Utilização da chapa metálica: utilizar o recurso “Chapa metálica” para facilitar o processo de fabricação;
- e) Planificação da peça: utilizar o recurso de planificação para possibilitar a produção das peças;
- f) Simulação: averiguar a funcionalidade de cada peça;

Dessa forma, foi possível realizar a montagem utilizando o *software* de CAD.

4 DESENVOLVIMENTO

Este projeto tem como objetivo aperfeiçoar a caçamba de uma colheitadeira de milho, a fim de melhorar a eficiência da máquina e aumentar a produtividade dos processos envolvidos durante a colheita.

Dessa forma, buscou-se sempre diminuir as possíveis dificuldades durante o desenvolvimento do projeto do sistema de caçamba da colheitadeira de milho, de modo a facilitar o trabalho dos operadores envolvidos.

Sendo assim, durante o processo do trabalho, alguns pontos foram considerados:

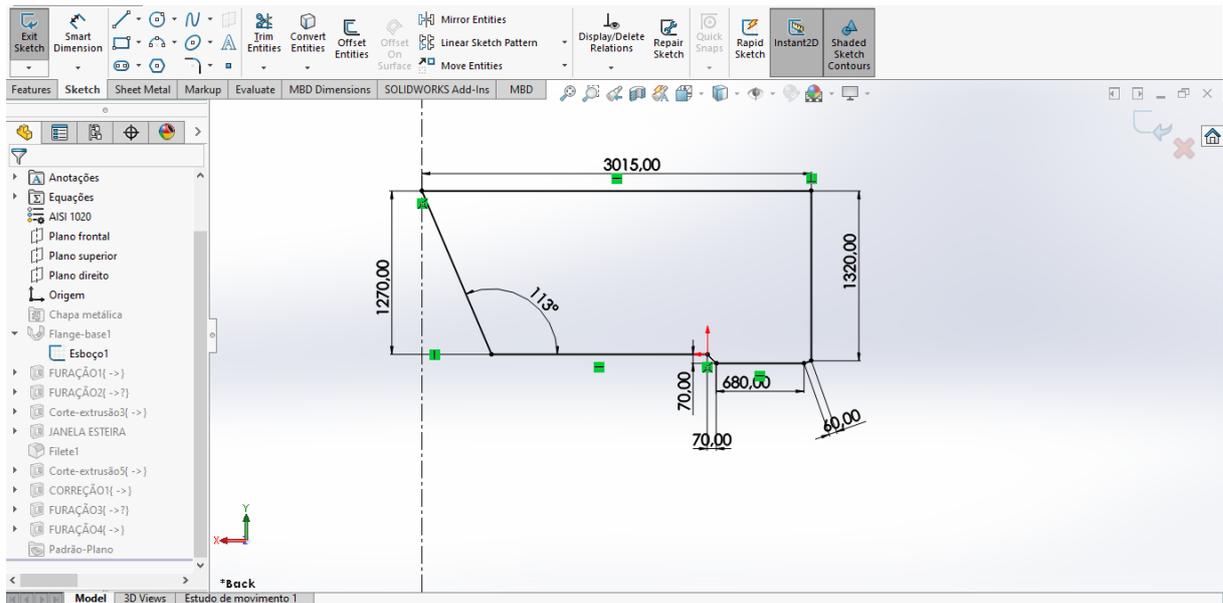
- Foram definidas as hipóteses para a execução das otimizações requeridas na proposta inicial;
- Foram realizadas pesquisas sobre vários modelos de caçambas das colheitadeiras de milho;
- Foram elaboradas ideias de projeto com otimizações para a caçamba da colheitadeira do modelo proposto.
- Foram criados protótipos utilizando *softwares* de CAD e desenhos do projeto proposto;
- Foram realizados simulações e testes para compreender a eficácia e funcionalidade de novas peças concebidas.

A primeira etapa executada foi o desenvolvimento do desenho das peças. A seguir, detalha-se esse processo:

Primeiramente, foi observada a própria máquina já consolidada no mercado, bem como suas peças e seus componentes. Após examinar e entender a construção, design e função dos sistemas da máquina agrícola em questão, o próximo passo foi a análise de peça por peça da colheitadeira real, medição destas e início da ponderação quanto a otimizações possíveis.

O terceiro passo foi a modelagem das peças observadas no *software* de CAD SolidWorks. Assim, foi utilizado o recurso “Sketch” para possibilitar a realização do desenho das peças, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Desenho das peças utilizando o recurso “Sketch” do SolidWorks

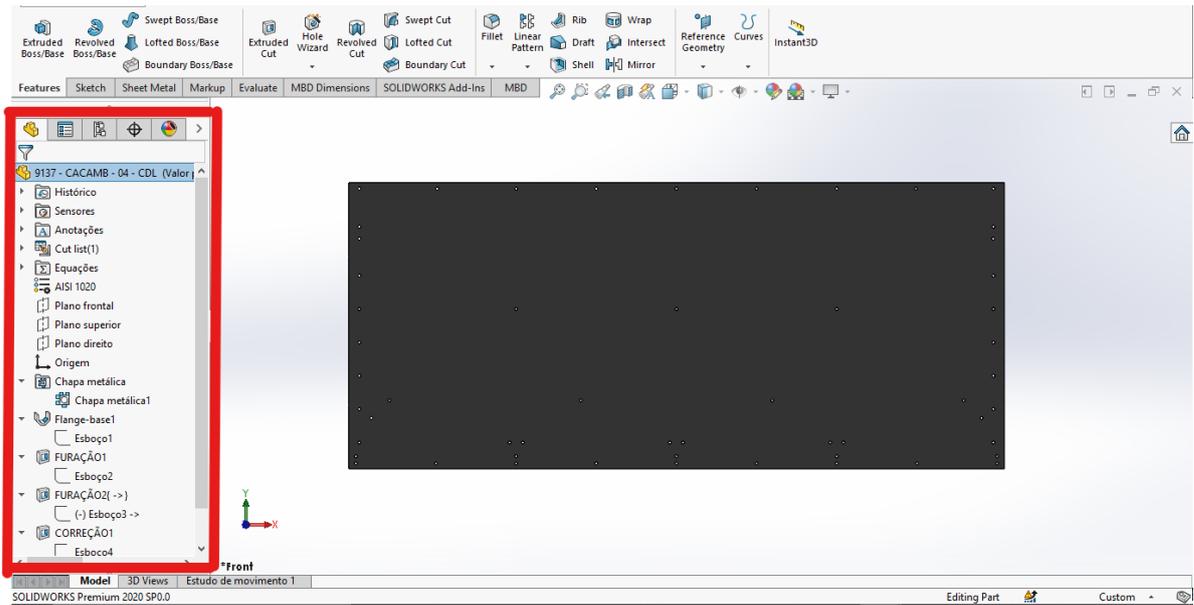


Fonte: Autor

Após a realização do desenho das peças, apresenta-se o momento da montagem do protótipo de cada uma destas, mediante as diferentes funções do CAD SolidWorks. A partir dos vários recursos do programa, como extrusão, furação, filete e etc, as peças foram sendo modeladas uma a uma.

Na Figura 7 pode ser vista uma exemplificação dos processos para a modelagem das peças, utilizando recursos do *software*, por intermédio da “Árvore de Recursos”, a qual mostra o passo-a-passo temporal utilizado para a criação da peça em questão.

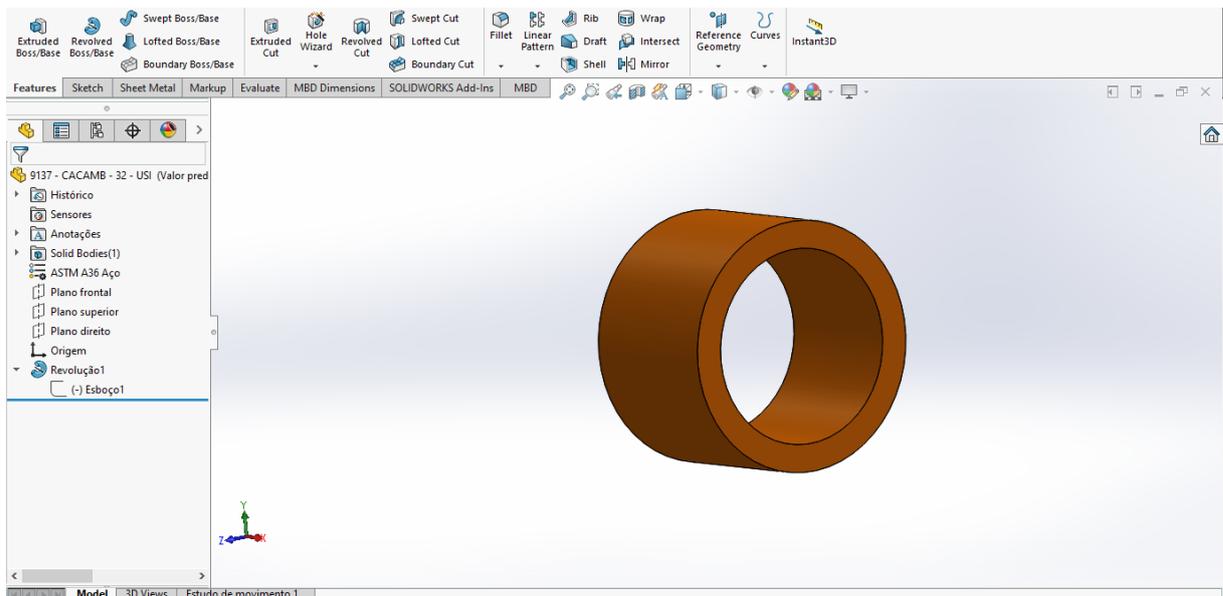
Figura 7 – Árvore de Recursos mostrando os processos da modelagem



Fonte: Autor

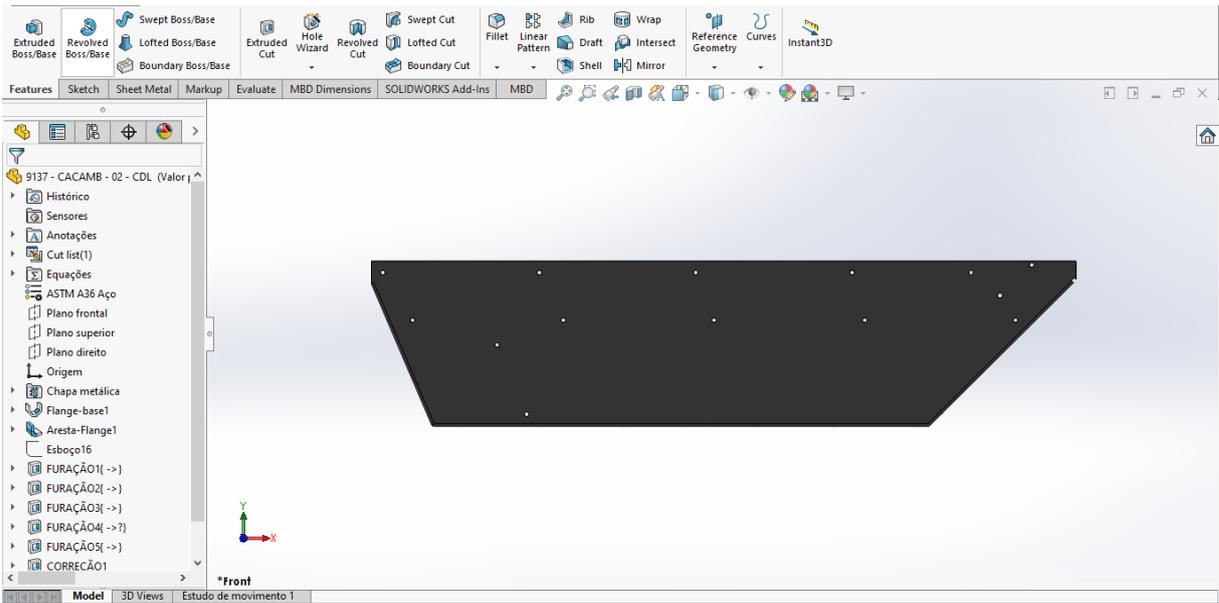
Dentre as várias peças modeladas, pode-se exemplificar a luva do tubo de basculamento, a chapa lateral da base da caçamba e o perfil de apoio do elevador da colheitadeira, nas Figuras 8, 9 e 10 respectivamente.

Figura 8 – Luva do tubo de basculamento da caçamba



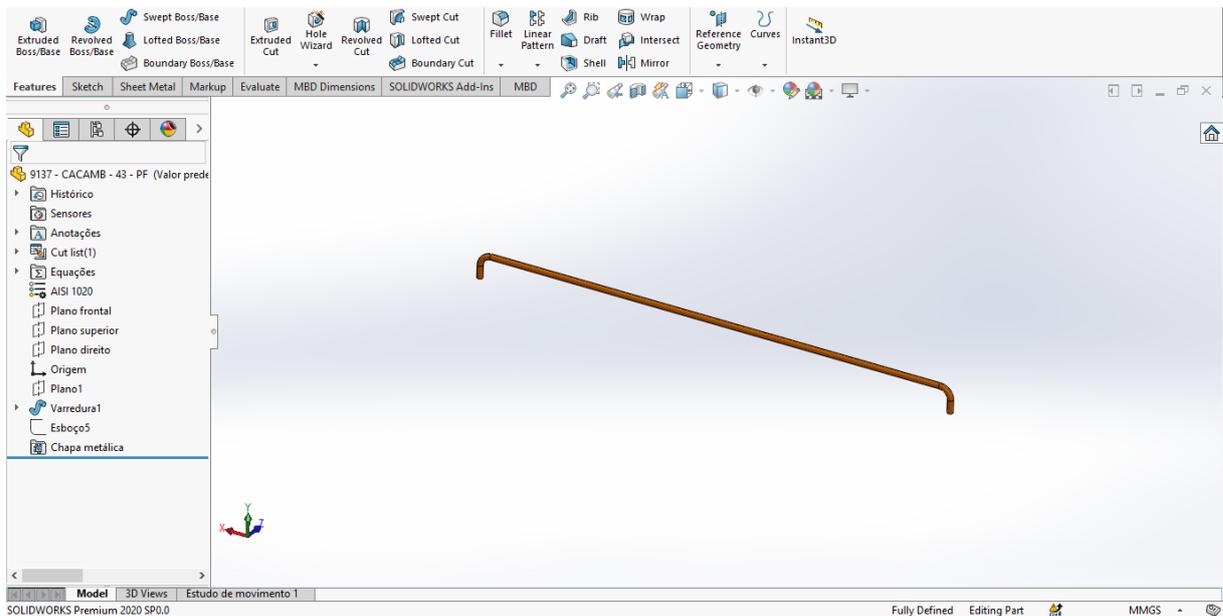
Fonte: Autor

Figura 9 – Chapa lateral da base da caçamba



Fonte: Autor

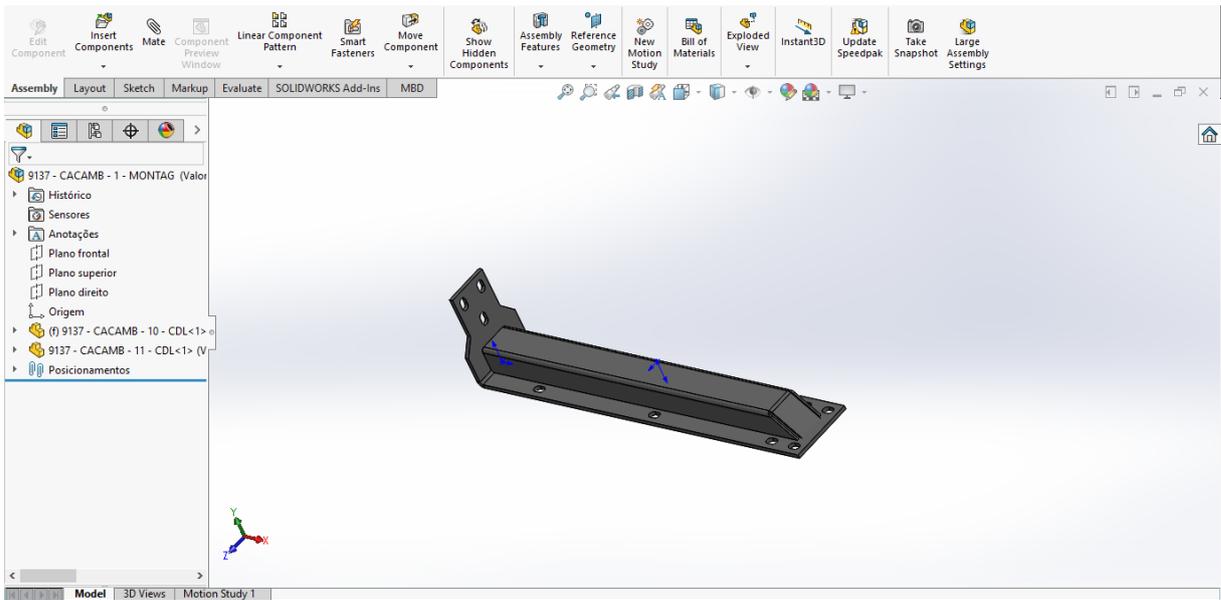
Figura 10 – Perfil de apoio do elevador na caçamba



Fonte: Autor

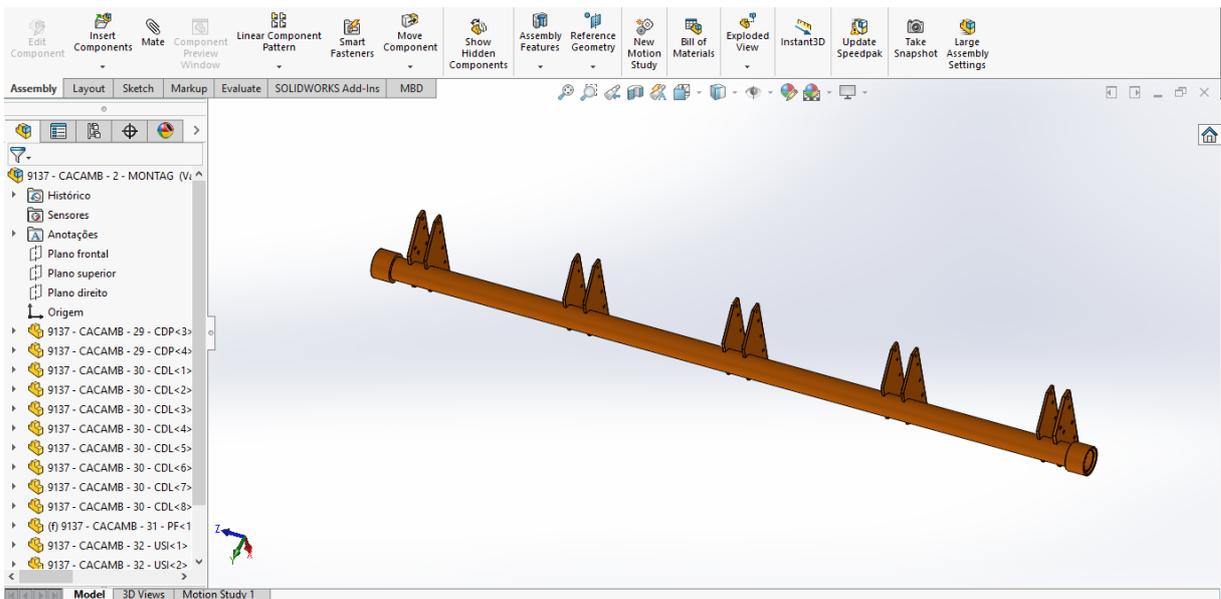
Portanto, após a modelagem individual das peças, iniciou-se o processo de montagem. Assim, as peças foram combinadas entre si para dar origem ao conjunto, também conhecido como “montagem” no *software* em questão. Nas Figuras 11, 12 e 13, pode-se exemplificar algumas montagens realizadas, como o suporte estrutural da base, o tubo de basculamento e a estrutura lateral respectivamente.

Figura 11 – Suporte estrutural da base da caçamba



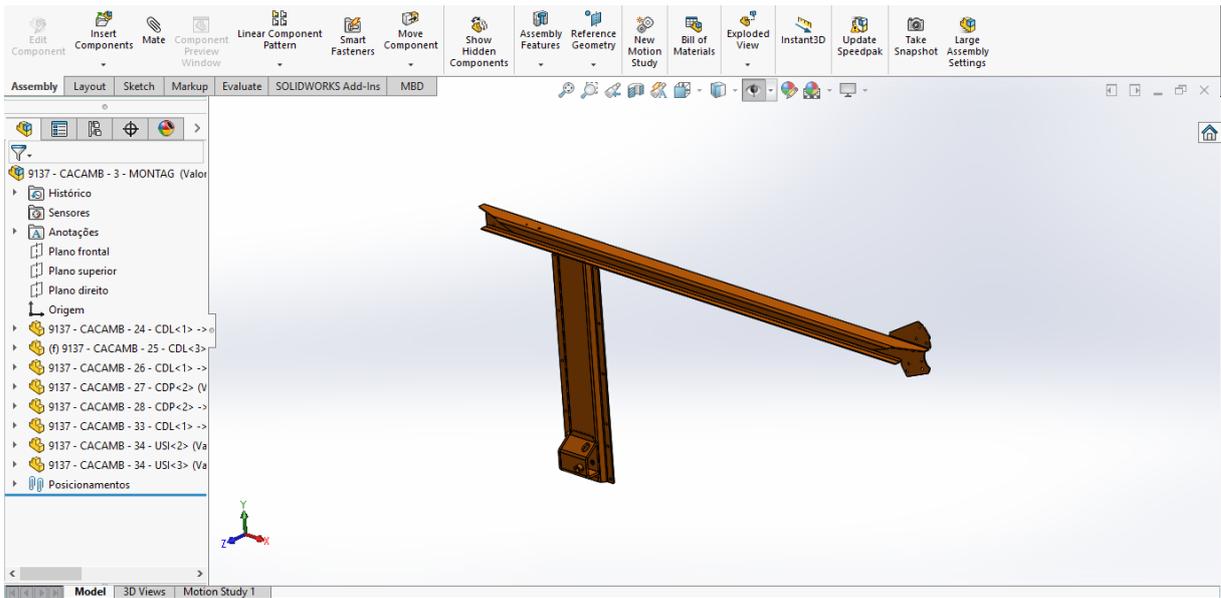
Fonte: Autor

Figura 12 – Tubo de basculamento da caçamba



Fonte: Autor

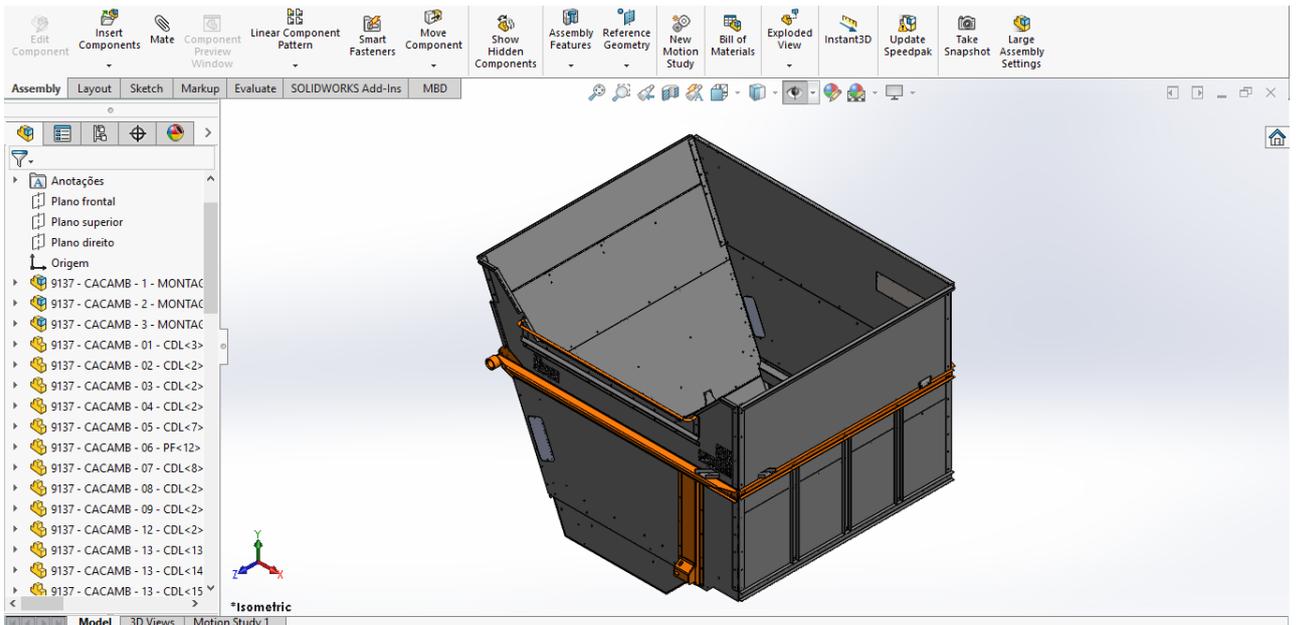
Figura 13 – Estrutura lateral da caçamba



Fonte: Autor

Por fim, após realizar a combinação das peças já modeladas em várias montagens, foram agrupadas todas as montagens em uma única para representar o estágio de desenvolvimento final da caçamba, como demonstra a Figura 14:

Figura 14 – Montagem da caçamba completa



Fonte: Autor

O volume ganho da nova caçamba se baseia no aproveitamento de uma seção da caçamba existente que apresenta um “chanfro”, diminuindo assim o seu volume de armazenamento. Um esboço deste volume ganho pode ser observado na Figura 15:

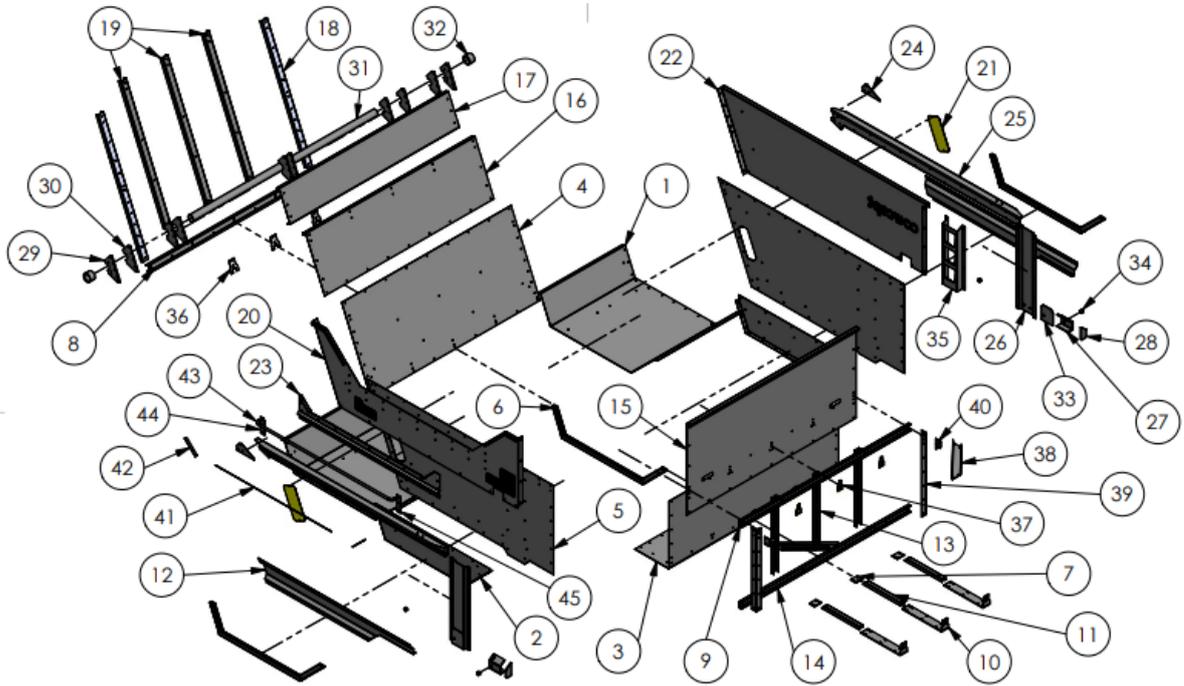
Figura 15 – Esboço do volume ganho



Fonte: Selpo EU SRL (2022)

É possível, também, obter uma visualização explodida da caçamba com todas as peças que a compõem na Figura 16:

Figura 16 – Vista explodida da montagem da caçamba

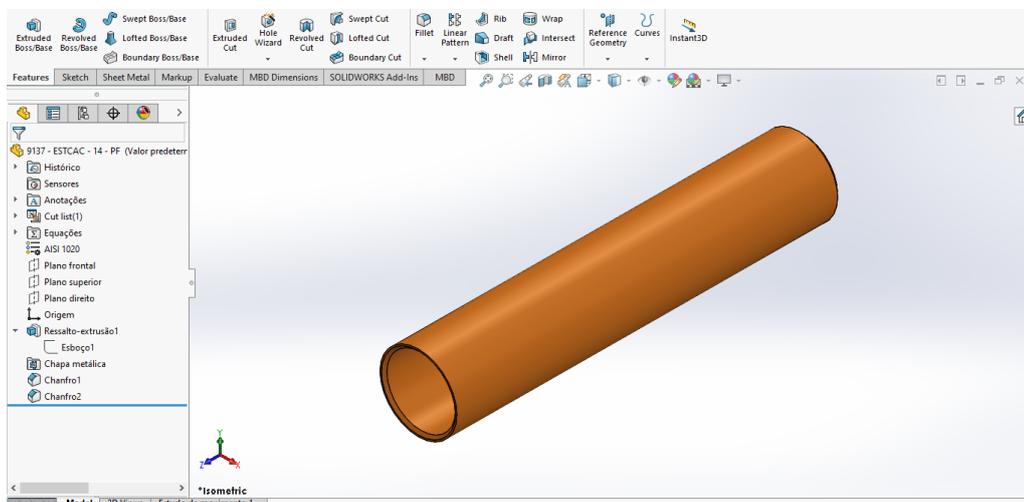


Fonte: Autor

Esta vista pode ser observada com mais detalhes e com a referência de cada peça na seção apêndice A, no final deste Projeto.

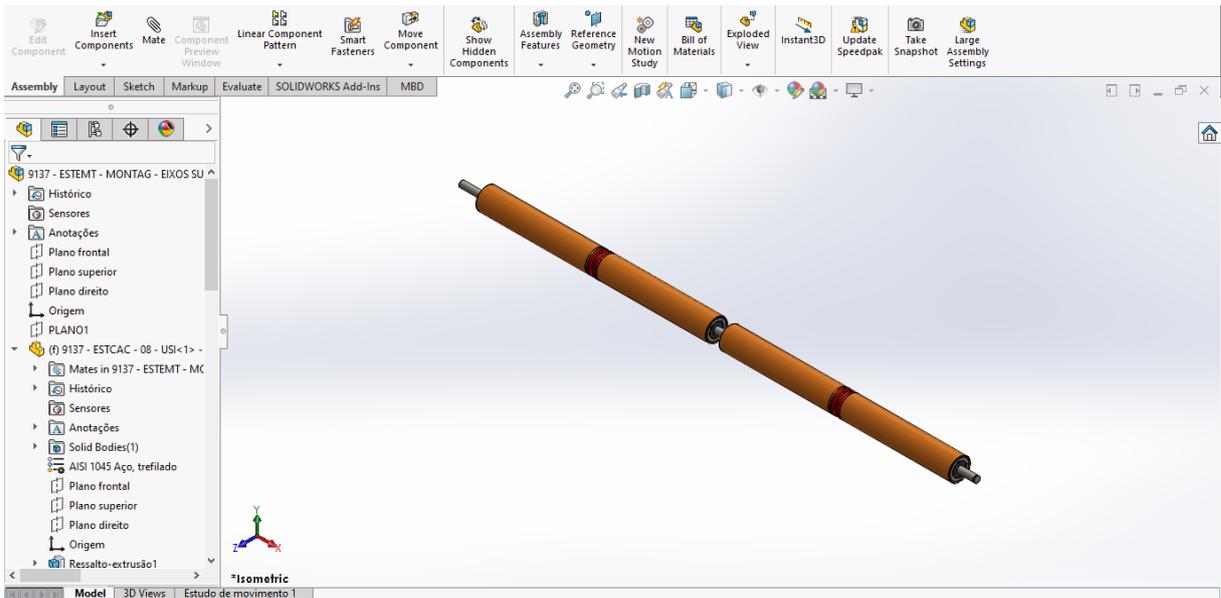
É preciso salientar que o mesmo processo foi feito para o projeto da esteira, isto é, as peças também foram desenhadas, modeladas e agrupadas em conjuntos e subconjuntos. Pode-se exemplificar o tubo do eixo da esteira, a montagem do eixo da esteira e, logo, a montagem completa da esteira, nas Figuras 17, 18 e 19 respectivamente.

Figura 17 – Tubo do eixo da esteira



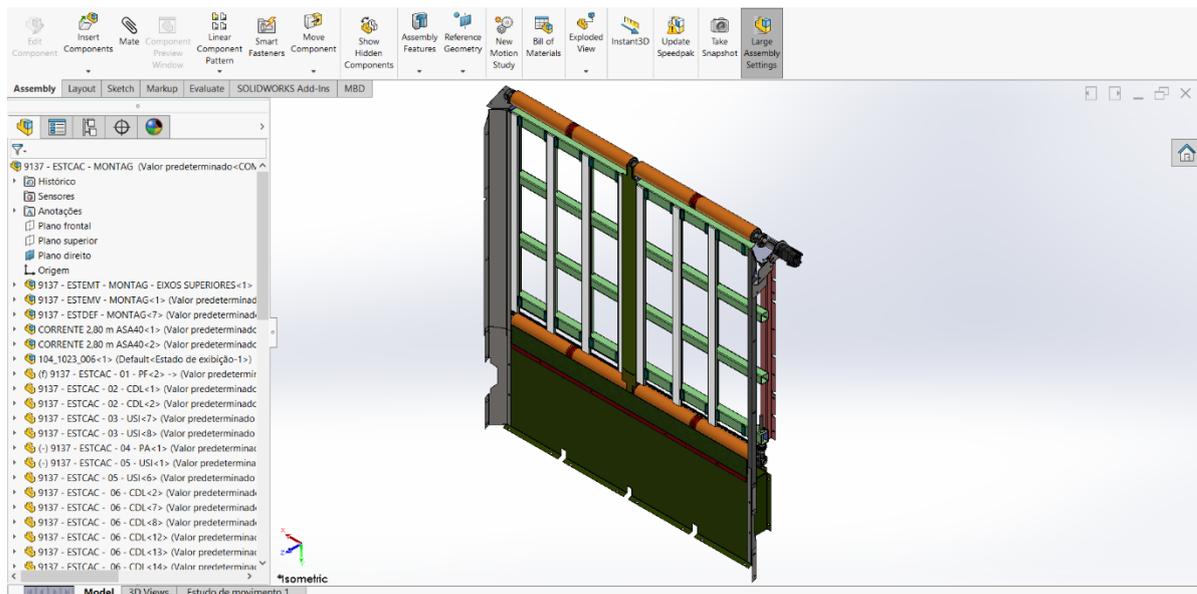
Fonte: Autor

Figura 18 – Montagem do eixo da esteira



Fonte: Autor

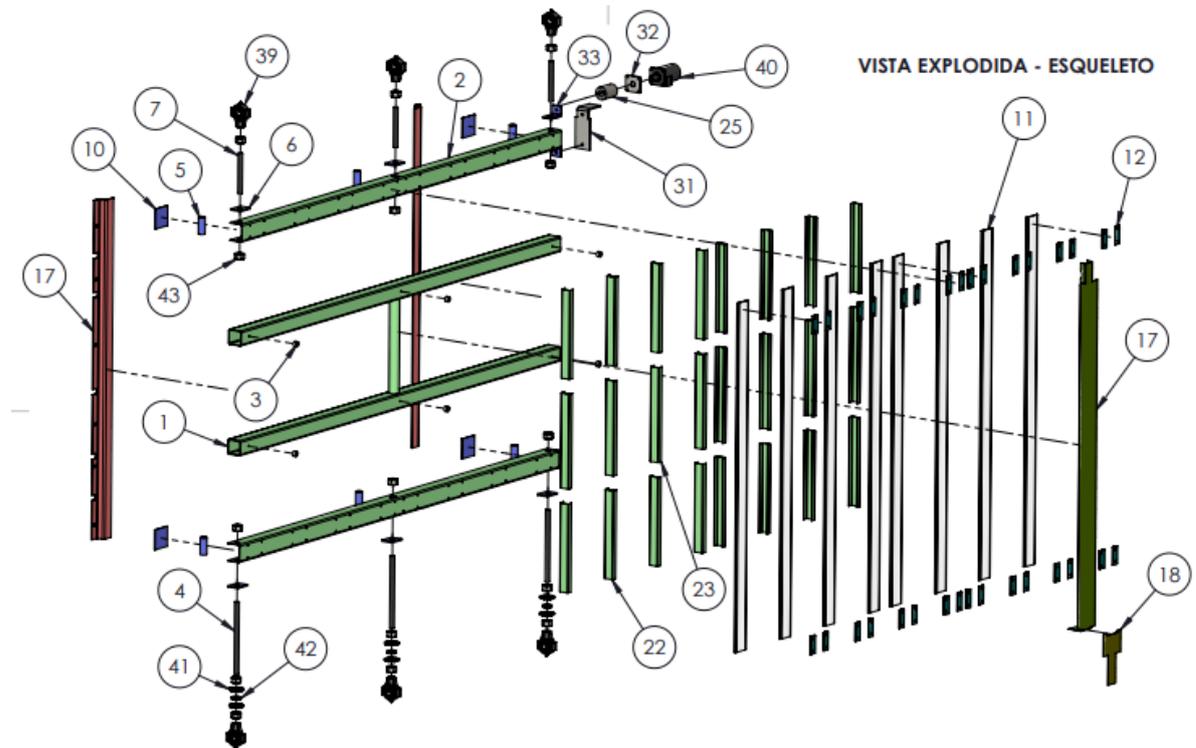
Figura 19 – Montagem completa da esteira



Fonte: Autor

Na Figura 20, tem-se a vista explodida da esteira, com todas as peças que a compõem.

Figura 20 – Vista explodida da esteira da caçamba

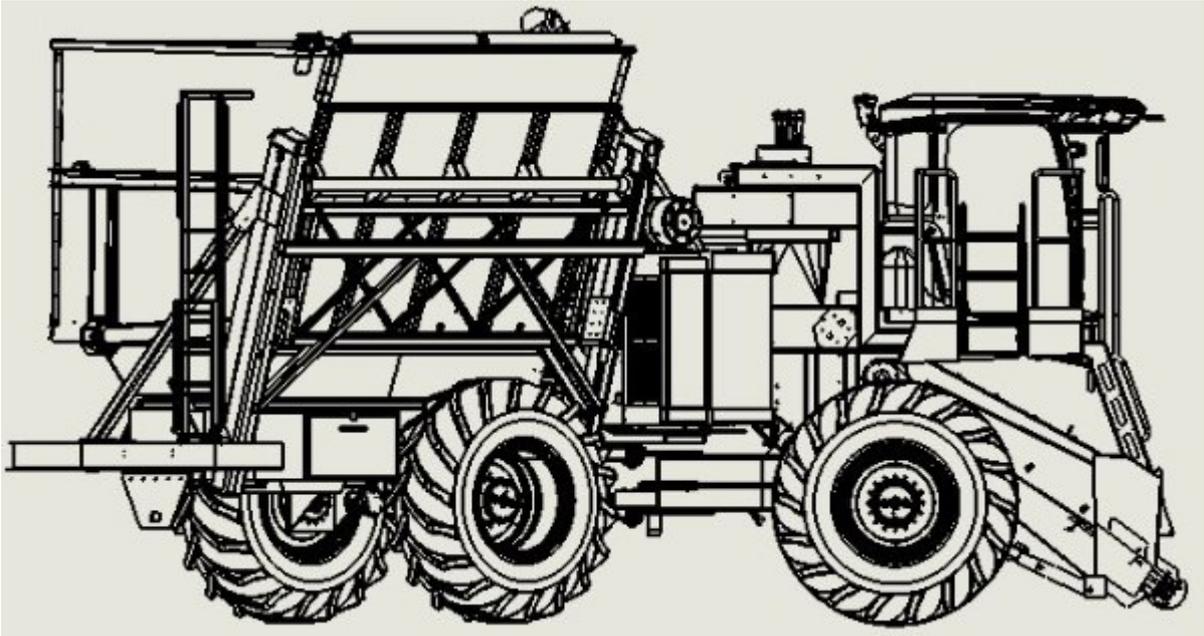


Fonte: Autor

Para o processo de otimização em questão, primeiramente foi analisado de forma empírica o volume de armazenamento que poderia ser ganho na caçamba ao otimizar cada uma das peças. Na sequência, a caçamba foi montada no chassi traseiro, o qual também foi modelado com base na máquina consolidada no mercado.

Dessa forma, foi possível observar os espaços que poderiam ser aproveitados ali, de forma a não bloquear a operação da caçamba, ou seja, o seu basculamento, ou evitar a colisão com alguma parte do conjunto. Na Figura 21, é possível visualizar o chassi traseiro da colheitadeira modelado, bem como o corpo da máquina:

Figura 21 – Chassi traseiro modelado



Fonte: Autor

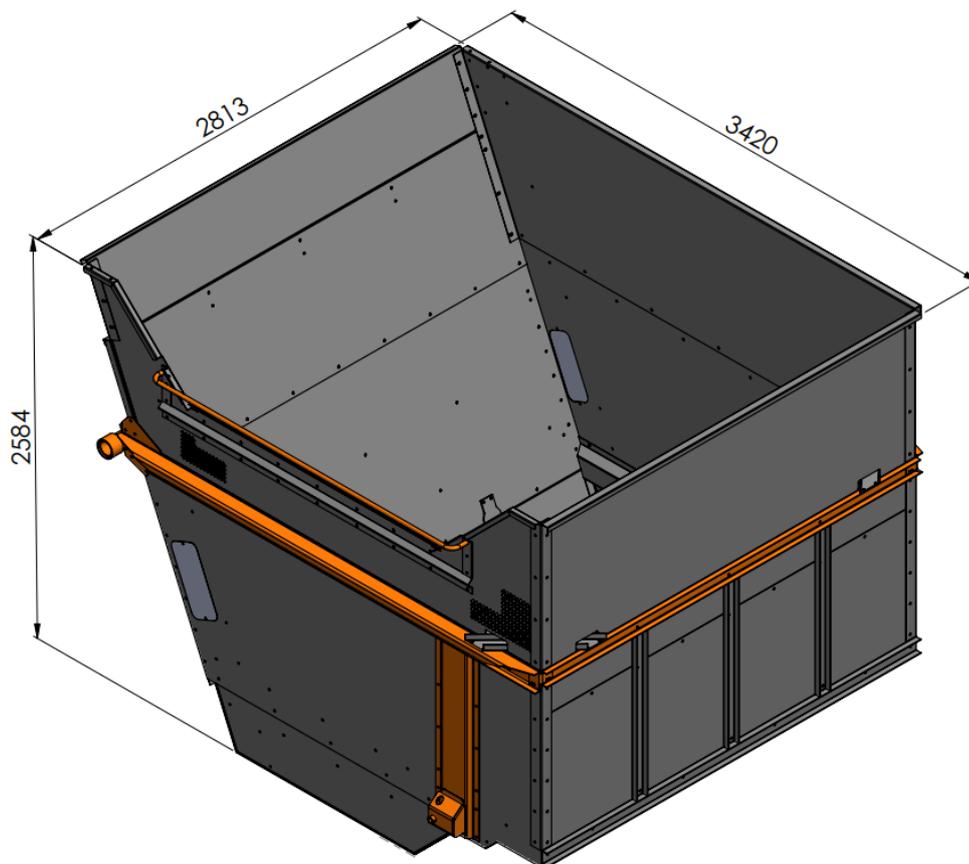
5 RESULTADOS

De modo geral, o formato da caçamba foi aumentado, de forma que se tornou possível a acomodação de uma maior quantidade de espigas de milho, isto é, a caçamba da colheitadeira de milho se encontrou com uma capacidade de armazenamento maior.

Além disso, pela característica abrasiva da espiga de milho, após o basculamento completo da caçamba, nem todo milho era adequadamente expulso da caçamba, restando “aglomerados” de milho em alguns pontos dela. Assim, englobou-se também no projeto a modelagem de uma esteira para a caçamba, a qual seria movimentada por motores, acionados pelo operador dentro da cabine, que expulsaria de forma satisfatória toda a quantidade de milho com seu movimento de esteira. Isso otimizaria a descarga do material depois de sua colheita.

Após a montagem, tem-se na Figura 22 a montagem final da caçamba melhorada da colheitadeira de milho, com as dimensões básicas em milímetros (mm).

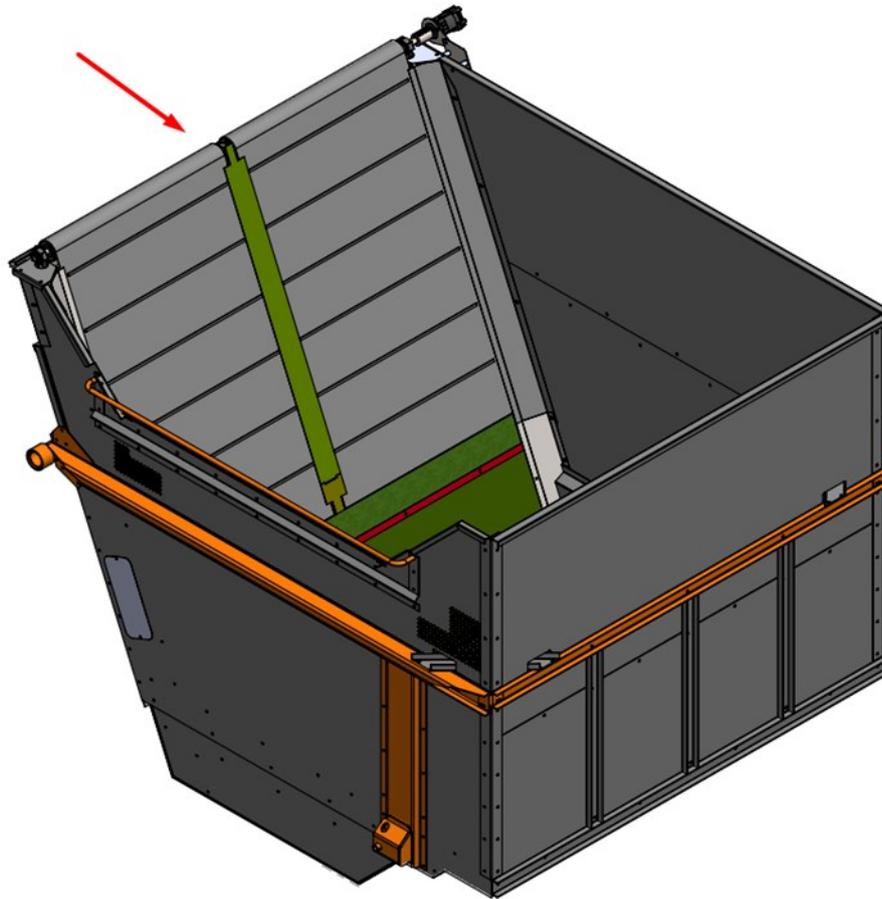
Figura 22 – Caçamba da colheitadeira de milho



Fonte: Autor

Assim, a caçamba tem um comprimento máximo de 3420 mm, largura de 2813 mm e altura de 2584 mm. Na Figura 23 pode-se ver a caçamba com o sistema de esteira acoplado:

Figura 23 – Caçamba da colheitadeira de milho com esteira



Fonte: Autor

É possível ver a montagem do maquinário completo, incluindo a caçamba, na Figura 24.

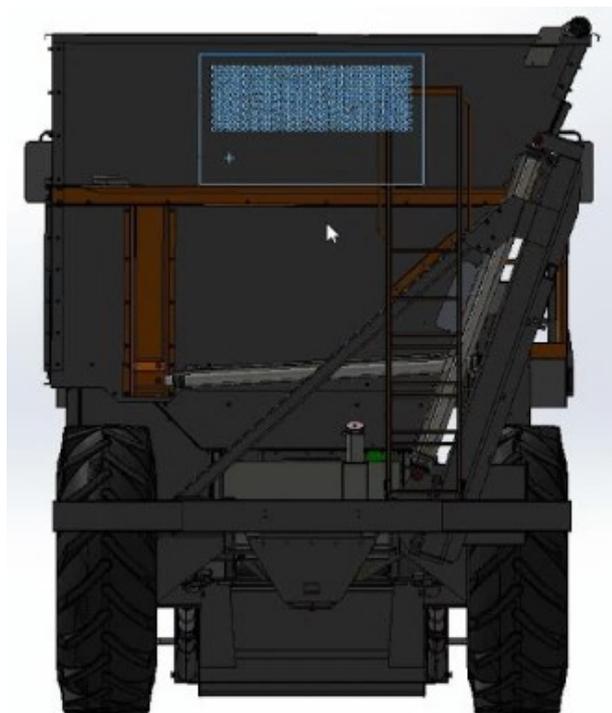
Figura 24 – Colheitadeira de milho no software de CAD



Fonte: Autor

Pode-se entender o funcionamento do sistema da caçamba na sequência de imagens a seguir, representadas pela Figura 25 a Figura 29.

Figura 25 – Vista traseira da caçamba da colheitadeira de milho



Fonte: Autor

Na Figura 26, os pistões de subida são acionados e, assim, dá-se início ao movimento de basculamento da caçamba para o despejo das espigas. A esteira só é acionada em momentos posteriores, como na Figura 30.

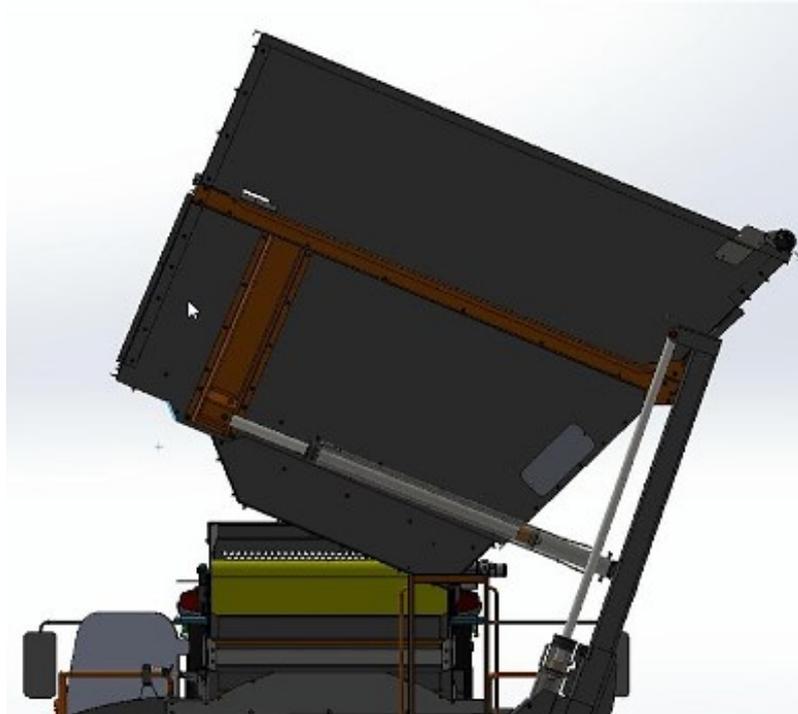
Figura 26 – Pistões de subida da caçamba acionados



Fonte: Autor

Após o levantamento da caçamba, este conjunto começa a ser girado por um pistão, de modo a deixar a caçamba inclinada em aproximadamente 23°. É possível ver essa etapa do processo na Figura 27.

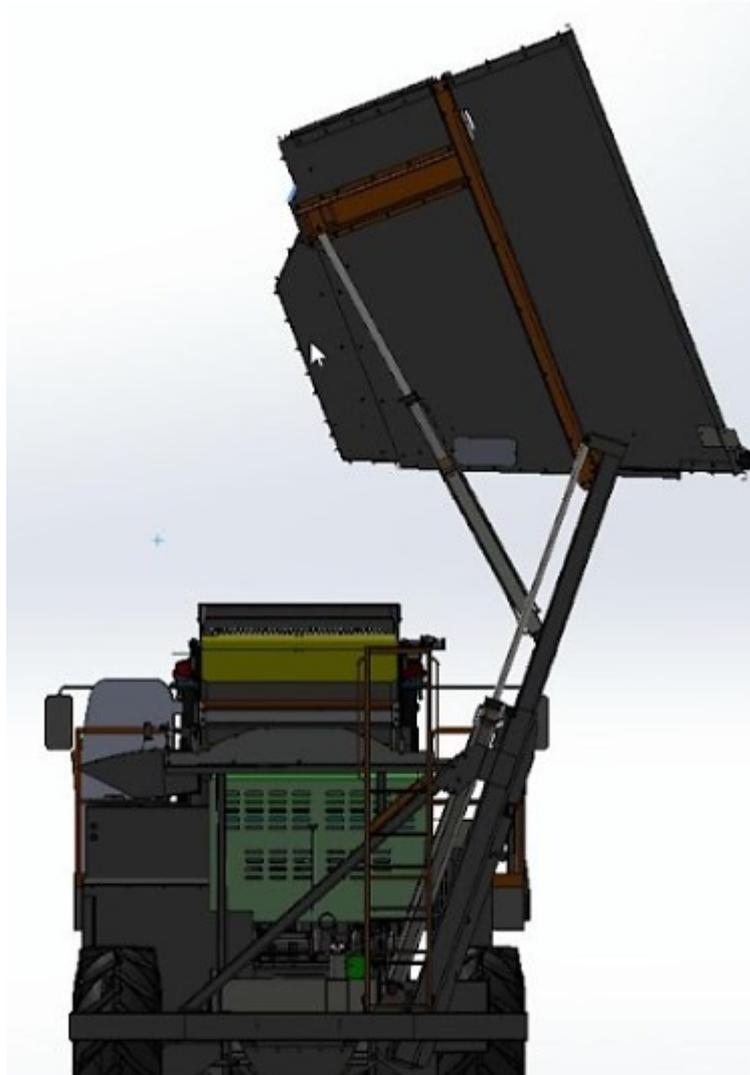
Figura 27 – Movimento da caçamba da colheitadeira de milho



Fonte: Autor

Depois desse primeiro movimento, a caçamba é inclinada para aproximadamente 68° com a ajuda dos cilindros e atuadores, ao modo que as primeiras espigas já começam a cair do recipiente. É importante salientar que nessa etapa o sistema esteira-caçamba atinge a altura suficiente para iniciar o movimento de despejo das espigas. É possível observar tal etapa na Figura 28.

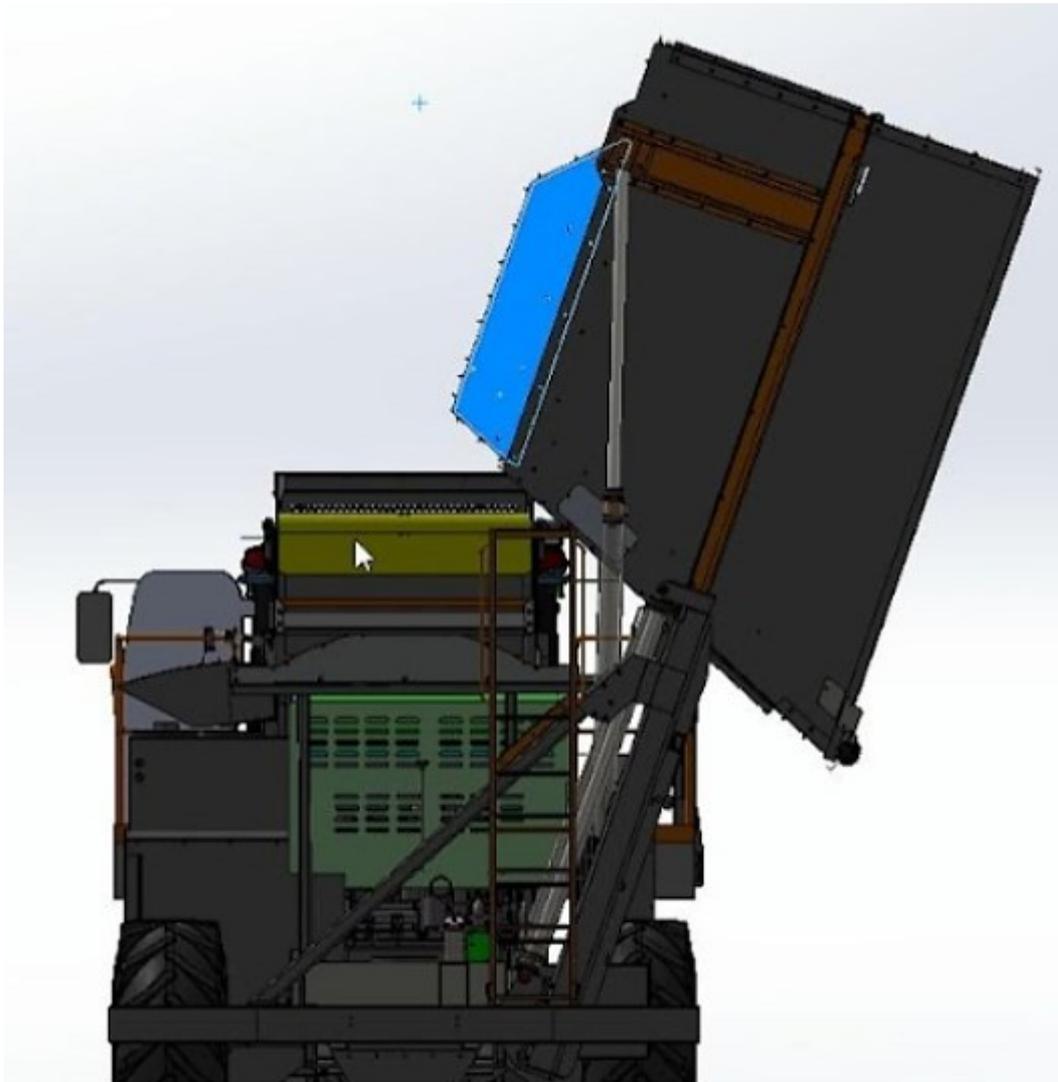
Figura 28 – Basculamento completo da caçamba



Fonte: Autor

Por fim, a caçamba é inclinada até sua posição final. Nessa etapa, demonstrada pela Figura 29, as espigas de milho serão todas ejetadas pela esteira, de modo a aumentar a produtividade da máquina e evitando movimentos repetitivos para forçar o milho para fora dela.

Figura 29 – Posição final do movimento da caçamba



Fonte: Autor

Pontua-se que esta análise de movimento da estrutura mostra que o movimento pode ocorrer sem nenhum obstáculo ou choque mecânico entre as peças e estruturas.

Além disso, foi possível obter as simulações do modelo em questão a partir da ferramenta de simulação do SolidWorks, o SolidWorks Simulation. As simulações foram feitas após aplicar uma força proporcional ao peso do milho que seria carregado pela caçamba.

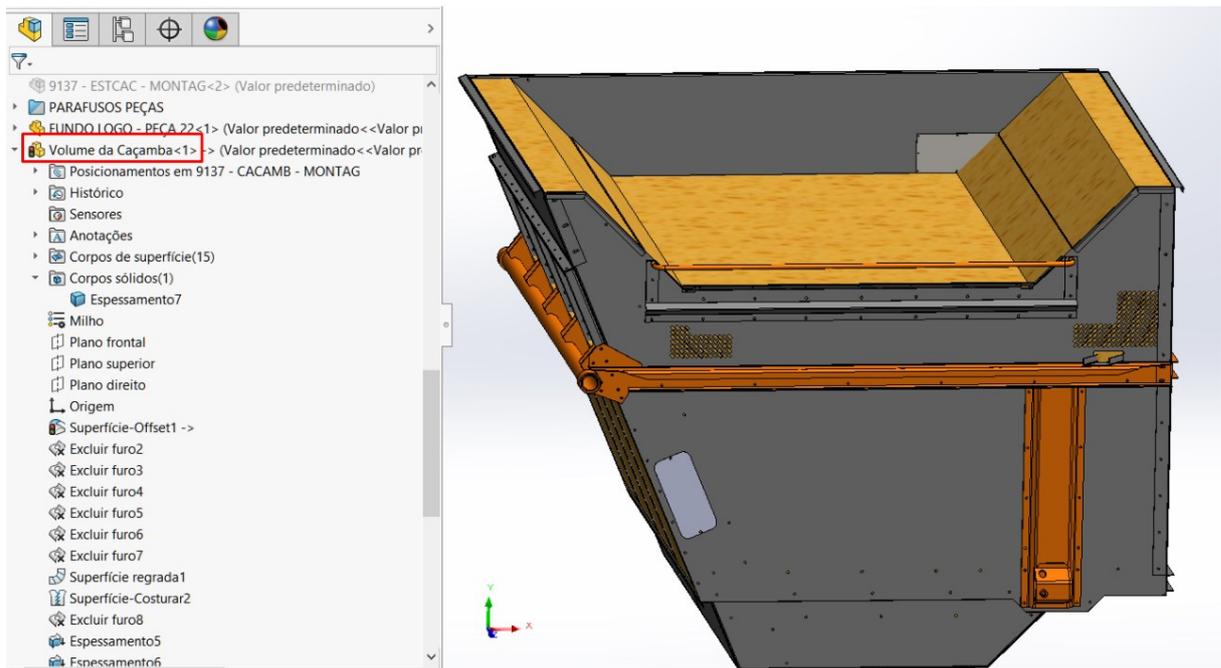
Após a obtenção dos dados reais da máquina colheitadeira de milho observada, por meio de seu catálogo, foi possível entender que a caçamba original possuía uma capacidade de carga de 6350 kg e volume de carga de 15,00 m³.

Logo, tomando-se como base a informação da densidade aproximada da espiga de milho ($\frac{6350 \text{ kg}}{15,00 \text{ m}^3} \cong 423,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$), fornecida pelo fabricante da colheitadeira, pode-se utilizá-la como

meio de determinar a nova capacidade de carga da caçamba e como parâmetro de comparação dos valores resultantes.

Assim, com a montagem da nova caçamba realizada em *software* e, modelando um corpo sólido com suas dimensões internas, é possível, por meio da ferramenta “Propriedades de Massa” do SolidWorks, definir tanto o volume de carga da nova caçamba como a capacidade de carga. A Figura 30 demonstra o corpo sólido modelado:

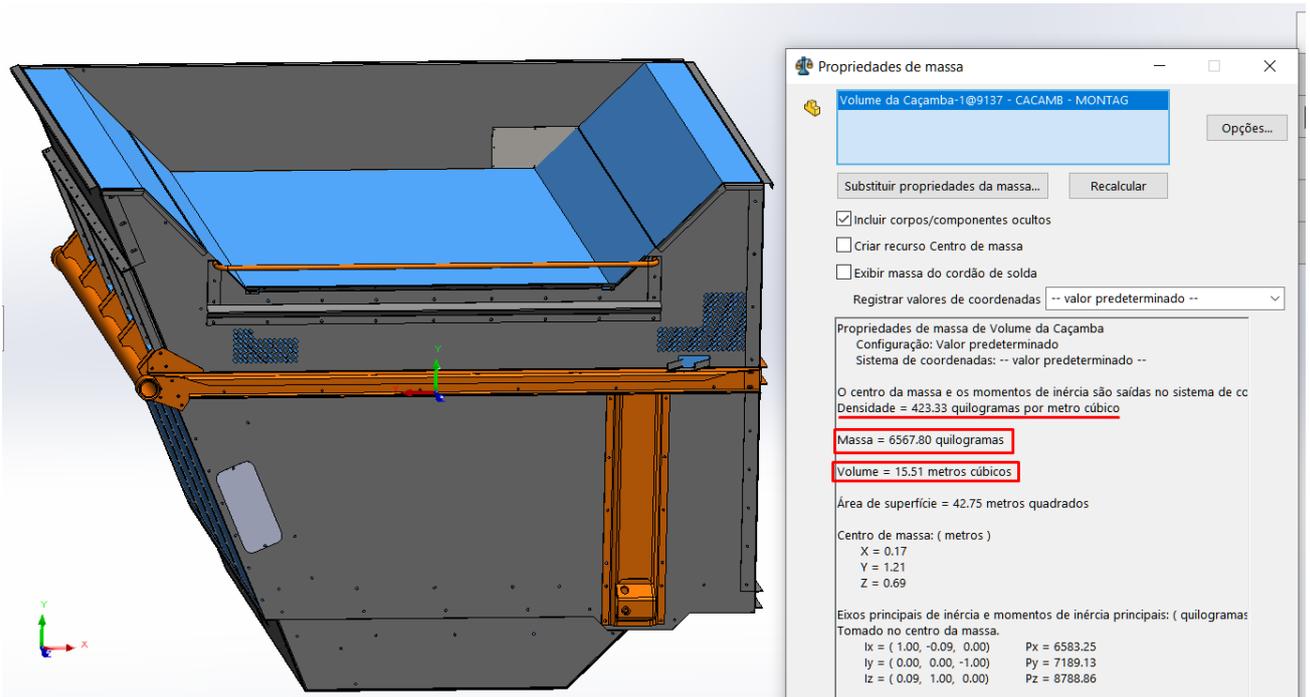
Figura 30 – Volume representativo da caçamba



Fonte: Autor

Com este sólido modelado, e introduzindo em seu material a mesma densidade relativa do milho encontrada anteriormente ($423,33 \text{ kg/m}^3$), pode-se definir pela ferramenta “Propriedades de massa” o volume de carga e a capacidade de carga da caçamba projetada, assim como demonstra a Figura 31.

Figura 31 – Propriedades de massa do sólido modelado



Fonte: Autor

Assim, tem-se que a nova caçamba projetada possui um volume de carga de 15,51 m³ e uma capacidade de carga de aproximadamente 6567,80 kg, supondo uma densidade de milho em espiga de 423,33 kg/m³. Estes valores estão representados na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Comparação das caçambas

	Caçamba da máquina consolidada no mercado	Nova caçamba projetada
Volume de carga	15,00 m ³	15,51 m ³
Capacidade de carga	6350 kg	6567,80 kg

Dessa forma, é estimado o ganho em questão após as otimizações na Eq. (1) a (3):

$$\text{Ganho de volume de carga} = \frac{\text{Novo Volume} - \text{Volume Antigo}}{\text{Volume Antigo}} \quad (1)$$

$$\text{Ganho de volume de carga} = \frac{15,51 - 15,00 \text{ m}^3}{15,00 \text{ m}^3} \quad (2)$$

$$\text{Ganho de volume de carga} = 0,034 = 3,40 \% \quad (3)$$

Sendo assim, observa-se que foi alcançado um ganho de aproximadamente 3,40 % no volume de carga. Como se utilizou a mesma densidade relativa da espiga de milho, o mesmo ganho se mantém para a nova capacidade de carga, assim como demonstra a Eq. (4) a (6):

$$\text{Ganho de capacidade de carga} = \frac{\text{Nova Capacidade} - \text{Capacidade Antiga}}{\text{Capacidade Antiga}} \quad (4)$$

$$\text{Ganho de capacidade de carga} = \frac{6567,80 - 6350 \text{ kg}}{6350 \text{ kg}} \quad (5)$$

$$\text{Ganho de capacidade de carga} = 0,034 = 3,40 \% \quad (6)$$

Portanto, foi obtido um ganho de aproximadamente 3,40 % na capacidade de carga da caçamba.

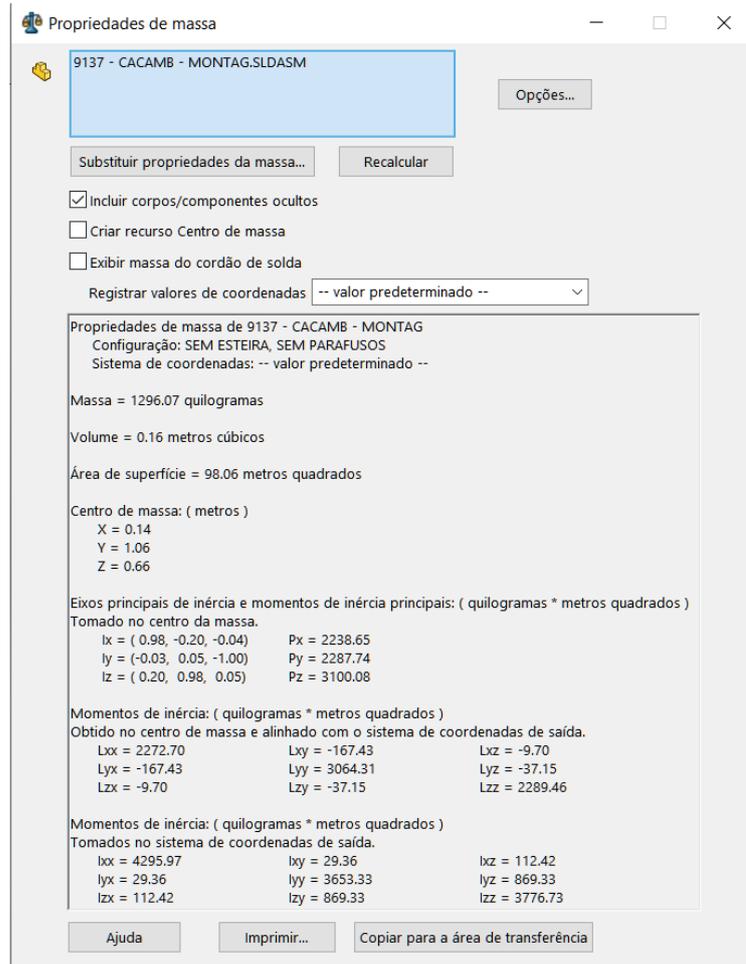
Além disso, mediante a ferramenta “Propriedades de massa” do SolidWorks, foi possível obter, também, outros dados da nova estrutura em questão, como os representados na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Propriedades da nova caçamba

Propriedade	Valor
Massa total da estrutura	1296,07 kg
Volume de material para construção	0,16 m ³
Área de superfície total	98,06 m ²

É possível visualizar a tela desse recurso do SolidWorks na Figura 32.

Figura 32 – Propriedades de massa da nova estrutura



Fonte: Autor

Por intermédio dos novos dados obtidos, foi possível determinar os valores a serem utilizados nas simulações. Convertendo a força exercida pela nova capacidade de carga de kgf (6 567,8 kgf) para Newtons (64 408,12 N), foi possível chegar a um valor adequado. A força aplicada foi distribuída nas superfícies internas da caçamba, enquanto que a estrutura foi engastada nos pontos de sustentação pelos pistões, simulando seu ambiente de operação padrão.

O material utilizado na simulação, por razões de simplificação do modelo da máquina, foi o aço AISI 1020, aço este muito comumente usado em maquinários. Os parâmetros para a simulação feita estão representados na Tabela 3:

Tabela 3: Parâmetros da simulação

Parâmetro	Valor
Força aplicada	64 408,12 N
Material aplicado	Aço AISI 1020

A Tabela 4 a seguir engloba as principais propriedades do aço AISI 1020, assim como determinado pelo *software* SolidWorks:

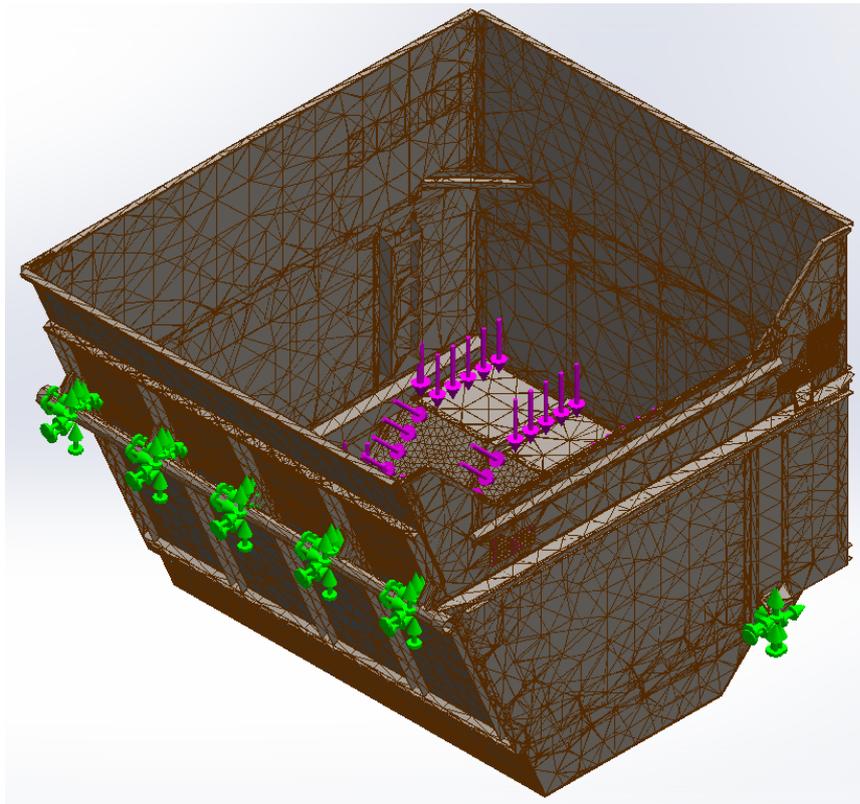
Tabela 4: Propriedades do Aço AISI 1020

Densidade	Limite de escoamento	Resistência à tração	Módulo de elasticidade	Coefficiente de Poisson
7900 kg/m ³	351,571 MPa	420,507 MPa	200 GPa	0,29

O limite de escoamento do aço é a tensão máxima que o aço pode suportar sem deformação permanente. Sendo o aço submetido a tensões maiores do que o seu limite de escoamento, ele começa a se deformar permanentemente e a perder sua forma original, logo, é utilizado como parâmetro de projeto de peças em geral (LUZ, 2017).

A caçamba com a fixação definida (vetores verdes), força aplicada (vetores roxos) e malha de simulação de elementos finitos gradada, com total de 51956 nós e 136158 elementos, pode ser observada na Figura 33.

Figura 33 – Pré-processamento da simulação



Fonte: Autor

O coeficiente de segurança geralmente é especificado em normas técnicas, que variam de acordo com o tipo de estrutura e as condições de uso, por exemplo, a norma brasileira NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço - Procedimento - estabelece os coeficientes de segurança a serem utilizados em projetos de estruturas de aço.

Segundo Chiaverini (2002), o coeficiente de segurança depende do tipo de carga, tipo de material e das condições de uso. Além disso, para materiais dúcteis os valores variam entre 1,5 e 4,0 e para materiais frágeis entre 5,0 e 8,0.

Segundo Mott (2015), para os materiais dúcteis, o coeficiente de segurança pode ser utilizado dentre as seguintes faixas de valores:

- a) 1,5 e 2,0 para projetos de estruturas suportadas por cargas estáticas, em que há um nível elevado de confiança em todos os dados;
- b) 2,0 e 2,5 para carregamento dinâmico com confiança média em todos os dados;
- c) 2,5 e 4,0 para estruturas estáticas sobre carregamento dinâmico com incerteza sobre cargas, propriedades dos materiais, análise de tensão ou ambiente;

d) 4,0 ou mais para projeto de estruturas estáticas sobre carregamento dinâmico com incerteza sobre algumas combinações de cargas, propriedades dos materiais, análise de tensão ou ambiente, no qual se deve proporcionar segurança extra para componentes críticos.

Dessa forma, por se tratar de valores incertos e para a análise de tensão, o coeficiente de segurança será definido como 4,0. Assim, é calculada a tensão admissível (σ_{adm}) no ensaio de tensão a partir da tensão de escoamento do material (σ_e) e do coeficiente de segurança ($C.S.$), como mostrado na Eq. (7) a (9).

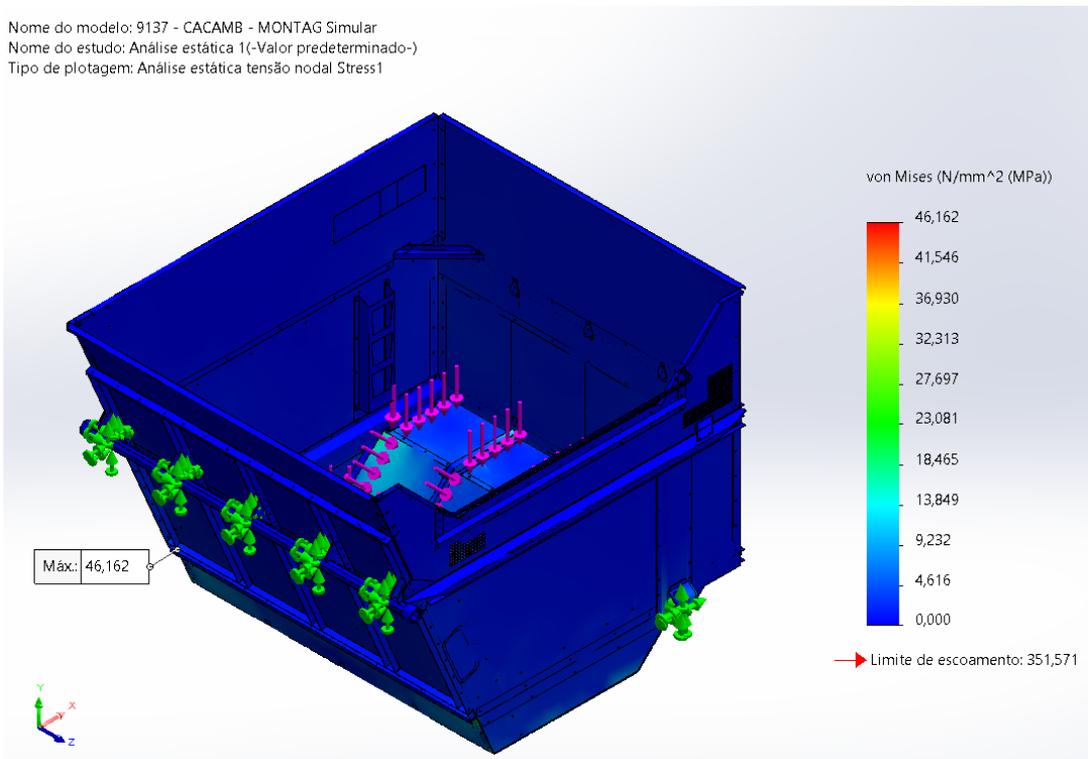
$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{C.S.} \quad (7)$$

$$\sigma_{adm} = \frac{351,571 \text{ MPa}}{4,0} \quad (8)$$

$$\sigma_{adm} = 87,893 \text{ MPa} \quad (9)$$

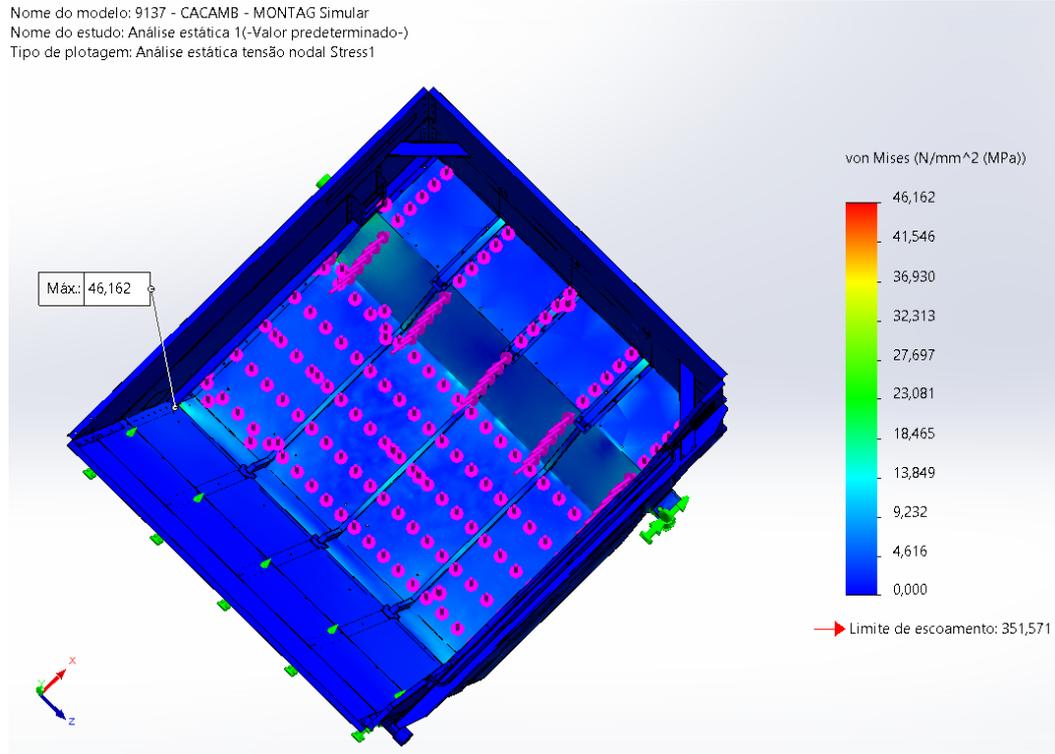
Assim, observa-se primeiramente a simulação de tensão, utilizando o critério de tensão de von Mises, assim como o ponto do maior valor alcançado e uma visão superior da caçamba, nas Figuras 34 e 35.

Figura 34 – Análise de Tensão de von Mises



Fonte: Autor

Figura 35 – Vista superior da Análise de Tensão de von Mises

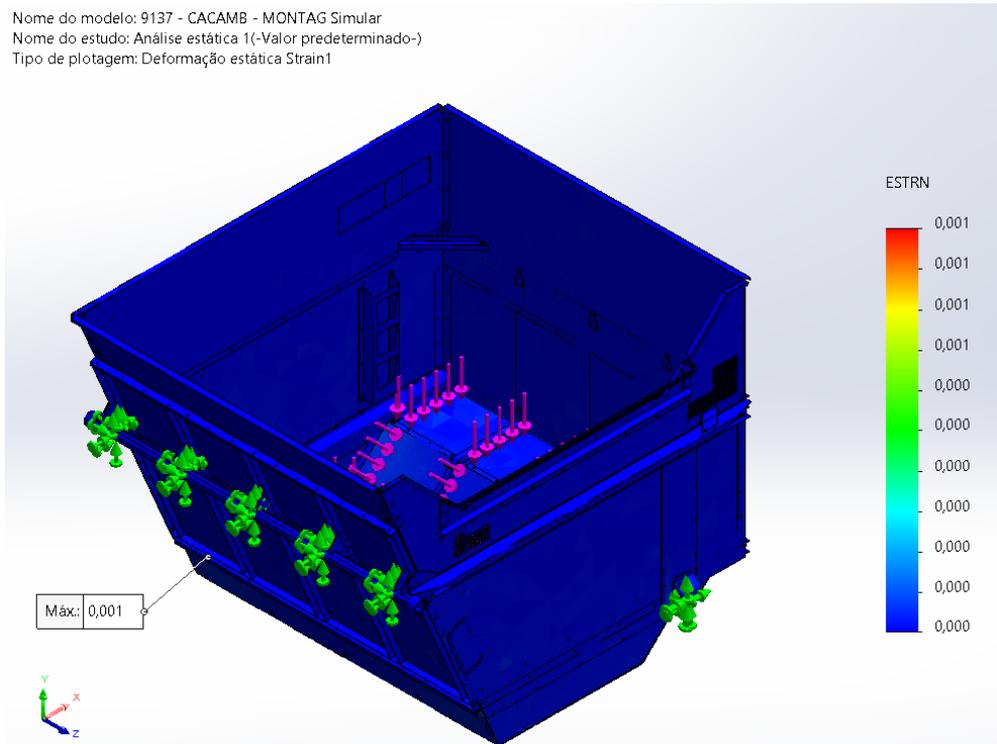


Fonte: Autor

Como demonstram as figuras acima, pelo indicador “Máx.: 46,162”, a maior tensão alcançada no teste foi de 46,162 MPa. Após essa simulação, é possível realizar uma simulação de deformação equivalente da estrutura decorrente dos esforços, como podemos ver nas Figuras 36 e 37.

Figura 36 – Análise de Deformação Equivalente

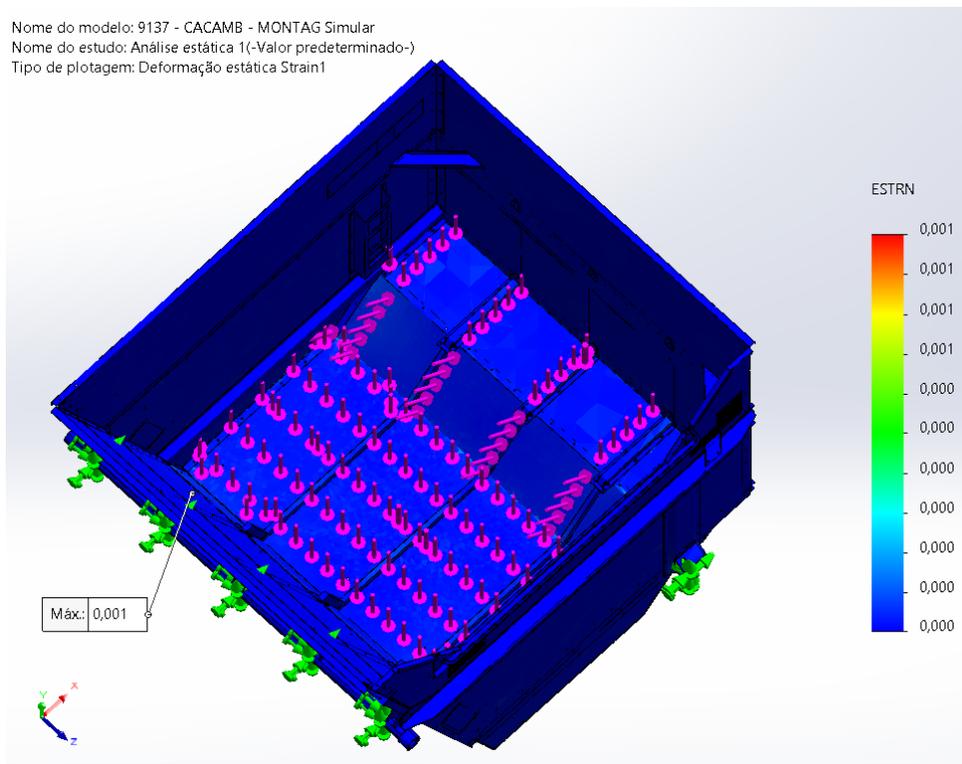
Nome do modelo: 9137 - CACAMB - MONTAG Simular
Nome do estudo: Análise estática 1(-Valor predeterminado-)
Tipo de plotagem: Deformação estática Strain1



Fonte: Autor

Figura 37 – Vista superior da Análise de Deformação Equivalente

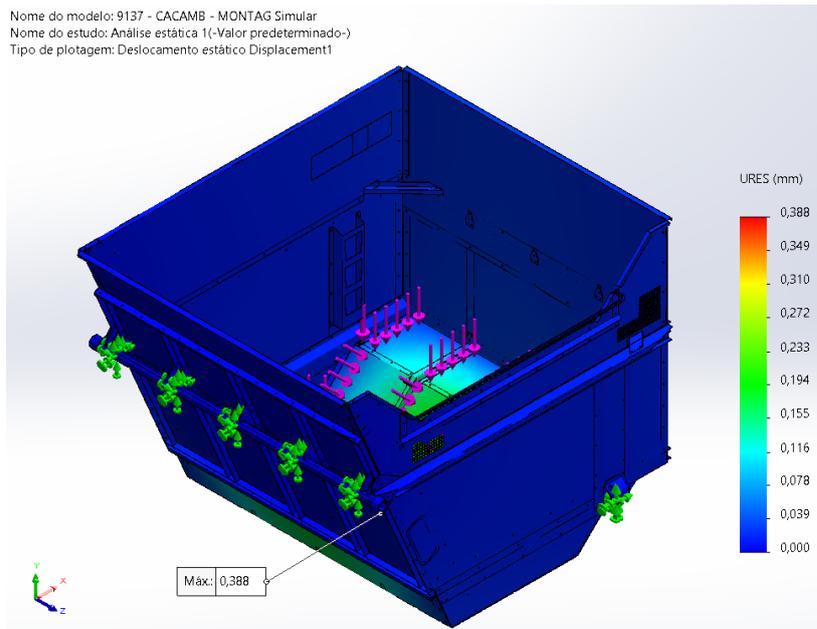
Nome do modelo: 9137 - CACAMB - MONTAG Simular
Nome do estudo: Análise estática 1(-Valor predeterminado-)
Tipo de plotagem: Deformação estática Strain1



Fonte: Autor

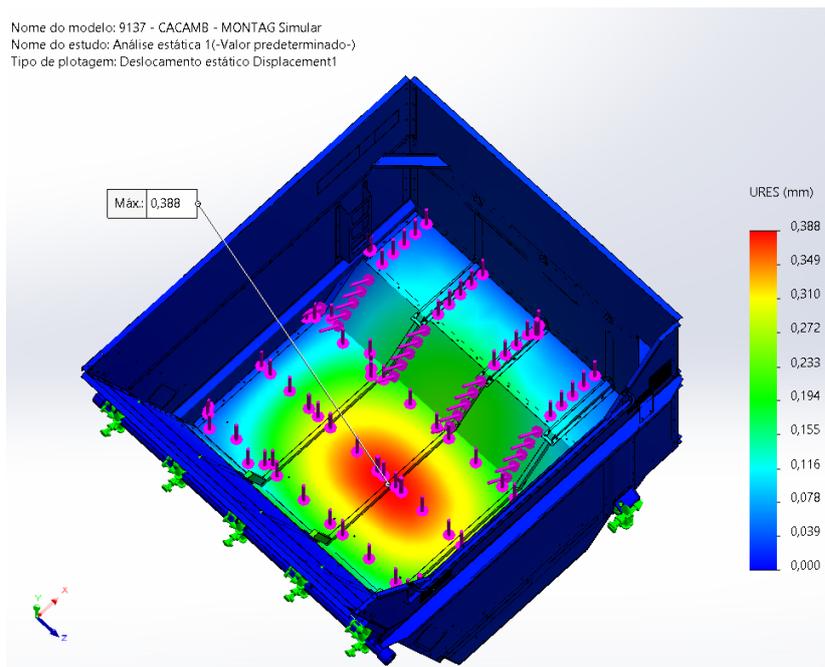
Pode-se notar uma deformação máxima equivalente de 0,001 ou 0,1 % mas, como demonstra a análise de tensão, dentro do regime elástico do material. Por fim, é possível também executar uma simulação de deslocamento das peças após a aplicação da força sobre elas. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 38 e 39.

Figura 38 – Análise de Deslocamento



Fonte: Autor

Figura 39 – Vista superior da Análise de Deslocamento



Fonte: Autor

Pode-se notar um deslocamento máximo da estrutura de 0,388 mm enquanto ainda na zona de deformação elástica. Sabendo o valor da maior tensão alcançada durante a análise de tensão de von Mises, compara-se com a tensão de escoamento do material aço AISI 1020, o coeficiente de segurança determinado e a sua tensão admissível, assim como pode ser visto na Tabela 5 abaixo:

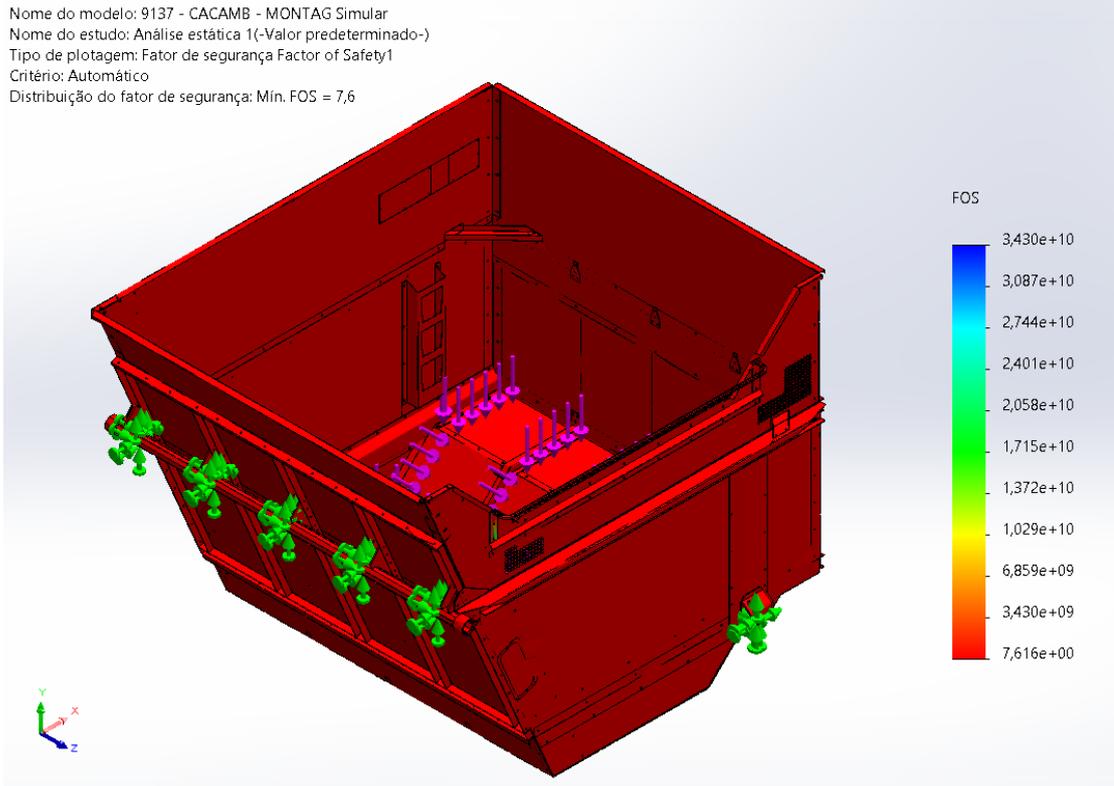
Tabela 5: Comparação de resultados da simulação

Parâmetro	Valor
Tensão de escoamento do aço AISI 1020	351,571 MPa
Coeficiente de segurança projetado	4,0
Tensão admissível	87,893 MPa
Maior tensão atingida	46,162 MPa

Dessa forma, pode-se notar que com a aplicação da força da capacidade de carga total da caçamba, a maior tensão alcançada respeitou a tensão admissível, determinada por um fator (ou coeficiente) de segurança de 4,0, garantindo assim, segurança no uso do maquinário para as aplicações que se propõe.

Adicionalmente, o *software* SolidWorks realiza uma análise do maior coeficiente de segurança aplicável na estrutura, visto os resultados da simulação, assim como demonstra a Figura 40.

Figura 40 – Análise do coeficiente de segurança

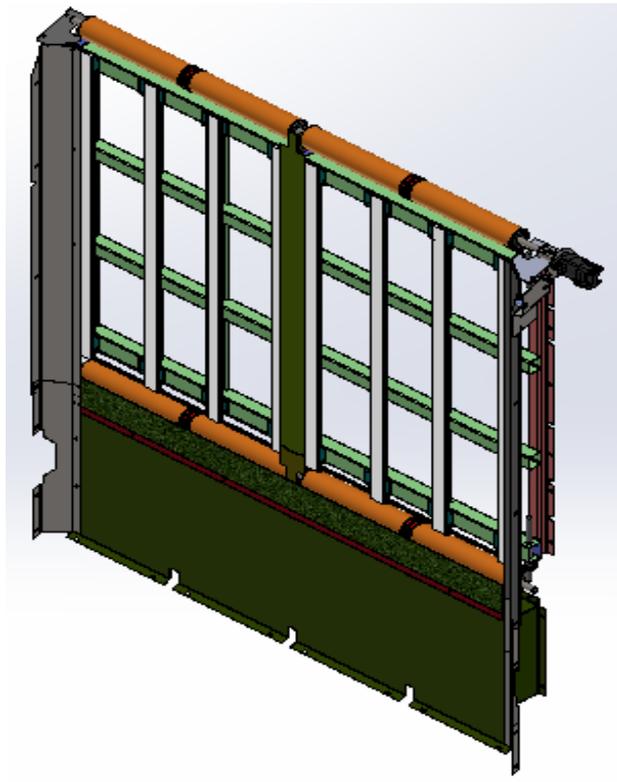


Fonte: Autor

Assim, pela análise realizada, a estrutura atende a um coeficiente de segurança máximo de 7,6, uma vez que a tensão admissível para este coeficiente seria de 46,259 MPa e a maior tensão alcançada foi de 46,162 MPa.

Além disso, tem-se o sistema de esteira projetado, o qual é utilizado acoplado à caçamba. É possível ver a montagem de CAD desse sistema na Figura 41.

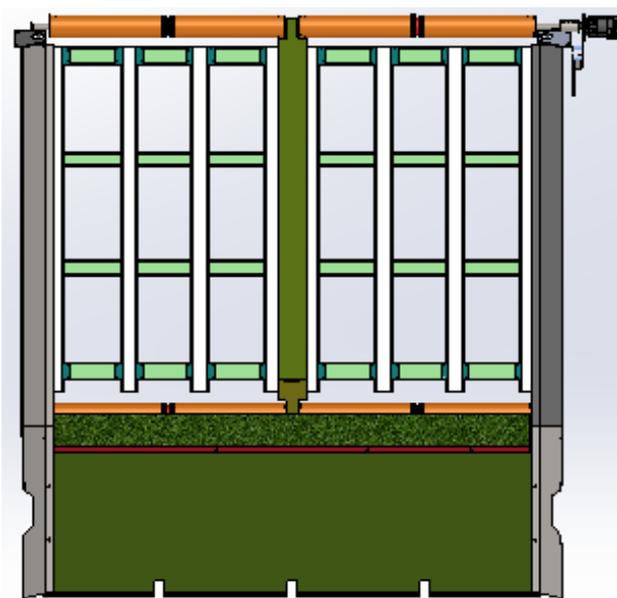
Figura 41 – Sistema de Esteira



Fonte: Autor

Para uma análise mais detalhada, é possível observar esse mesmo sistema de esteiras por uma vista frontal na Figura 42.

Figura 42 – Vista Frontal do Sistema de Esteira



Fonte: Autor

6 DISCUSSÃO

O foco do projeto foi aperfeiçoar uma caçamba a partir dos problemas observados diante de uma colheitadeira e de pesquisas bibliográficas. Desta maneira, foi criado um novo modelo de caçamba, com uma área maior e que se encaixa no maquinário a fim de comportar um volume maior de milho.

Ao fim da modelagem do sistema, foi observado que o novo formato da caçamba inclui de fato um volume maior e constata-se que tal formato utiliza de maneira adequada o espaço dedicado para a caçamba, uma vez que não impacta na operacionalidade do sistema de carga do maquinário. Ainda, com a simulação estática, demonstra-se que esta nova forma não aflige estaticamente a máquina, pois apresenta deformação da estrutura dentro das normalidades, bem como níveis de tensão abaixo dos limites de escoamento do material.

O resultado da simulação de tensão comprova que a tensão que a estrutura deve estar submetida durante o seu uso é facilmente suportada sem deformação permanente da estrutura, baseado em um modelo matemático que leva em conta as propriedades do material e as condições de carga aplicadas. Se a tensão resultante em uma simulação de tensão for maior que o limite de escoamento do material aplicado, procede-se a deformação permanentemente do material sob tais condições de carga e, como constatado pela seção “Resultados” deste trabalho, a estrutura projetada suporta as tensões aplicadas.

Ainda, com a definição de um coeficiente de segurança apropriado, certifica-se que o projeto de estruturas terá liberdade para exercer a sua funcionalidade com segurança para os operadores e preservando sua própria robustez.

Já na análise de movimento da estrutura, evidenciou-se o processo feito pelo Sistema esteira- caçamba para evacuar as espigas de milho e diminuir o desgaste dos pistões que realizam o basculamento da caçamba sem movimentos repetitivos. Vale salientar, que a esteira abrangeu a lateral da caçamba uma vez que é o lado no qual as espigas de milho caem para fora da caçamba, ou seja, facilitando ainda mais a evacuação em uma menor quantidade de movimentos. Com as simulações de tensão, comprova-se a resistência do recipiente aos esforços requeridos no sistema e que este recipiente suporta as tensões que serão colocadas sobre o mesmo.

No entanto, como o projeto encontra-se apenas modelado digitalmente e com simulações numéricas com simplificações, pode-se constatar uma limitação devido à carência

de uma simulação feita em protótipo real da estrutura, para confirmação dos resultados obtidos via *software*.

Outra limitação a ser estudada, é o peso da carga em relação ao funcionamento da esteira. Dependendo da quantidade de espigas de milho a serem expedidas da caçamba, pode-se ter um impacto no funcionamento da esteira de forma a dificultar o rolamento de sua borracha e taliscas, gastando um tempo maior para que o procedimento aconteça ou até impedindo-o. Outro fator que pode ser estudado futuramente é a danificação mecânica de algumas ou todas as peças da esteira devido ao contato com este tipo de carga.

Outros fatores a serem analisados podem englobar a necessidade de equilíbrio durante toda a movimentação do conjunto caçamba-esteira, assim como sua velocidade de movimentação, a qual pode impactar na alteração do centro de gravidade da estrutura, gerando desgaste ou limitações para a nova estrutura.

Adicionalmente, é importante lembrar que o limite de escoamento do aço AISI 1020 pode variar dependendo da temperatura da peça e da taxa de deformação aplicada. Além disso, o limite de escoamento de um material pode ser afetado por outros fatores, como o grau de pureza do material, as condições de fabricação e o tratamento térmico aplicado.

7 CONCLUSÃO

Dessa forma, pode-se concluir que o cenário atual do agronegócio é muito importante para o desenvolvimento do Brasil, a busca por tecnologias que aumentem a produtividade no campo é essencial para o desenvolvimento dessa prática.

Com base na metodologia científica, foi possível observar os principais pontos de mudança necessários nas máquinas agrícolas e elaborar hipóteses para as melhorias e otimizações dessas máquinas, provando a constante capacidade de aperfeiçoamento dos projetos de engenharia, garantindo sempre resultados mais satisfatórios para a utilização humana.

Utilizando a metodologia de projetos, elaborou-se um projeto de engenharia seguindo as normas básicas para o desenvolvimento de novas tecnologias necessárias para tal projeto. Com o uso da ferramenta de CAD SolidWorks, foi possível desenhar protótipos para propor soluções por meio do projeto em questão, bem como realizar simulações para avaliar o funcionamento de tal estrutura.

Ainda, foram atingidos valores de tensão máxima abaixo do coeficiente de segurança projetado, deformações e deslocamentos da estrutura dentro das normalidades (no regime elástico do material). Logo, a análise estrutural mostra que a nova proposta de estrutura está dimensionada, para as considerações realizadas.

Por fim, mediante os resultados obtidos e das discussões a partir desses resultados, foi possível perceber que o projeto propõe pontos interessantes quanto a melhorias de máquinas agrícolas, assim como corrobora quanto à necessidade e importância do desenvolvimento de novas tecnologias para o cenário do agronegócio brasileiro, sempre em constante florescimento.

8 REFERÊNCIAS

Ajuda do SOLIDWORKS. Dassault Systemes, 2023. Disponível em: < http://help.solidworks.com/2013/portuguese-brazilian/SolidWorks/SWHelp_List.html?id=ee628cdcc155446badeef99f7976cc3c#Pg0 >. Acesso em: 17 de dez. 2022.

BACK, N.; FORCELLINI, F.A. **Projeto Conceitual.** Apostila de aula – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas.** São Paulo: Manole LTDA, 1987.

BASILE, Martina. **7 principais desafios que as empresas enfrentam ao inovar.** Disponível em: < <https://ilegra.com/7-principais-desafios-que-as-empresas-enfrentam-ao-inovar/> >. Acesso em: 24 de jan. 2023.

BUDYNAS, R. G. **Elementos de Máquinas de Shigley.** 8 ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica.** 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1073 p.

CARPANEZZI, Leonardo et al. **História e evolução da mecanização.** 31 ed. [S.l]: FAEFRevista Científica Eletrônica, 2017. Disponível em: < http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/CxbNYOvf8fSKep0_2018-1-25-14-45-46.pdf >. Acesso em: 24 jan. 2023.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; DA SILVA, R. **Metodologia científica.** 6 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos.** 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002. 561 p.

COLHEDORA DE MILHO 2460. AgriExpo, 2022. Disponível em: < <https://www.https://www.agriexpo.online/pt/prod/oxbo-international-corporation/product-173916-6043.html> >. Acesso em: 07 de dez. de 2022.

COLHEDORA DE MILHO 8840. AgriExpo, 2022. Disponível em: < <https://www.agriexpo.online/pt/prod/oxbo-international-corporation/product-173916-90437.html> >. Acesso em: 07 de dez. de 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

JUNG, F. C. **Metodologia Para Pesquisa & Desenvolvimento.** Aplicada a Novas Tecnologias, Produtos e Processos. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

LUZ, Gelson. **O que é Limite de escoamento? (Gráfico, Cálculo e Exemplos).** Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em: < <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/o-que-e-limite-de-escoamento.html> >. Acesso em: 04 de jan. de 2023.

MILMAN, M. J. **Equipamentos para pré-processamento de grãos.** Pelotas: Editora e gráfica universitária, 2002.

MOLIN. J. **Colhedora de grãos.** Edisciplinas. USP, 2021. Disponível em: < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4453313/mod_resource/content/1/Colhedoras%20de%20gr%C3%A3os.pdf >. Acesso em: 07 de dez. de 2022.

MOTT, R. L. **Elementos de máquina em projetos mecânicos.** 5. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015. 904 p.

NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.

POYER, M.; RORATTO, R. **Introdução ao Comércio Exterior.** 21 ed. Santa Catarina: UnisulVirtual, 2017.

ROMANO, L. N. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 266 p.

SIQUEIRA, R. **Sistema plantio direto com qualidade**. Iapar / Itaipu Binacional, Londrina / Foz do Iguaçu, 2008.

SORIANO, L. Humberto. **Método de Elementos Finitos em Análise de Estruturas**. 1ª Edição. São Paulo, Ed. Edusp. 2003.

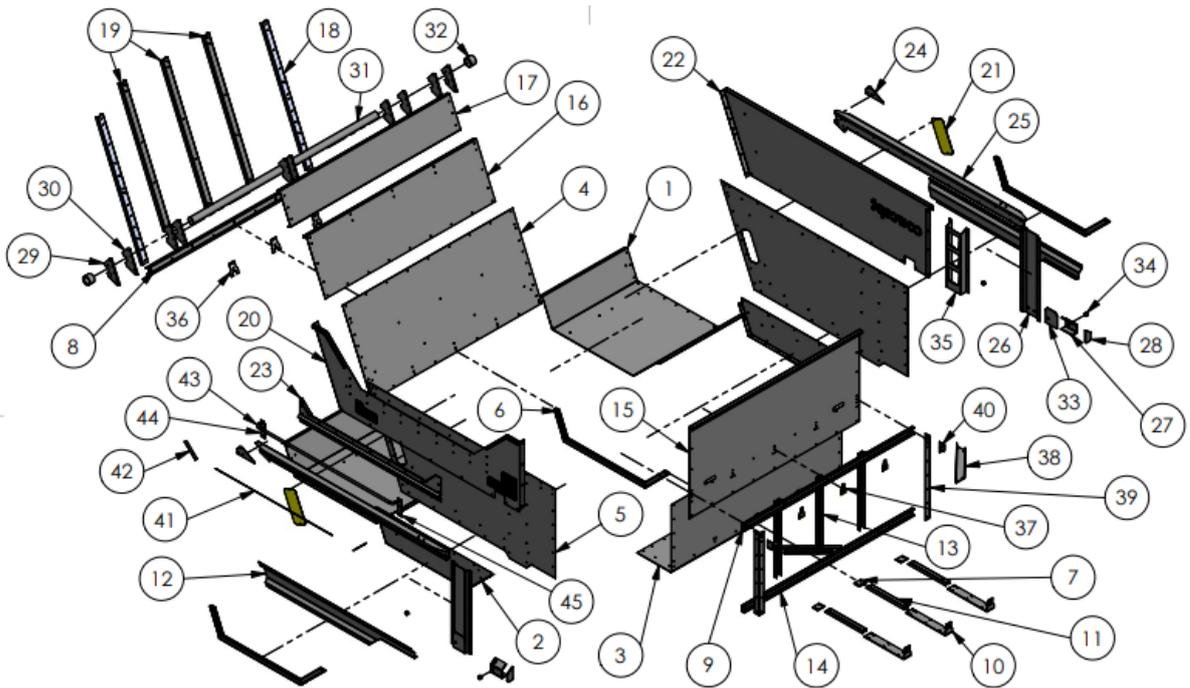
SUCESSO DO MILHO BRASILEIRO. Canal Rural, 2022. Disponível em: < <https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2022/03/15/sucesso-do-milho> >. Acesso em: 14 de ago. de 2022.

YAMASHITA, L. M. R. **Técnico em Agropecuária – Mecanização Agrícola**. Manaus: Instituto Federal Amazonas, 2010. Disponível em: < http://pronatec.ifpr.edu.br/wpcontent/uploads/2013/06/Mecanizacao_Agricola.pdf >. Acesso em: 24 de jan. 2023.

КУКУРУЗОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН ОХВО 2460. Selpo EU SRL, 2022. Disponível em: < <https://selpomd.wordpress.com/кукурузоуборочный-комбайн-охво-2460/> >. Acesso em: 15 de dez. de 2022.

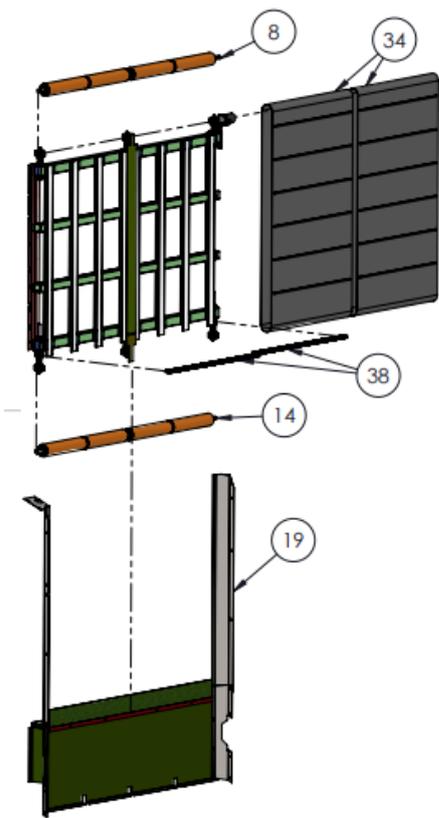
9 ANEXO A – LISTA DE PEÇAS DA CAÇAMBA

ITEM	NOME DA PEÇA	MATERIAL	PESO (kg)	AREA (m²)	QTD.	ITEM	NOME DA PEÇA	MATERIAL	PESO (kg)	AREA (m²)	QTD.
1	XXXXX - CACAMB - 2020 - 01 - R0	ASTM A36 Aço	119.49	6.45	2	19	XXXXX - CACAMB - 2020 - 19 - R0	ASTM A36 Aço	11.48	0.64	3
2	XXXXX - CACAMB - 2020 - 02 - R0	ASTM A36 Aço	18.77	1.61	2	20	XXXXX - CACAMB - 2020 - 20 - R0	AISI 1020	40.35	3.93	1
3	XXXXX - CACAMB - 2020 - 03 - R0	ASTM A36 Aço	96.66	8.24	1	21	XXXXX - CACAMB - 2020 - 21 - R0	AISI 1020	1.40	0.18	2
4	XXXXX - CACAMB - 2020 - 04 - R0	AISI 1020	77.81	6.60	1	22	XXXXX - CACAMB - 2020 - 22 - R0	AISI 1020	72.85	7.00	1
5	XXXXX - CACAMB - 2020 - 05 - R0	AISI 1020	81.41	6.90	2	23	XXXXX - CACAMB - 2020 - 23 - R0	AISI 1020	14.13	1.15	1
6	XXXXX - CACAMB - 2020 - 06 - R0	ASTM A36 Aço	14.06	0.72	3	24	XXXXX - CACAMB - 2020 - 24 - R0	AISI 1020	0.83	0.05	2
7	XXXXX - CACAMB - 2020 - 07 - R0	ASTM A36 Aço	0.34	0.02	3	25	XXXXX - CACAMB - 2020 - 25 - R0	ASTM A36 Aço	32.65	1.78	2
8	XXXXX - CACAMB - 2020 - 08 - R0	ASTM A36 Aço	20.09	1.11	1	26	XXXXX - CACAMB - 2020 - 26 - R0	ASTM A36 Aço	24.13	0.80	2
9	XXXXX - CACAMB - 2020 - 09 - R0	ASTM A36 Aço	15.78	0.88	1	27	XXXXX - CACAMB - 2020 - 27 - R0	AISI 1020	4.48	0.10	2
10	XXXXX - CACAMB - 2020 - 10 - R0	ASTM A36 Aço	4.01	0.18	3	28	XXXXX - CACAMB - 2020 - 28 - R0	AISI 1020	1.20	0.03	2
11	XXXXX - CACAMB - 2020 - 11 - R0	ASTM A36 Aço	2.01	0.17	3	29	XXXXX - CACAMB - 2020 - 29 - R0	AISI 1020	3.65	0.09	2
12	XXXXX - CACAMB - 2020 - 12 - R0	ASTM A36 Aço	25.56	1.41	2	30	XXXXX - CACAMB - 2020 - 30 - R0	AISI 1020	2.79	0.08	8
13	XXXXX - CACAMB - 2020 - 13 - R0	ASTM A36 Aço	3.95	0.33	3	31	XXXXX - CACAMB - 2020 - 31 - R0	ASTM A36 Aço	29.49	1.58	1
14	XXXXX - CACAMB - 2020 - 14 - R0	ASTM A36 Aço	16.02	0.89	1	32	XXXXX - CACAMB - 2020 - 32 - R0	ASTM A36 Aço	2.39	0.06	2
15	XXXXX - CACAMB - 2020 - 15 - R0	AISI 1020	77.74	7.45	1	33	XXXXX - CACAMB - 2020 - 33 - R0	AISI 1020	1.97	0.08	2
16	XXXXX - CACAMB - 2020 - 16 - R0	AISI 1020	56.15	4.76	1	34	XXXXX - CACAMB - 2020 - 34 - R0	AISI 1020	0.12	0.01	2
17	XXXXX - CACAMB - 2020 - 17 - R0	AISI 1020	32.98	3.17	1	35	XXXXX - CACAMB - 2020 - 35 - R0	AISI 1020	8.10	0.66	1
18	XXXXX - CACAMB - 2020 - 18 - R0	ASTM A36 Aço	10.72	0.60	2	36	XXXXX - CACAMB - 2020 - 36 - R0	AISI 1020	0.66	0.03	3

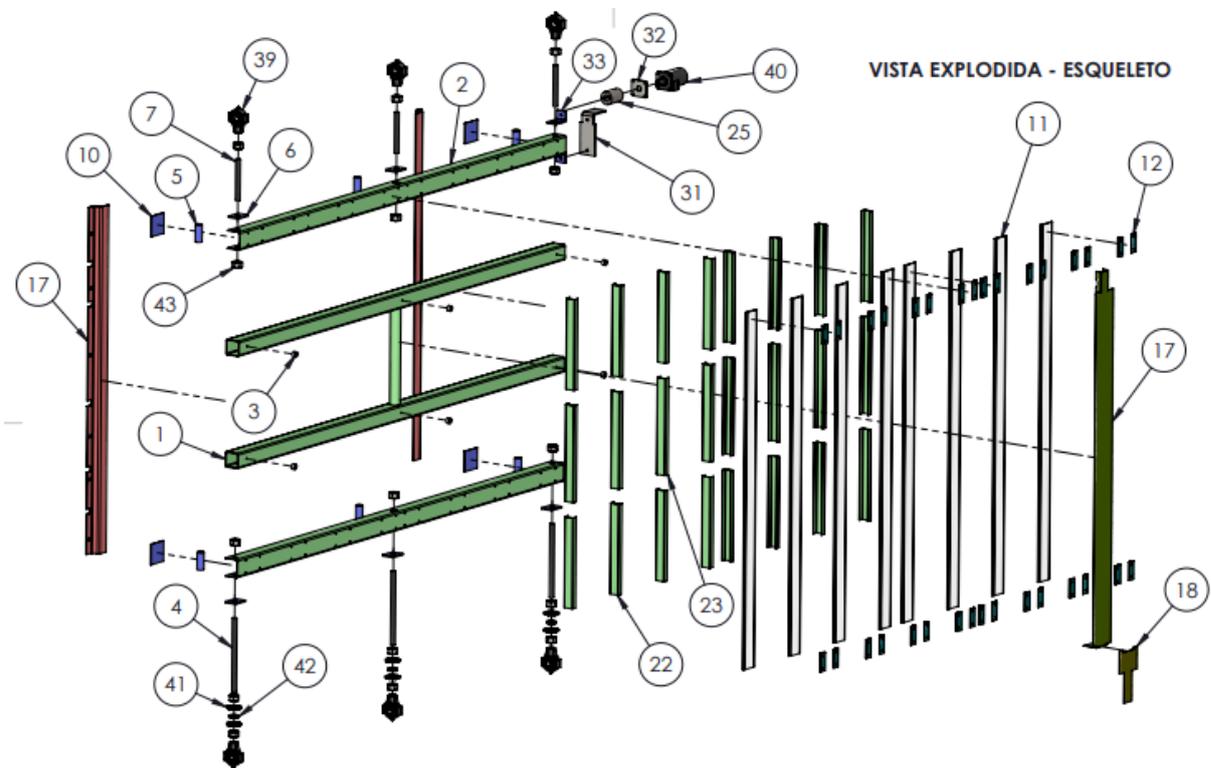
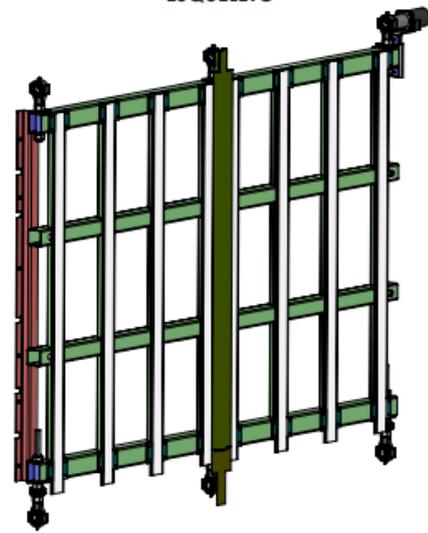


10 ANEXO B – LISTA DE PEÇAS DA ESTEIRA

ITEM	NOME DA PEÇA	MATERIAL	PESO (kg)	AREA (m²)	QTD.	AREA DE CORTE (m²)	ESPESSURA (mm)
1	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 01 - R0	AISI 1020	35.62	3.08	1		-
2	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 02 - R0	AISI 1020	13.55	1.16	2	0.58	3.00
3	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 03 - R0	PVC Rígido	0.01	0.00	6		-
4	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 04 - R0	AISI 1045 Aço, trefilado	1.10	0.03	3		-
5	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 05 - R0	AISI 1020	0.23	0.02	6		-
6	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 06 - R0	AISI 1020	0.22	0.01	5	0.005	6.35
7	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 07 - R0	AISI 1045 Aço, trefilado	0.61	0.01	3		-
8	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 08 - R0	AISI 1020	16.64	0.27	1		-
9	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 09 - R0	AISI 1020	8.41	0.47	1E 1D	0.22	4.75
10	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 10 - R0	AISI 1020	0.38	0.02	4	0.01	4.75
11	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 11 - R0	PVC Rígido	1.46	0.34	8		-
12	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 12 - R0	AISI 1020	0.05	0.01	12	0.003	2.00
13	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 13 - R0	AISI 1020	0.03	0.00	24	0.003	2.00
14	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 14 - R0	AISI 1020	7.51	0.40	8		-
15	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 15 - R0	AISI 1045 Aço, trefilado	1.94	0.04	4		-
16	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 16 - R0	AISI 1020	1.21	0.03	8		-
17	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 17 - R0	AISI 1020	4.10	0.53	1	0.27	2.00
18	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 18 - R0	AISI 1020	0.37	0.05	1	0.04	2.00
19	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 19 - R0	AISI 1020	4.19	0.89	1	0.45	1.20
20	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 20 - R0	AISI 1020	4.19	0.89	1	0.44	1.2
21	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 21 - R0	AISI 1020	1.50	0.32	1E 1D	0.19	1.20
22	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 22 - R0	AISI 1020	0.66	0.09	16		-
23	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 23 - R0	AISI 1020	0.70	0.09	8		-
24	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 24 - R0	AISI 1020	41.01	5.21	1	2.42	2.00
25	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 25 - R0	AISI 1045 Aço, trefilado	1.63	0.04	1		-
26	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 26 - R0	AISI 1020	2.28	0.20	1	0.09	3.18
ITEM	NOME DA PEÇA	MATERIAL	PESO (kg)	AREA (m²)	QTD.	AREA DE CORTE (m²)	ESPESSURA (mm)
27	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 27 - R0	Borracha de silicone	2.99	0.99	1	0.48	5.00
28	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 28 - R0	AISI 1020	0.99	0.13	3	0.06	2.00
29	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 29 - R0	AISI 1020	0.26	0.02	3		-
30	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 30 - R0	AISI 1020	0.65	0.03	3		-
31	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 31 - R0	AISI 1020	1.10	0.05	1	0.02	6.35
32	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 32 - R0	AISI 1020	0.30	0.02	1	0.01	6.35
33	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 33 - R0	AISI 1020	0.28	0.01	2	0.01	6.35
34	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 34 - R0	Borracha de silicone	26.58	10.40	2		4
35	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 35 - R0	AISI 1020	0.48	0.06	1	0.04	2.00
36	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 36 - R0	AISI 1045 Aço, trefilado	0.66	0.02	8		-
37	XXXXX - ESTCAÇ - 2020 - 37 - R0	AISI 1020	16.45	0.27	1		-
38	MANCAL UCEHE206		0.16	0.05	6		-
39	CORRENTE 2,80 m ASA40		0.24	0.43	2		-
41	MOTOR DA ESTEIRA		0.82	0.06	1		-
42	ENGRENAGEM DENTES ASA40 - 15		0.02	0.01	6		-
43	ARRUELA LISA 7/8"				9		-
44	PORCA SEXTAV. 1" x 12		0.03		15		-



ESQUELETO



VISTA EXPLODIDA - ESQUELETO