

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

FERNANDO HENRIQUE RAUBER

**DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO DE ARTICULAÇÃO DE TUBO
DESCARREGADOR DE COLHEITADEIRAS DE CEREAIS**

**CASCADEL – PR
2020**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

FERNANDO HENRIQUE RAUBER

**DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO DE ARTICULAÇÃO DE TUBO
DESCARREGADOR DE COLHEITADEIRAS DE CEREAIS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: Me. Carlos Alberto Breda.

**CASCADEL - PR
2020**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
FERNANDO HENRIQUE RAUBER**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO DE ARTICULAÇÃO DE TUBO
DESCARREGADOR DE COLHEITADEIRAS DE CEREAIS**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Me. Carlos Alberto Breda.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora Professor Geovane Pinheiro
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenharia Mecânica

Professor Rogério Ludgero
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 01 de julho de 2020.

Dedico este trabalho aos meus pais, Elisete e Mauro, meus maiores exemplos para a vida e também a todos familiares, amigos e professores que estiveram próximos e me apoiaram durante minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter proporcionado momentos de alegria e aprendizado por sempre ter me guiado nos momentos difíceis e de necessidade.

Aos meus pais Mauro e Elisete que sempre me apoiaram nos momentos difíceis e fizeram de tudo para que eu me qualifica-se e me prepara-se para os desafios da vida.

Ao meu professor orientador Carlos Alberto Breda que com sua paciência e conhecimento foi fundamental para a elaboração deste trabalho.

A todos meus amigos que contribuíram diretamente e indiretamente para a construção desse trabalho.

RESUMO

Os fabricantes de colheitadeiras agrícolas estão sempre desenvolvendo modelos com maior capacidade e com dimensões maiores afim de atender as demandas do mercado o que gera alguns problemas em certos componentes, como o tubo descarregador, devido a suas grandes dimensões, está constantemente sob risco de ser danificado em manobras próximas a obstáculos presentes na lavoura e aumenta significativamente o espaço de armazenagem da colheitadeira. Assim, um mecanismo capaz de deslocar parte do tubo descarregador para uma posição mais próxima ao corpo da colheitadeira sendo assim mais favorável pois reduz os riscos de colisão durante a operação ou transporte e reduz o espaço necessário para armazenagem é uma boa solução para o problema. A metodologia adotada foi de uma pesquisa exploratória, e terá uma abordagem quanti/quali, qualitativa referente à eficácia do mecanismo, se o mesmo cumpre o requisito de reduzir as dimensões ocupadas pela colheitadeira e quantitativa para obtenção das variáveis que influenciam no dimensionamento do mecanismo de articulação. O mecanismo apresentado no trabalho possibilita um deslocamento de 90° de um segmento do tubo descarregador aproximando o segmento do corpo da colheitadeira e torna possível reduzir o comprimento total da colheitadeira de 11,80 metros para 9,01 metros, gerando uma redução 2,79 metros e com um custo de produção de aproximadamente R\$ 2.326,10. Através do uso de softwares de CAD produziu-se um protótipo virtual do mecanismo e foi possível simular o seu funcionamento corrigir falhas sem a produção de protótipos físicos, e com uso de softwares de CAE usando simulações em elementos finitos foi possível otimizar o protótipo e garantir a sua resistência para as cargas estipuladas.

Palavras-chave: Colheitadeiras agrícolas. Sistemas de transportes de grãos. Mecanismos de transmissão de potência.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Primeira colheitadeira do Brasil.....	19
FIGURA 2: Tubo de descarga articulado.....	21
FIGURA 3: Vista explodida do acoplamento do eixo do helicóide.....	23
FIGURA 4: Rosca transportadora com atuador hidráulico na articulação.....	34
FIGURA 5: Rosca transportadora com atuador elétrico na articulação.....	35
FIGURA 6: Desenho técnico componente fixo da rosca transportadora.....	37
FIGURA 7: Desenho técnico componente móvel da rosca transportadora.....	38
FIGURA 8 : Desenho peça A.....	39
FIGURA 9: Desenho peça B.....	39
FIGURA 10: Condições de contorno peça A.....	41
FIGURA 11: Tensão von misses peça A.....	42
FIGURA 12: Deslocamento peça A.....	43
FIGURA 13: Fator de segurança peça A.....	44
FIGURA 14: Condições de contorno peça B.....	45
FIGURA 15: Tensão Von Misses peça B.....	46
FIGURA 16: Deslocamento peça B.....	47
FIGURA 17: Fator de segurança peça B	48
FIGURA 18: Dimensões s670.....	50
FIGURA 19: Comprimento mecanismo quando articulado.....	51
FIGURA 20: Calha externa móvel.....	51
FIGURA 21: Acoplamentos e articulação da calha	52
FIGURA 22: Condições de contorno articulação da calha.....	53

FIGURA 23: Tensão Von Misses articulação da calha.....	54
FIGURA 24: Deslocamento na articulação da calha.....	55
FIGURA 25: Fator de segurança na articulação da calha.....	56
FIGURA 26: Atuador elétrico.....	57
FIGURA 27: Acoplamentos, articulação da calha e componentes do atuador.....	58
FIGURA 28: Condições de contorno componentes do sistema do atuador 1.....	59
FIGURA 29: condições de contorno componentes do sistema do atuador parte 2..	60
FIGURA 30: Tensão no sistema do atuador parte 1.....	60
FIGURA 31: Tensão no sistema do atuador parte 2.....	61
FIGURA 32: Deslocamento no sistema do atuador parte 1.....	62
FIGURA 33: Deslocamento no sistema do atuador parte 2.....	62
FIGURA 34: Fator de segurança no sistema do atuador parte 1.....	63
FIGURA 35: fator de segurança no sistema do atuador parte 2	64
FIGURA 36: Vista explodida componentes do sistema 1	65
FIGURA 37: Vista explodida componentes do sistema	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre Inclinação da rosca e fator redutor.....	29
Tabela 2: Coeficiente de esforço A.....	30
Tabela 3: Peso específico e coeficiente de esforço B.....	33
Tabela 4: Dados técnicos S670.....	36
Tabela 5: Características mecânicas metais.	40
Tabela 6: Massa dos componentes	49
Tabela 7: Custo de produção	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD – Computer Aided Design

CAE – Computer Aided Engineering.

MEF – Método dos elementos finitos.

SLC – Schneider Logemann & Cia.

M – Metros.

MM – Milímetros.

RPM – Rotações por minuto.

T/H – Toneladas por hora.

N/M – Newton por metro.

N/M² – Newton por metro quadrado.

N/MM² – Newton por milímetro quadrado.

CV – Cavalos vapor.

Pa – Pascal.

P – Potência absorvida pela rosca .

N– Rotação da rosca .

Q – Capacidade da rosca .

L – Comprimento da rosca.

A – Coeficiente de esforço (tabela 2).

B – Coeficiente de esforço (tabela 3).

CS – Coeficiente de Segurança.

σ_{adm} – Tensão admissível.

$\sigma_{atuante}$ – Tensão máxima gerada pelas cargas na estrutura.

σ – Tensão atuante.

M – Momento de Inércia.

C – Distância do centro do perfil até a aresta mais afastada.

E – Módulo de elasticidade do material.

I – Momento de inércia do perfil.

KGF – Kilograma força.

Q_i = capacidade de transporte inclinada da rosca.

Q= capacidade de transporte horizontal da rosca.

V= fator de redução de capacidade.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Capacidade de transporte inclinada.....	19
Equação 2: Potência do eixo do helicóide.....	19
Equação 3: Tensão Atuante em um Perfil.....	21
Equação 4: Flecha máxima em um Perfil.....	21
Equação 5: Coeficiente de Segurança.....	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos	15
1.2. JUSTIFICATIVAS	15
1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.3. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. COLHEITADEIRAS COMBINADAS.	18
2.2. TUBO DESCARREGADOR.....	19
2.3. TUBO DESCARREGADOR ARTICULADO	21
2.4. EMBREAGENS POSITIVAS	23
2.5. COEFICIENTE DE SEGURANÇA.....	24
2.6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO	24
2.7 CHAPAS METÁLICAS.....	25
3 METODOLOGIA	27
3.1. PESQUISA E RELEVÂNCIA	27
3.2. COLETA DE DADOS SOBRE A GEOMETRIA	27
3.3. FATOR DE SEGURANÇA.....	28
3.4 DETERMINAÇÃO DAS CARGAS.	29
3.5 MODELAMENTO E SIMULAÇÃO DOS COMPONENTES.	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1 ANALISÉ DOS DISPOSITIVOS EXISTENTES NO MERCADO.....	33
4.1.1 Atuadores hidráulicos.....	33
4.1.2 Atuadores elétricos	34

4.2 ACOPLAMENTOS DO HELICÓIDE	35
4.2.1 Determinação dos esforços no acoplamento do helicoide	35
4.2.2 Modelamento do acoplamento da rosca transportadora.	37
4.2.3 Validação dos componentes utilizando MEF	39
4.2.4 Condições de contorno peça A	40
4.2.5 Tensão (von misses) peça A.....	41
4.2.6 Deslocamentos peça A	42
4.2.7 Fator de segurança peça a	43
4.2.8 Condições de contorno peça B	44
4.2.9 Tensão (von misses) peça B.....	45
4.2.10 Deslocamentos peça B	46
4.2.11 Fator de segurança peça b	47
4.3 A ARTICULAÇÃO DA CALHA EXTERNA	48
4.3.1 Determinação dos esforços na articulação da calha externa	48
4.3.2 Modelamento da articulação da calha externa.....	49
4.3.3 Validação dos componentes utilizando MEF	53
4.3.4 Tensão na articulação da calha externa (von misses)	53
4.3.5 Deslocamento na articulação da calha externa	54
4.3.6 Fator de segurança na articulação da calha externa	55
4.4 ATUADOR DA ARTICULAÇÃO.....	56
4.4.1 Determinação dos esforços no atuador da articulação.	56
4.4.2 Modelamento dos componentes do sistema do atuador.....	57
4.4.3 Validação dos componentes usando MEF	58
4.4.4 Condições de contorno componentes do sistema do atuador	58
4.4.5 Tensão no sistema do atuador.....	60
4.4.6 Deslocamento no sistema do atuador.....	61
4.4.7 Fator de segurança no sistema do atuador.....	63
5. CONCLUSÃO.	68
5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1. INTRODUÇÃO

A colheita de cereais envolve as etapas de corte, alimentação, trilha, separação e limpeza (FILHO e SANTOS, 2001), a colheitadeira possui um tanque graneleiro, quando cheio o operador da colheitadeira libera o tubo descarregador que consiste em uma rosca transportadora localizada na lateral da máquina que se desloca até a posição de descarga. Neste momento os grãos podem ser transportados até o caminhão ou reboque transportador de grãos. O problema surge em manobras próximas a árvores, postes e durante a armazenagem pelas dimensões que o tubo descarregador possui atualmente.

Um dispositivo capaz de promover um fácil deslocamento da parte do tubo descarregador que ultrapassa os limites do corpo para uma posição mais adequada que reduza os riscos de danos durante a operação e que reduza o espaço necessário para armazenar a colheitadeira se mostra uma boa solução para os problemas listados. A proposta do trabalho é o desenvolvimento de um modelo de mecanismo será necessária a produção do modelo do mecanismo utilizando software de CAD e posteriormente com a simulação dos componentes utilizando software de elementos finitos afim de validar os seus componentes.

Este projeto poderá ser utilizado na otimização do trabalho de colheitadeiras de cereais, colhedora ou ceifadeira podendo ser também utilizado em novas máquinas. Consequentemente, trazendo praticidade e segurança operacional.

A metodologia adotada nesta pesquisa se trata de uma revisão bibliográfica com base principalmente nos autores (Milman M. J., SILVA J. S., Filho S.G.A.; Santos J.E.G.G.) e por meio de consultas a livros, manuais técnicos, artigos, sites confiáveis. Os descritos desta pesquisa são colheitadeiras agrícolas, sistemas de transportes de grãos e mecanismos de transmissão de potência.

O trabalho está dividido conforme as etapas de realização da pesquisa e com os objetivos específicos estipulados, afim de garantir que os dados coletados e os processos realizados sejam demonstrados da maneira mais efetiva.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Dimensionar um dispositivo capaz de realocar a parte do tubo descarregador que ultrapassa o corpo da colheitadeira, para uma posição mais próxima ao corpo da colheitadeira assim reduzindo os riscos de o tubo descarregador ser danificado durante o trabalho e que reduza o espaço necessário para armazenagem da colheitadeira.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar os semelhantes sistemas disponíveis no mercado.
- Produzir um modelo em CAD de um protótipo do dispositivo que cumpra com o objetivo geral.
- Comprovar a resistência dos componentes do mecanismo através de softwares de CAE.
- Realizar um orçamento para a produção do protótipo.

1.2. JUSTIFICATIVAS

O tubo descarregador, devido a suas grandes dimensões, está constantemente sob risco de ser danificado em manobras próximas a árvores, linhas de energia ou outros equipamentos presentes na lavoura. O processo de remoção manual da parte do tubo descarregador que se projeta além do corpo da máquina se mostra perigoso aos envolvidos devido ao peso do componente e suas dimensões, além de gerar riscos de danos aos componentes envolvidos e levar um tempo considerável do trabalho produtivo.

Assim, um mecanismo capaz de deslocar esta parte excedente do tubo descarregador para uma posição mais favorável que reduza os riscos de colisão durante a operação ou transporte, sem que seja necessário a retirada manual do componente facilitaria muito o trabalho dos trabalhadores envolvidos na colheita além de eliminar um processo que traz riscos à segurança no trabalho, conforme normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho.

Através da pesquisa dos mecanismos existentes no mercado adotados pela indústria e considerando as especificações técnicas obtidas em campo e manuais de uma colheitadeira, será possível projetar o mecanismo. O dimensionamento dos componentes será feito através de material e publicações sobre roscas transportadoras e mecanismos de transporte de grãos além de material e publicações sobre dimensionamento de estruturas metálicas.

1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como dimensionar um mecanismo capaz de realizar a articulação do tubo descarregador de colheitadeiras de cereais?

1.3. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Neste trabalho será desenvolvido um dispositivo que irá atuar como uma articulação do tubo descarregador, alterando ao mínimo as características originais dos componentes envolvidos, como este componente varia muito nas diversas colheitadeiras disponíveis no mercado, será desenvolvido um protótipo para o modelo de colheitadeira S670 padrão sul americano produzido pela John Deere. Este modelo foi selecionado pois é um dos equipamentos mais vendido no Brasil e o problema do comprimento de tubo é muito pronunciado neste equipamento. Para isto, serão coletadas informações como:

- Especificações técnicas do equipamento disponíveis em catálogos, sites ou coletadas diretamente do equipamento.
- Especificações de equipamento semelhantes disponíveis no mercado.
- Normas para dimensionamento de roscas transportadoras.
- Informações sobre modelagem software CAD.
- Informações sobre simulações estruturais com software CAE.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. COLHEITADEIRAS COMBINADAS.

Um dos equipamentos que é elemento fundamental na agricultura de precisão e na mecanização agrícola são as colheitadeiras automotrizes. Segundo artigo de Filho e Santos (2001) colheitadeiras combinadas são máquinas auto propelidas, destinadas a realizar o último processo na produção agrícola e que conseguem realizar todas as etapas do processo de colheita por meios próprios, estas etapas seriam corte, alimentação, trilha, separação e limpeza, sendo que possuem modificações para realizar a colheita de cada cultura.

A primeira máquina com o conceito básico de uma colheitadeira foi patenteada em 1834 por Hiram More. Inicialmente as colheitadeiras utilizavam tração animal, mulas ou carros de boi para se locomoverem e rodas simples para produzir força. Com o avanço da mecanização agrícola surgiram as colheitadeiras acopladas aos tratores utilizando a tomada de força do trator para produzir força, posteriormente surgiram as colheitadeiras combinadas, que eram equipamentos com propulsão própria dedicados apenas a colheita, inicialmente utilizavam motores a gasolina e a gás e evoluíram até os modelos atuais que utilizam motores a Diesel. As colheitadeiras combinadas foram evoluindo com os avanços da tecnologia e da mecanização agrícola e foram criados diversos modelos adaptados para a colheita de diversas culturas.

Conforme o relato de (Guimarães, 2002) há 40 anos foi produzida a primeira colheitadeira autopropulsada no Brasil, lançamento da colheitadeira SLC modelo 65-A, fabricada em Horizontina-RS, foi feito no dia 5 de novembro de 1965. O equipamento produzido pela empresa gaúcha Schneider Logemann & Cia, teve seu projeto inspirado no modelo 55 da John Deere.



Figura 1: Primeira colheitadeira do Brasil

(Fonte: Lexicar Brasil)

2.2. TUBO DESCARREGADOR

Com a evolução dos equipamentos e a adoção de novas tecnologias as colheitadeiras se tornaram cada vez maiores, os sistemas e mecanismos cada vez mais eficientes que foram desenvolvidos possibilitaram a utilização de plataformas cada vez maiores que permitem que uma maior área seja colhida em menos tempo, afim de garantir a segurança no processo de descarga os tubos descarregadores ficaram mais compridos, chegando ao ponto de se projetarem para fora do corpo da máquina. O tubo descarregador é basicamente uma rosca transportadora conforme define (SILVA, 2008), uma rosca sem fim ou transportador helicoidal consiste em um equipamento que realiza o transporte de materiais granulares ou farelos, e é constituído basicamente por um condutor estacionário (calha ou tubo) e um helicóide com movimento rotativo. O material entra por uma das extremidades da calha e é deslocado pelo helicóide.

Para a determinação das cargas atuantes no eixo do helicóide podemos utilizar as equações referentes ao dimensionamento de transportadores helicoidais, através da coleta de informações do manual sobre a capacidade de descarga e sobre as condições de trabalho dos componentes envolvidos.

Para a determinação da potência transmitida é necessário o cálculo da capacidade de transporte horizontal, que pode ser obtida pela equação (1) (Milman, 2002).

$$Q_i = Q * v \quad (1)$$

Q_i = capacidade de transporte inclinada da rosca (toneladas/ hora)

Q = capacidade de transporte horizontal da rosca (toneladas/hora)

V = fator de redução de capacidade (adimensional, tabela 1)

Podemos encontrar a potência transmitida no eixo através da equação (2) (Milman, 2002).

$$P = 0.004(A * N + B * Q) * L \quad (2)$$

P = potência absorvida pela rosca (cv)

N = rotação da rosca (rpm)

Q = capacidade da rosca em (t/h)

L = comprimento da rosca (m)

A = coeficiente de esforço (tabela 2)

B = coeficiente de esforço (tabela 3)

A partir da Potência calculada e através da análise dos mecanismos utilizados no mercado podemos produzir os protótipos dos componentes do acoplamento do eixo do helicóide em um software de CAD e assim verificar possíveis interferências. Softwares de CAD permitem a modelagem de componentes de forma tridimensional, obtenção de desenho bidimensional, montagem de conjuntos de

componentes e interligação de diversos programas para estudo cinemático e dinâmico. (VALÉRIO, BRITO e SOUZA, 2010).

2.3. TUBO DESCARREGADOR ARTICULADO

Um meio muito utilizado pelos fabricantes de colheitadeiras para reduzir os riscos associados a dimensão do tubo descarregador é a realocação de certa parte do tubo utilizando um tubo descarregador com uma articulação móvel conforme descrito por (Reimer e Claerhout, 2006) Um tubo de descarga articulado para colheitadeiras agrícolas é constituído por um eixo interno com um helicoide e uma calha externa articulados rotativamente, sendo que o tubo é móvel movendo-se entre uma posição desdobrada quando a articulação posiciona ambas as partes do tubo de forma paralela permitindo o funcionamento do tubo descarregador e uma posição dobrada colocando as partes do tubo descarregador de forma perpendicular.

O deslocamento do tubo entre as posições dobrado e desdobrado geralmente é feito com auxílio de atuadores hidráulicos ou elétricos conectados a calha externa do tubo descarregador.

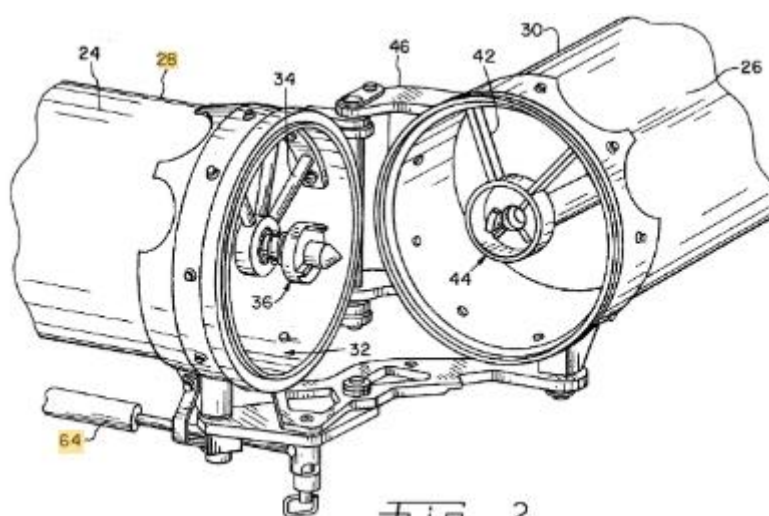


Figura 2: Tubo de descarga articulado.

(Fonte: Google patentes)

Na figura acima é possível ver o tubo de descarga articulado em posição dobrado e identificar ambas secções do tubo descarregador. É possível identificar também os componentes da articulação, o atuador, o mecanismo que converte o movimento linear do atuador em movimento de rotativo e também os suportes dos eixos.

Para o dimensionamento dos componentes da articulação precisamos inicialmente estimar os esforços que serão exercidos no sistema, isto pode ser feito através de um diagrama de corpo livre. A resistencia dos componentes podera ser comprovada utilizando software de elementos finitos ou equações clássicas encontradas em (BUDYNAS e NISBET, 2011) como a equação 3 usada para verificar a tensão atuante e a equação 4 usada para verificar a flecha máxima dos componentes.

$$\sigma = \frac{(M * c)}{I} \quad (3)$$

σ = Tensão atuante. (N/m²)

M = Momento de Inércia. (N/m)

c = Distância do centro do perfil até a aresta mais afastada. (m)

I = Momento de Inércia. (m⁴)

$$flecha\ máxima = -\frac{P * L^3}{48 * E * I} \quad (4)$$

P = Pressão aplicada no perfil (N).

L = comprimento do perfil (m)

E = Módulo de elasticidade do material (Pa)

I = Momento de inércia do perfil (m⁴)

2.4. EMBREAGENS POSITIVAS

Na parte do eixo uma espécie de embreagem positiva é utilizada para realizar o acoplamento dos eixos que compõem o helicóide, engrenagens positivas são um dos meios utilizados para conectar eixos, e tem a característica de não deslizarem, não gerarem calor, não poderem ser acopladas a altas velocidades, dificilmente podem ser acopladas com ambos os eixos em repouso e o engate a qualquer velocidade gera choque, são utilizadas quando se exige operação síncrona dos eixos (BUDYNAS e NISBETT, 2011). Para garantir que o acoplamento seja feito da melhor forma possível, geralmente são adotados diversos recursos como molas, guias e suportes com rolamentos.

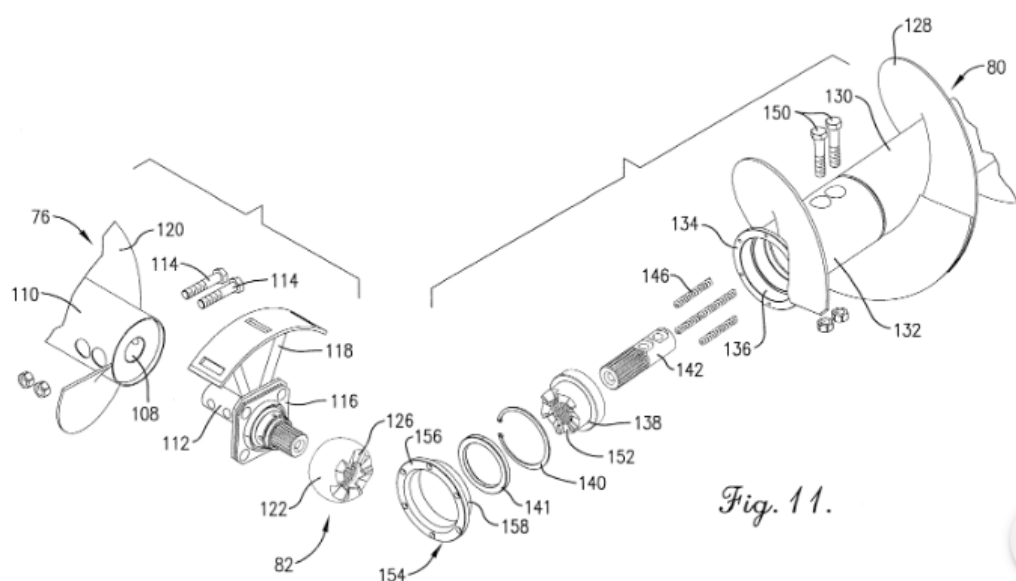


Figura 3: Vista explodida do acoplamento do eixo do helicóide

(Fonte: Google patentes)

Na figura acima estão representados os componentes que possibilitam a articulação do eixo do helicóide. É possível identificar acoplamentos mecânicos, molas, o mancal de suporte, componentes do eixo e componentes de fixação.

Os fabricantes de colheitadeiras agrícolas adotam os mais diversos mecanismos de articulação que se diferem no mecanismo de acoplamento e de articulação, adaptando-se as necessidades de cada equipamento.

2.5. COEFICIENTE DE SEGURANÇA

Para garantir que os componentes de um sistema funcionem de forma segura, durante a fase de projeto é estipulado um coeficiente de segurança mínimo, o coeficiente de segurança é a relação entre a tensão admissível do projeto que pode ser a de escoamento do material e a tensão devido as cargas nos elementos, como pode ser visto na equação (1) (BUDYNAS e NISBET, 2011). Segundo (Grigoletto M. W.) o coeficiente de segurança se baseia em prever o comportamento sob cargas específicas, para que os componentes sejam projetados de forma segura e econômica, um coeficiente alto pode gerar um projeto antieconômico e um coeficiente baixo pode resultar em falhas dos componentes.

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{atuante}} \quad (5)$$

CS - Coeficiente de Segurança.

σ_{adm} - Tensão admissível.

$\sigma_{atuante}$ - Tensão máxima gerada pelas cargas na estrutura.

2.6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Para avaliar o esforço de desenvolvimento de um produto podemos considerar 5 fatores que convergirão no lucro final e viabilidade do projeto, eles são a qualidade do produto, custo do produto, tempo de desenvolvimento, custo do desenvolvimento e o aprendizado do desenvolvimento (ULRICH e EPPINGER, 1995).

Como o objetivo do projeto é elaborar um mecanismo de articulação que seja economicamente viável e que as características originais do equipamento sejam preservadas ao máximo devemos optar por matérias e processo de fabricação mais economicamente viáveis também, porém, estes devem atender as exigências do projeto.

Como processo de fabricação que provavelmente será utilizado podemos citar os processos de conformação mecânica, como define (Filho, Silva, Batalha e Button, 2011) é um processo onde a geometria da matéria prima é alterada até as dimensões desejadas, as modificações de forma são provocadas pela aplicação de tensões externas geralmente inferiores as tensões limites de ruptura, e às vezes em altas temperaturas, mas sem a liquefação do metal. Existem diversas máquinas que executam processos de conformação como dobradeiras, calandras, prensas para forjamento entre outros.

Outro processo importante é a usinagem que podemos definir como uma operação que confere à peça forma, dimensões ou acabamento superficial através da remoção mecânica de material, a remoção é feita através da interação entre a peça e a ferramenta de corte. Segundo a DIN 8580, usinagem define todos os processos de fabricação onde ocorre a remoção de material sob a forma de cavaco. Para execução da usinagem geralmente é utilizado um torno mecânico ou uma fresadora.

2.7 CHAPAS METÁLICAS

As chapas metálicas são matéria prima para diversas aplicações na indústria e são formadas a partir de um processo chamado laminação. A laminação de uma peça consiste na passagem desta por dois cilindros que giram, de forma a reduzir a sua área de secção transversal (Helman e Horácio, 2005).

Comercialmente são produzidos diversos tipos de chapas metálicas com diferentes espessuras e materiais, porém, algumas merecem destaque pois são mais utilizadas.

- Chapa laminada a quente e chapa laminada a frio;

Semelhantes na composição, porém o processo de produção de ambas é diferente, sendo que na laminação a quente o material é aquecido acima de 900°C antes da laminação e na laminação a frio não. Segundo (DIETER, 1981) Na laminação a quente os cristais começam a se reconstituir após deixar a zona de tensão, mas na

laminação a frio eles mantêm a forma alongada, obtida pela ação dos cilindros. A laminação a quente permite grande redução de espessura, a força necessária para laminação é menor, resulta em baixa qualidade de acabamento superficial e resulta em tolerâncias dimensionais largas, pode ser utilizado antes da laminação a frio.

- Chapa preta

Chapa Preta é a Chapa de aço que não sofreu nenhum tratamento após a laminação, como seja jato abrasivo, galvanização, etc.

- Chapa galvanizada

Chapa galvanizada é a chapa que passou por galvanização após a laminação. A galvanização é o processo de aplicação de uma camada protetora de Zinco ou ligas de Zinco esse processo tem o objetivo de proteger o material metálico da corrosão e melhorar a sua aparência.

- Chapa de inox

São chapas de aço com acréscimo de cromo na composição química do material, isso garante ao material resistência a corrosão superior ao processo de galvanização pois o cromo é misturado ao aço e na galvanização apenas ocorre a deposição de uma camada de ligas de zinco na superfície do metal. O aço inox também possui maior resistência a abrasão, porém possui um custo maior e a sua usinabilidade e soldabilidade são mais complexas se comparado a aços normais.

3 METODOLOGIA

3.1. PESQUISA E RELEVÂNCIA

A metodologia adotada nesta pesquisa se trata de uma pesquisa exploratória com base principalmente nos autores (Milman M. J., SILVA J. S., Filho S.G.A.; Santos J.E.G.G.) e por meio de consultas a livros, artigos, sites confiáveis. Os descritos desta pesquisa são colheitadeiras agrícolas, sistemas de transportes de grãos e mecanismos de transmissão de potência. Para a pesquisa serão utilizadas plataformas de pesquisas como o da Associação Brasileira de normas técnicas e por meio do Google patentes e acesso a blogs e repositórios de universidades e selecionados conteúdos que apresentam confiabilidade. Concomitantemente, será uma pesquisa exploratória afim de dimensionar um mecanismo de articulação para o tubo descarregador de uma colheitadeira John Deere S670, serão coletadas informações técnicas a respeito da colheitadeira que servirá de base para o estudo, utilizando para isto manuais técnicos, informações disponíveis no site do fabricante ou coletadas no próprio equipamento.

De abordagem quanti/quali, sendo quantitativa para obtenção das variáveis que influenciam no dimensionamento do mecanismo de articulação e para o dimensionamento do implemento. E qualitativa referente à eficácia do mecanismo se o mesmo cumpre o requisito de reduzir as dimensões ocupadas pela colheitadeira quando a articulação do tubo descarregador estiver na posição dobrado e de permitir o correto funcionamento do tubo descarregador quando a articulação estiver na posição desdobrado.

3.2. COLETA DE DADOS SOBRE A GEOMETRIA

O primeiro passo é a análise de sistemas de articulação utilizados pelos fabricantes de colheitadeiras, para executar esta tarefa será realizada uma pesquisa

em sites de diversos fabricantes, catálogos e documento de patentes afim de identificar quais as vantagens de cada um e quais aspectos ambos têm em comum. Esta tarefa terá como objetivo fornecer um conhecimento maior a respeito dos componentes que serão desenvolvidos e sob os critérios que teremos que analisar para o dimensionamento dos componentes

Após a coleta, será necessário o modelamento dos componentes do tubo descarregador em um software de desenho técnico como o Solid Works. Como a colheitadeira escolhida para o estudo foi o modelo S670 padrão Sul Americano produzido pela John Deere, as informações necessárias para o seu modelamento deverão ser obtidas em catálogos, manuais técnicos ou diretamente do equipamento disponível.

3.3. FATOR DE SEGURANÇA

Para garantir que os componentes do mecanismo funcionem de forma segura, será estipulado um coeficiente de segurança mínimo, o coeficiente de segurança é a relação entre a tensão admissível do projeto que pode ser a de escoamento do material e a tensão devido as cargas nos elementos, como pode ser visto na equação (1) (BUDYNAS e NISBET, 2011). Segundo (Grigoletto M. W.) o coeficiente de segurança se baseia em prever o comportamento sob cargas específicas, para que os componentes sejam projetados de forma segura e econômica, um coeficiente alto pode gerar um projeto antieconômico e um coeficiente baixo pode resultar em falhas dos componentes.

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{atuante}} \quad (5)$$

CS - Coeficiente de Segurança.

σ_{adm} - Tensão admissível.

$\sigma_{atuante}$ - Tensão máxima gerada pelas cargas na estrutura.

3.4 DETERMINAÇÃO DAS CARGAS.

O primeiro passo para a determinação das cargas atuantes no eixo do helicóide é a coleta de informações do manual sobre a capacidade de descarga e sobre as condições de trabalho dos componentes envolvidos.

Os dados fornecidos pelo fabricante se referem ao tubo descarregador em posição de trabalho estando a 15° em relação a horizontal, porém para a determinação da potência transmitida é necessário o cálculo da capacidade de transporte horizontal, que pode ser obtida pela equação 2 (Milman, 2002).

$$Q_i = Q * v \quad (1)$$

Q_i = Capacidade de transporte inclinado (t/h).

Q = capacidade de transporte horizontal (t/h).

v = fator redutor de capacidade (adimensional).

Tabela 1: Relação entre Inclinação da rosca e fator redutor

Inclinação em graus	v
5	0,95
10	0,90
15	0,7
20	0,55
30	0,33

(Fonte: Milman, 2002)

Após encontrar a capacidade de transporte horizontal podemos encontrar a potência necessária no eixo. Através da equação 2 (Milman, 2002). Também podemos usar esta equação para encontrar alterações na capacidade de descarga do tubo descarregador após a instalação do mecanismo caso sejam necessárias alterações no comprimento do tubo por exemplo.

$$P = 0.004(A * N + B * Q) * L \quad (2)$$

P = Potência (cv)

N= Rotação da rosca (rpm)

Q= Capacidade da rosca em (t/h)

L = Comprimento da rosca (m)

A = coeficiente de esforço (tabela 2)

B = coeficiente de esforço (tabela 3)

Tabela 2: Coeficiente de esforço A

DIÂMETRO (MM)	TIPO DE MANCAL		INTERMEDIÁRIO
	EXTERN	ROLAMENTO	METAL LUBRIFICADO
100		0,012	0,021
150		0,018	0,033
200		0,032	0,054
250		0,038	0,066
300		0,055	0,096
350		0,078	0,135
400		0,106	0,186
450		0,140	0,240
500		0,165	0,285
600		0,230	0,390

(Fonte: Milman, 2002)

Tabela 3: Peso específico e coeficiente de esforço B.

PRODUTO	PESO específico (t/m³)	Coeficiente B
ARROZ EM CASCA	0,56	0,8
SOJA	0,75	1,0
TRIGO	0,8	1,1

(Fonte: Milman, 2002)

Para o cálculo da potência transmitida precisamos conhecer a rotação da rosca transportadora do tubo descarregador, esta informação também pode ser obtida através do manual técnico.

3.5 MODELAMENTO E SIMULAÇÃO DOS COMPONENTES.

Para o dimensionamento da articulação será necessário o modelamento do tubo descarregador em software CAD, afim de facilitar o processo de desenho e diminuir as chances de erro. Caso não seja possível a obtenção de um tubo descarregador a massa do componente poderá ser estimada através do software de desenho, tendo em vista que o software oferece esta ferramenta.

Após encontrarmos a massa podemos estimar os esforços suportados pela articulação através da criação de um diagrama de corpo livre. Será feito um estudo afim de determinar qual o melhor meio de acionar o mecanismo de articulação. O dimensionamento deste mecanismo será feito com base no trabalho que deve executar e do cálculo da força de atrito entre os componentes que deverá ser vencida pelo atuador. Para a validação da estrutura da articulação será avaliado, onde é mais adequada a utilização de software de simulação CAE como Solid Works Simulation e onde é mais adequado utilizar equações matemáticas da mecânica clássica como a equação (4) (BUDYNAS e NISBET, 2011) usada para verificar a tensão atuante nos elementos.

$$\sigma = \frac{(M * c)}{I} \quad (3)$$

Onde

σ = Tensão atuante. (N/m²)

M = Momento de Inércia. (N/m)

c = Distância do centro do perfil até a aresta mais afastada. (m)

I = Momento de Inércia. (m⁴)

Equação (5) (BUDYNAS e NISBET, 2011) utilizada para verificar o deslocamento máximo dos componentes.

$$flecha\ máxima = -\frac{P * L^3}{48 * E * I} \quad (5)$$

P = Pressão aplicada no perfil (N).

L = comprimento do perfil (m)

E = Módulo de elasticidade do material (Pa)

I = Momento de inércia do perfil (m⁴)

Após encontrar os esforços que devem ser transmitidos pelo mecanismo e a determinação das cargas que este deve suportar podemos iniciar o modelamento dos componentes do mecanismo utilizando software de desenho técnico, através do software poderemos encontrar possíveis interferências durante o acoplamento e articulação do mecanismo e corrigir erros já na fase de projeto, nesta os componentes do mecanismo serão produzidos utilizando materiais de fácil acesso e processos de produção mais simples possíveis afim de reduzir o custo de produção ao máximo, sem comprometer a qualidade e confiabilidade do mecanismo.

Com o projeto finalizado será feito uma análise para identificar as interferências que o equipamento pode causar na colheitadeira e será solicitado um orçamento para estimar o custo de produção e a viabilidade do projeto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANALISÉ DOS DISPOSITIVOS EXISTENTES NO MERCADO

Devido à grande quantidade de empresas que atuam no segmento agrícola encontramos no mercado muitos exemplos de mecanismos que atuam como articulação de rosca transportadora, porém todos são compostos por três elementos principais sendo estes os acopladores da rosca transportadora, a articulação da calha externa e o atuador mecânico. Alguns projetos possuem componentes extras como molas, que tem o objetivo de facilitar o acoplamento dos componentes em certas ocasiões e também pinos fusíveis que se rompem em caso de sobrecarga do sistema para impedir a quebra de componentes mais importantes.

Podemos dividir os mecanismos de articulação em duas categorias os que possuem atuadores hidráulicos para realizar a movimentação e os que possuem atuadores elétricos.

4.1.1 Atuadores hidráulicos

Os atuadores hidráulicos são dispositivos que convertem a energia contida em um fluido hidráulico em energia mecânica, o movimento do atuador é controlado com base no volume de fluido hidráulico no seu interior, existem fluidos hidráulicos específicos para as mais diversas operações. A energia mecânica produzida pelo atuador pode ser usada para movimentar e transportar objetos.

A utilização de sistemas hidráulicos traz alguns riscos que devem ser considerados durante o projeto, eventuais vazamentos hidráulicos de fluidos a alta pressão podem causar lesões e problemas de saúde a pessoas próximas e contaminar o meio ambiente, além da necessidade periódica de substituição das mangueiras, o que gera um grande custo de manutenção. A troca periódica é

necessária, pois o rompimento destas pode gerar movimentos bruscos no sistema e colocar em risco a segurança de pessoas próximas (Automotion, 2019).

Os mecanismos que possuem atuadores hidráulicos são utilizados geralmente em situações de maior esforço, mangueiras hidráulicas são conectadas geralmente em um trator e é por meio dele que o atuador é controlado.



Figura 4: Rosca transportadora com atuador hidráulico na articulação

(Fonte: Implementos agrícolas, 2020)

4.1.2 Atuadores elétricos

Atuadores elétricos são motores elétricos que controla um mecanismo ou sistema através da transformação de energia elétrica em energia mecânica, de acordo como o modo com que aplica a força pode ser classificado como atuador rotativo ou atuador linear. Tem a vantagem de não usarem fluidos a alta pressão ou que podem contaminar o meio ambiente (Automotion, 2019).

Os mecanismos que possuem atuadores elétricos são utilizados em sistemas que não demandam tanto esforço, cabos elétricos são conectados ao

sistema elétrico da colheitadeira geralmente diretamente na bateria e podem ser utilizados sensores de fim de curso ao equipamento para que não haja necessidade de o operador acompanhar a operação do mecanismo. O custo do sistema com atuadores elétricos é inferior se comparado ao com atuadores hidráulicos por isso esse sistema é preferível



Figura 5: rosca transportadora com atuador elétrico na articulação

(Fonte: Class group)

4.2 ACOPLAMENTOS DO HELICÓIDE

4.2.1 Determinação dos esforços no acoplamento do helicóide

Um acoplamento mecânico foi criado para realizar a transmissão de potência entre as partes do helicóide, podemos encontrar a potência transmitida a partir da equação (2) e utilizando dados obtidos no manual da colheitadeira e no site do fabricante. O grão de referência que será utilizado é o de trigo pois este possui o maior peso específico dentre os grãos que são colhidos pela máquina, como pode ser

observado na tabela 3. Como a capacidade de transporte do sistema nesta situação pode ser obtida diretamente do fabricante não se faz necessário encontrar a capacidade de deslocamento do tubo descarregador por meio da equação 1

TABELA 4: Dados técnicos S670

SISTEMA DE DESCARGA S670	
SEM FIM EXTERNO DE DESCARGA	460 RPM
TAXA DE DESCARGA	135 L/Seg

(Fonte: Manual técnicos S670)

Potência no eixo

A = 0,012 considerando eixo com 100mm e diâmetro externo em rolamento.

B = 1,1 coeficiente B para trigo.

$$P = 0.004(A * N + B * Q) * L \quad (2)$$

$$P = 0,004 * [0,012 * 460 + 1,1 * (135 * 60 * 60 * 0,8) * 2.86] = 4,89CV$$

A = 0,012 considerando eixo com 100mm e diâmetro externo em rolamento.

Momento de torção

$$MT = 71620 * \frac{CV}{RPM} = KGF * CM$$

$$MT = 71620 * \frac{4.89}{460} = 761,35 Kgf * CM$$

$$MT = \frac{F}{D}$$

Força aplicada

D= 5,5 Cm corresponde a distância do centro dos acopladores até o local onde a contato entre os acopladores.

$$761.35 \text{ Kgf} * CM = \frac{F}{5,5 \text{ CM}}$$

$$F = 4187,425 \text{ KGF}$$

Fator de segurança

Para determinação do fator de segurança necessário analisou-se as características dos materiais utilizados e as solicitações mecânicas a quais o mecanismo será submetido, como os materiais utilizados na produção dos dispositivos são materiais dúcteis e vão ser submetidos a uma carga constante e gradualmente aplicada o coeficiente de segurança estipulado foi entre 1.5 a 2.0.

4.2.2 Modelamento do acoplamento da rosca transportadora.

Foram coletados dados a respeito das dimensões diretamente do helicóide da colheitadeira e foi criado um modelo CAD do mesmo. O modelamento dos componentes foi realizado afim de facilitar a criação dos acoplamentos em ambiente virtual, reduzindo o tempo de projeto e os custos com criação de protótipos. Através do modelamento dos componentes é possível identificar e corrigir diversos problemas antes mesmo da produção de protótipos físicos.

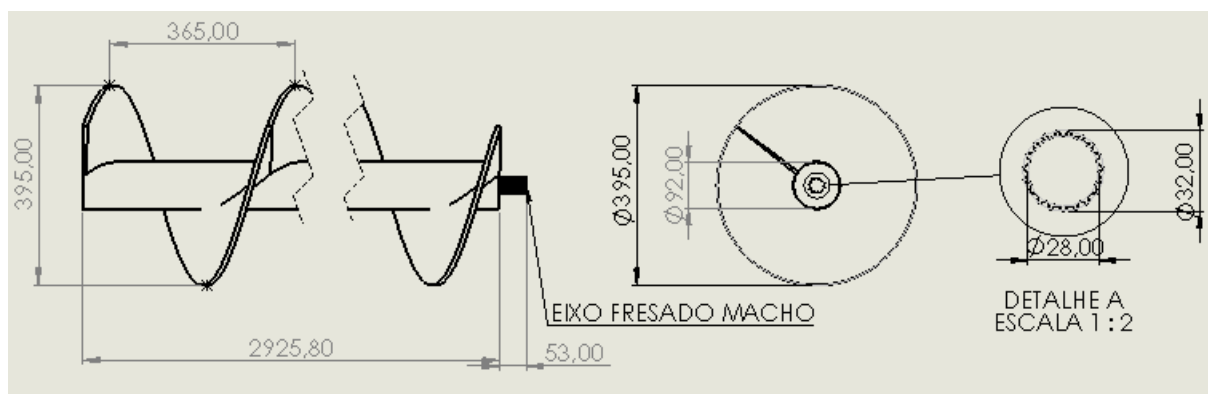


Figura 6: Desenho técnico componente fixo da rosca transportadora

(Fonte: produzido pelo autor)

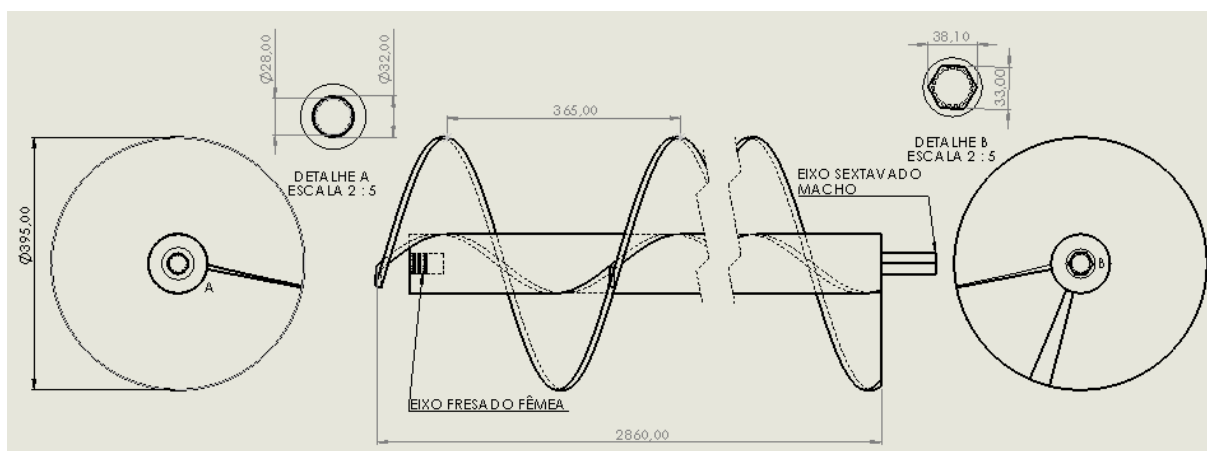


Figura 7: Desenho técnico componente móvel da rosca transportadora

(Fonte: produzido pelo autor)

Para realizar o acoplamento das roscas transportadoras serão utilizadas duas peças sendo a peça A acoplada a rosca fixa e a peça B acoplada a rosca móvel. O modelamento dos componentes foi feito visando a necessidade de se adotar um design eficiente e mais simples possível afim de baratear o processo de fabricação e de facilitar ao máximo a manutenção do sistema e substituição de componentes, assim buscou-se evitar geometrias complexas que necessitem de equipamentos e processos de fabricação caros e demorados em busca de se utilizar materiais de fácil aquisição e a criação de um sistema que possa ser reparado utilizando processos mais comuns e mão de obra não tão especializada.

Para o modelamento do acoplamento foi necessário dividi-lo em 3 secções principais cada uma para realizar uma de suas funções principais.

A secção A foi projetada para realizar o acoplamento da rosca transportadora com o restante da peça, por isso ela consiste em um acoplamento estriado do tipo fêmea na peça A e macho na Peça B. A secção B tem a função de transmitir a potência necessária para o próximo segmento da rosca, seu modelamento levou em conta a necessidade de facilitar ao máximo o acoplamento entre as peças A e B assim buscou se eliminar arestas e cantos vivos da zona de acoplamento utilizando uma barra redonda como elemento principal da secção. A secção C é o local onde ocorre a primeira interação entre as peças A e peça B esta secção tem a

função de realizar o acoplamento de ambos os segmentos afim de que os dois segmentos da rosca transportadora trabalhem alinhadas no mesmo plano

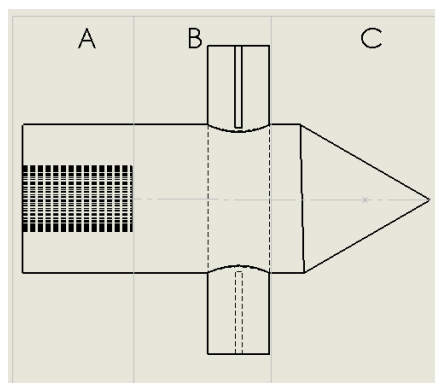


Figura 8: Desenho peça A

(Fonte: produzido pelo autor)

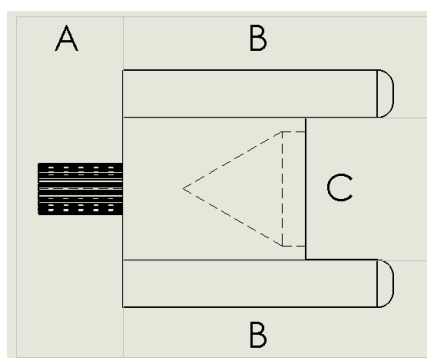


Figura 9: Desenho peça B

(Fonte: produzido pelo autor)

4.2.3 Validação dos componentes utilizando MEF

Para testar a capacidade dos acoplamentos desenvolvidos as cargas que foram obtidas foi utilizado um software de elementos finitos, foi possível verificar a resistência dos acoplamentos além de obter informações importantes a respeito de deslocamentos, deformações, pontos de concentração de tensão e o fator de segurança dos componentes, essas informações foram utilizadas para otimizar o protótipo virtual. As propriedades mecânicas dos materiais utilizados nas simulações

foram coletadas diretamente do software de simulação e estão disponíveis na tabela abaixo.

Tabela 5: Características mecânicas metais.

MATERIAL	LIMITE DE ESCOAMENTO (N/MM ²)	COEFICIENTE DE POISON	MODULO DE CISALHAMENTO (N/M ²)	MODULO DE EASTICIDADE (N/M ²)
AÇO 1020	351.571.000	0,29	7.7e+10	2e+11
AÇO 1045	530.000.000	0,29	8e+10	2,05e+11
LATÃO	239.689.000	0,33	3.7e+10	1e+11

Fonte: Solidworks.

Como é possível verificar pelas imagens o protótipo suporta a carga estipulada de 4187,425 kgf e não sofre deformações excessivas que prejudiquem o funcionamento do sistema.

4.2.4 Condições de contorno peça A

Nesta simulação foi considerado um engaste simples nas faces do entalhe estriado e a carga foi aplicada no segmento B da peça que será o responsável pela transmissão de potência. A malha utilizada foi mesclada com base em curvaturas afim de permitir resultados mais precisos em regiões que são concentradoras de tensão sem exigir elevado tempo de simulação. O material escolhido para a produção foi o aço 1045 é um material que é muito utilizado na indústria em sistemas de transmissão de potência como engrenagens e eixos de transmissão por ser um aço de fácil aquisição e por ter mais resistência mecânica do que o aço 1020.

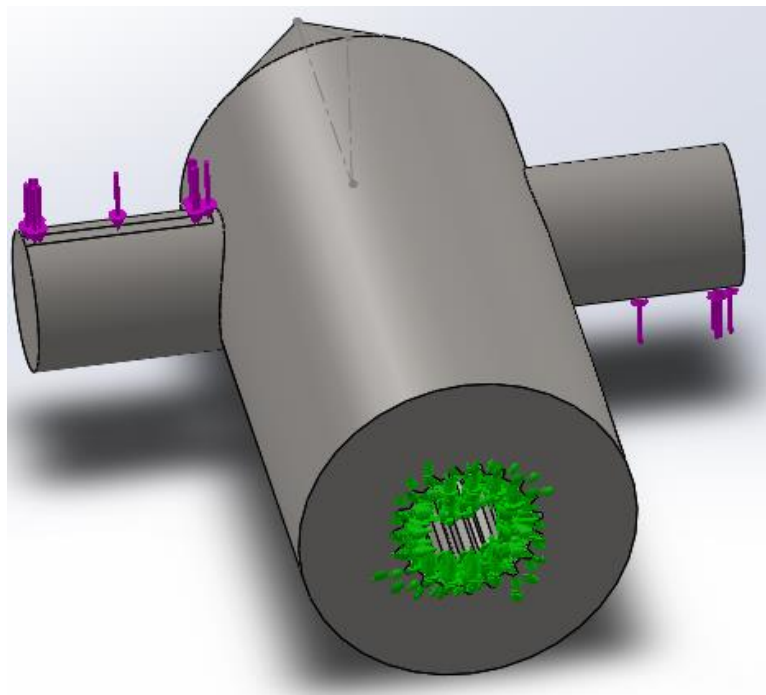


Figura 10: Condições de contorno peça A

(Fonte: produzido pelo autor)

4.2.5 Tensão (von misses) peça A

Através da análise da tensão obtida é possível ver que a tensão atingida está bem abaixo do limite de escoamento do material, o ponto de maior concentração de tensão é na transição da zona de acoplamento dos eixos, caso haja necessidade de aumentar a resistência mecânica da peça esta área deverá ser prioritária.

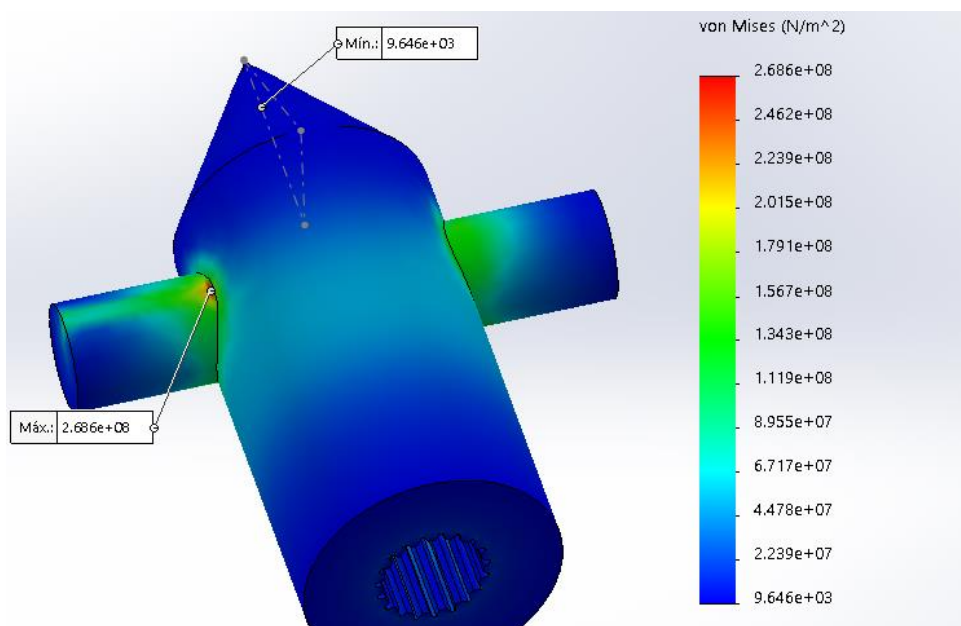


Figura 11: Tensão von misses peça A

(Fonte: produzido pelo autor)

4.2.6 Deslocamentos peça A

Observando os dados obtidos no gráfico de deslocamento é possível ver que a área de maior deslocamento se localiza nas extremidades da zona responsável pela transmissão de potência, porém o deslocamento é muito pequeno para interferir no funcionamento do sistema.

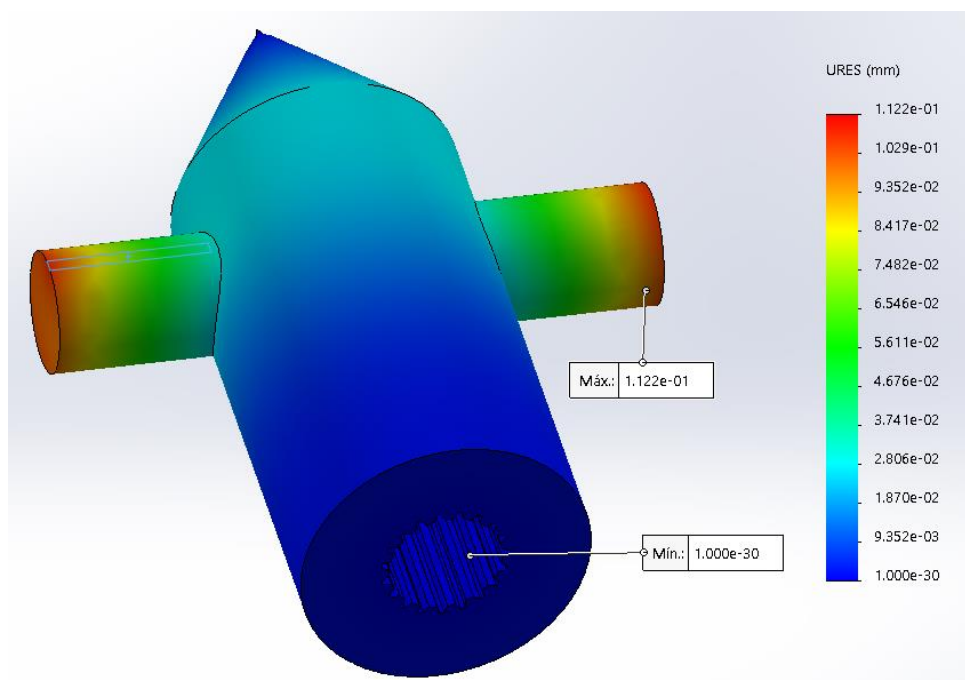


Figura 12: Deslocamento peça A

(Fonte: produzido pelo autor)

4.2.7 Fator de segurança peça a

Com base na análise de fator de segurança é possível verificar que o acoplamento possui um bom fator de segurança, é possível ver áreas com elevado fator de segurança o que indica que o modelo pode ser otimizado, porém é necessário analisar a viabilidade.

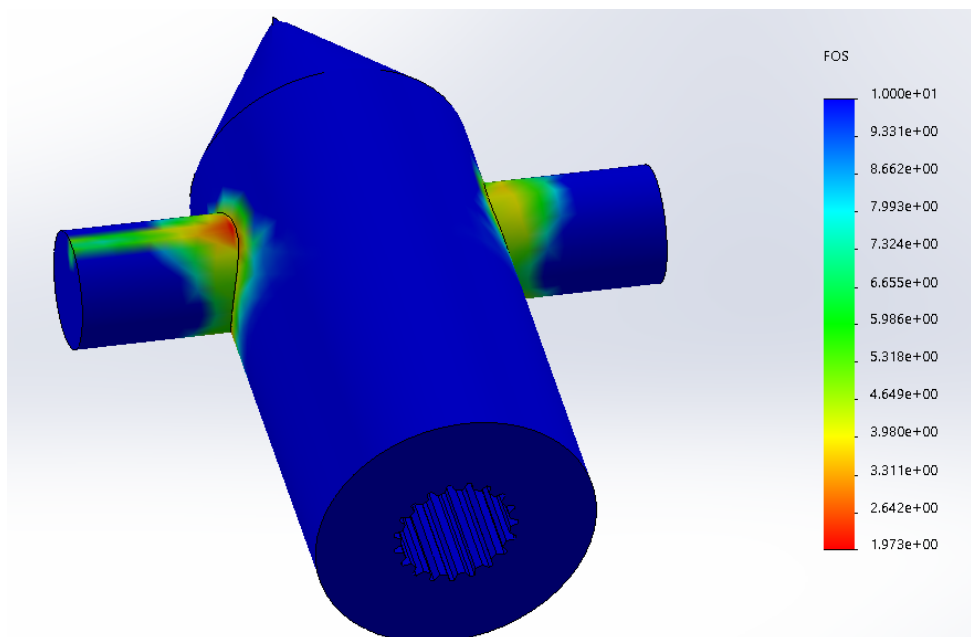


Figura 13: Fator de segurança peça A

(Fonte: produzido pelo autor)

4.2.8 Condições de contorno peça B

Novamente foi considerado engaste simples nas faces do entalhe estriado e a carga foi aplicada no segmento B da peça que será o responsável pela transmissão de potência. A malha utilizada foi mesclada com base em curvaturas. O material escolhido para a produção foi o aço 1045 por ser um aço de fácil aquisição e por possuir maior resistência mecânica do que o aço 1020.

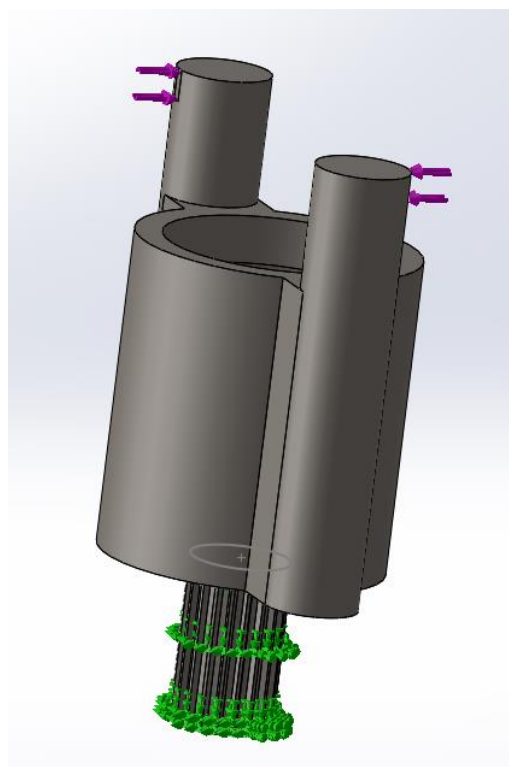


Figura 14: Condições de contorno peça B

(Fonte: produzido pelo autor)

4.2.9 Tensão (von misses) peça B

Analisando a tensão obtida é possível ver que a tensão está abaixo do limite de escoamento do material, o ponto de maior concentração de tensão e na região C onde ocorre o acoplamento com a rosca transportadora isso ocorre devido à geometria do local e devido à súbita variação de espessura no local este se torna um concentrador de tensões.

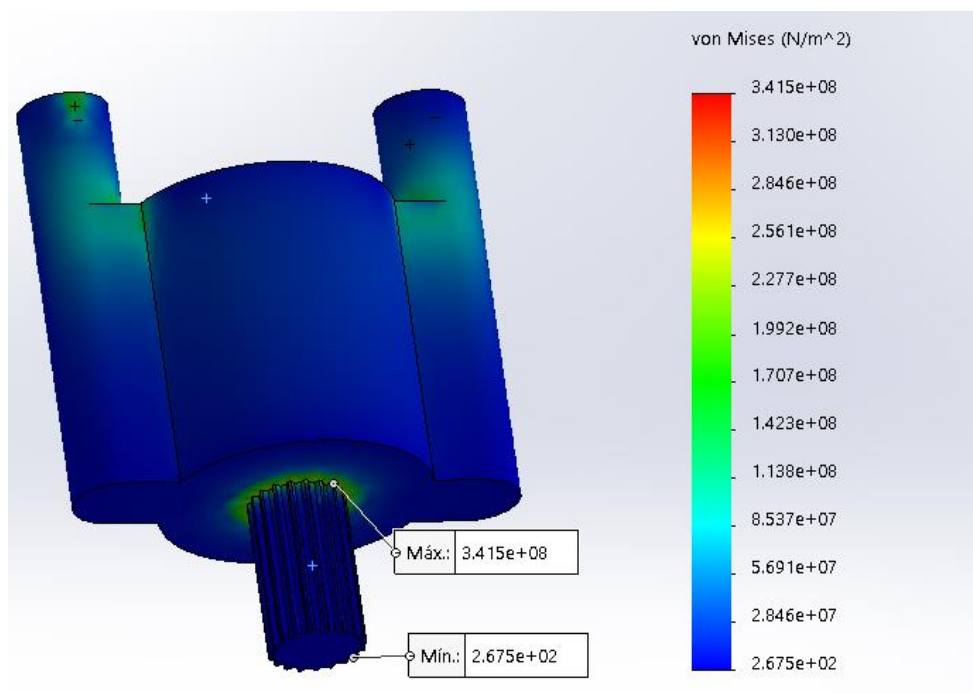


Figura 15: Tensão Von Misses peça B

(Fonte: produzido pelo autor)

4.2.10 Deslocamentos peça B

É possível ver que a área de maior deslocamento se localiza nas extremidades da zona responsável pela transmissão de potência, porém o deslocamento é muito pequeno para interferir no funcionamento do sistema.

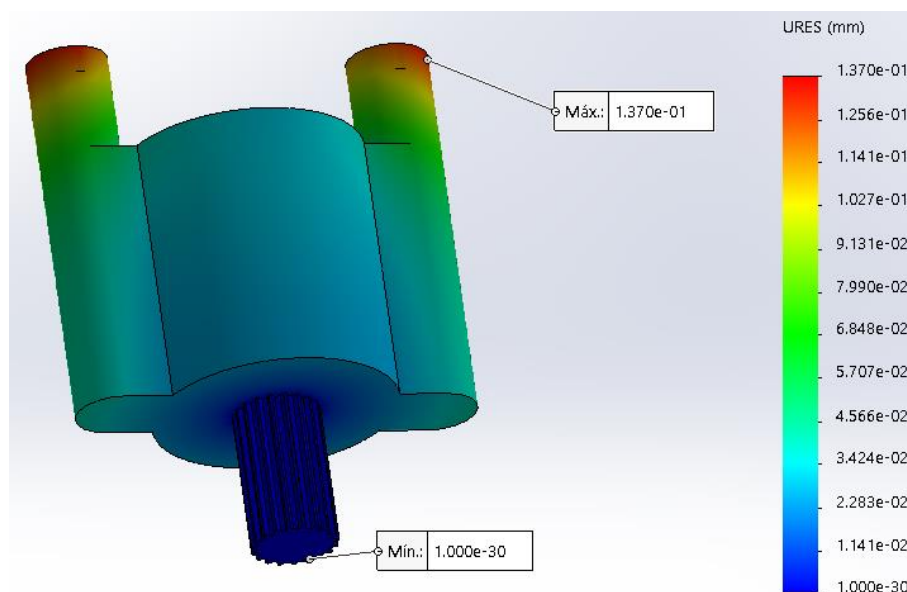


Figura 16: Deslocamento peça B

(Fonte: produzido pelo autor)

É possível ver que a área de maior deslocamento se localiza nas extremidades da zona responsável pela transmissão de potência, porém o deslocamento é muito pequeno para interferir no funcionamento do sistema.

4.2.11 Fator de segurança peça b

É possível verificar que o acoplamento possui um bom fator de segurança, é possível ver áreas com elevado fator de segurança o que indica que o modelo pode ser otimizado, porém é necessário analisar a viabilidade.

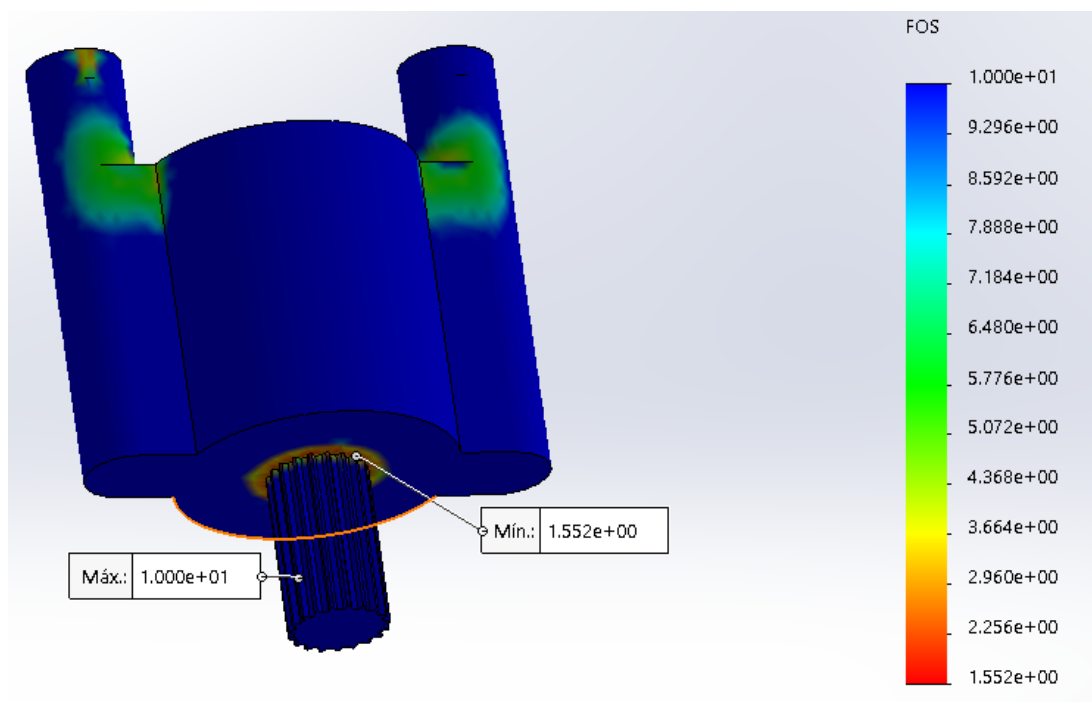


Figura 17: Fator de segurança peça B

(Fonte: produzido pelo autor)

É possível verificar que o acoplamento possui um bom fator de segurança, é possível ver áreas com elevado fator de segurança o que indica que o modelo pode ser otimizado, porém é necessário analisar a viabilidade.

4.3 A ARTICULAÇÃO DA CALHA EXTERNA

4.3.1 Determinação dos esforços na articulação da calha externa

O primeiro passo para a determinação das cargas atuantes na articulação da calha externa foi a pesagem dos componentes do tubo descarregador, os dados obtidos estão localizados na tabela abaixo. Em operações normais apenas um segmento da calha externa e um segmento da rosca transportadora seriam responsáveis pela carga, porém a articulação externa será dimensionada para suportar a pior situação possível que seria a atuação da articulação com o segmento

cheio de grãos, isso pode ocorrer por utilização incorreta do equipamento ou devido à necessidade de substituição dos acoplamentos do helicóide após falha destes.

Volume interno da calha externa

$$V = (\pi * r^2)L \rightarrow V = (\pi * 0,2089^2)2,85 \rightarrow V = 0,3907m^3$$

Volume do segmento da rosca transportadora

$$DETERMINADO POR SOFTWARE - 0,0282m^3$$

Massa máxima de produto

$$m = (0,3907 - 0,0282) * 0.8 = 0,29 \text{ toneladas} \rightarrow 290kg$$

Tabela 6: Massa dos componentes

COMPONENTE	PESO
SEGMENTO ROSCA TRANSPORTADORA	230 KG
SEGMENTO CALHA EXTERNA	158 KG
MASSA DO PRODUTO A SER DESLOCADO	290 kg
MASSA TOTAL	678 kg

(Fonte: Produzido pelo autor)

4.3.2 Modelamento da articulação da calha externa.

Foi necessário coletar dados a respeito das dimensões da calha externa do tubo descarregador da colheitadeira e com isso criado um modelo CAD do mesmo para iniciar o desenvolvimento da articulação.

O Modelamento da articulação da calha externa é fundamental pois é esta articulação que tem a função de realizar a articulação do tubo descarregador e cumprir o objetivo geral de se reduzir o comprimento total da colheitadeira.

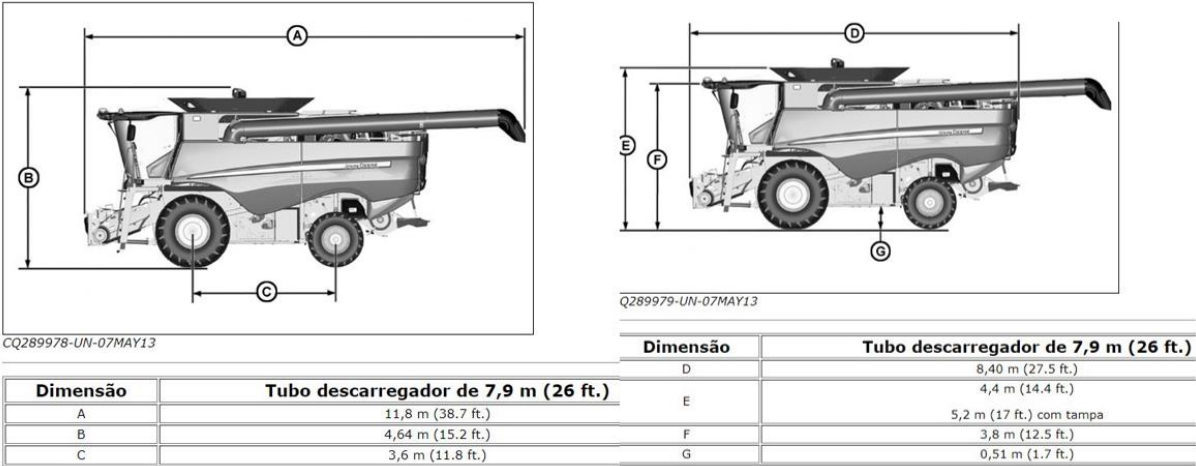


Figura 18: Dimensões s670

(Fonte: Manual Técnico s670)

Através da figura 18 é possível verificar que a remoção do segmento do tubo descarregador que se projeta além do corpo da máquina resulta em uma redução significativa do comprimento, a remoção completa do segmento resultaria em uma redução igual a diferença entre o valor da cota A que é de 11,8 metros e a cota D que é de 8,4 metros o que reduziria o comprimento em 3,4 metros porém como o tubo será apenas realocado atrás da colheitadeira e não removido a redução total será menor e depende das dimensões da articulação.

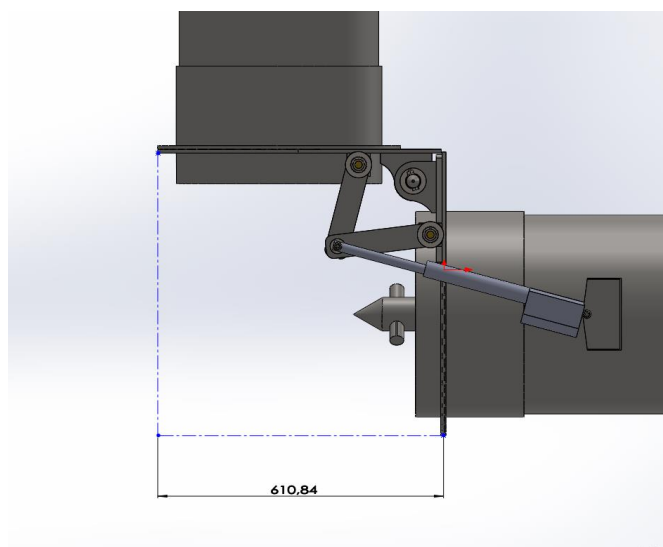


Figura 19: Comprimento mecanismo quando articulado

(Fonte: Produzido pelo autor)

Através da figura 19 é possível ver que o mecanismo quando realiza a articulação a 90° ocupa um espaço de 610,84 mm além do final do segmento do tubo descarregado que fica posicionado no final do corpo da colheitadeira, para obtermos o valor final do comprimento devemos adicionar esse valor a cota D da figura 18, assim obtemos um comprimento final de aproximadamente 9,01 metros, o que significa uma redução total de 2,79 metros no comprimento total da máquina.

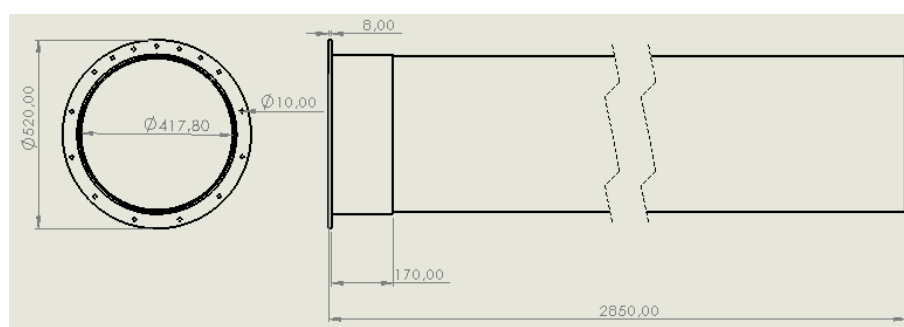


Figura 20: Calha externa móvel

(Fonte: produzido pelo autor)

A articulação foi desenhada para utilizar a furação existente no tubo descarregador de modo que a articulação possa ser facilmente acoplada ao tubo

descarregador da máquina, a articulação foi projetada para ter as menores dimensões possíveis afim de reduzir as interferências desta na operação normal da máquina.

No desenvolvimento da articulação também buscou se utilizar materiais resistentes a corrosão nas partes mais críticas, afim de garantir uma maior durabilidade ao mecanismo e que gerassem menos atrito em partes móveis, afim de diminuir a força que dever ser aplicada pelo atuador. Visando atender esses requisitos optou-se por utilizar buchas de latão nas partes móveis, o latão é um material de fácil obtenção e combinado com o aço tem um coeficiente de atrito muito menor do que se fossem utilizados dois elementos de aço, além de ser um material mais resistente a oxidação.

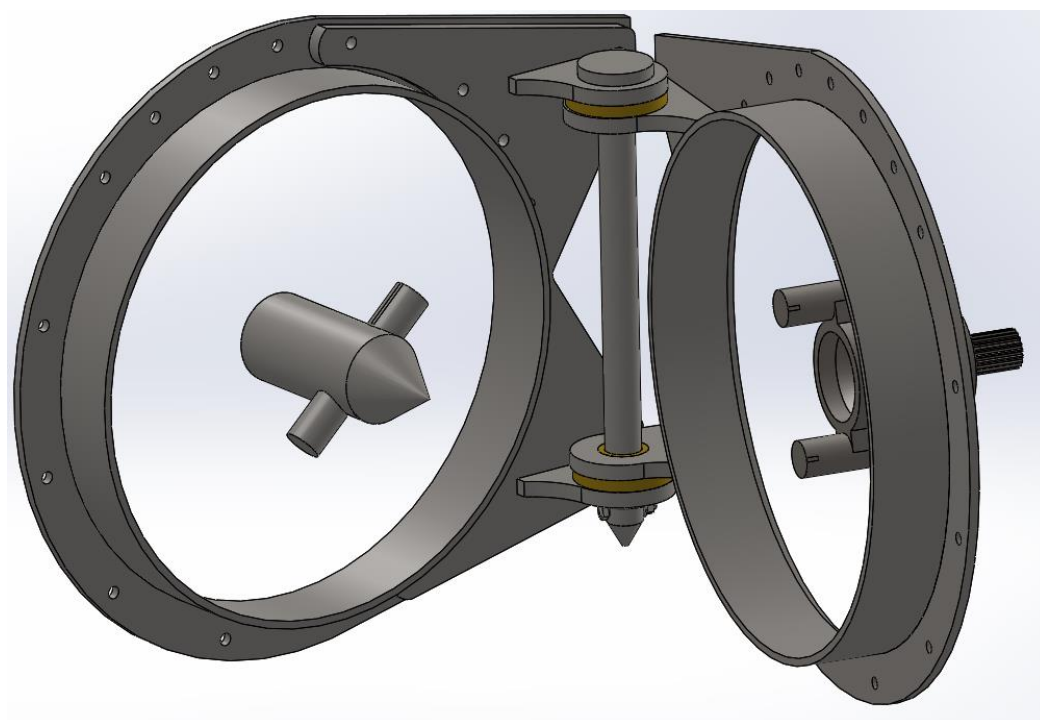


Figura 21: Acoplamentos e articulação da calha

(Fonte: produzido pelo autor)

4.3.3 Validação dos componentes utilizando MEF

Para a validação os componentes da articulação foram montados junto com o desenho da calha externa móvel. A carga de 678 kg foi aplicada distribuída uniformemente pela calha móvel, afim de aproximar ao máximo a simulação da utilização real, os componentes do tubo descarregador foram unidos com os componentes da articulação usando parafusos M10 com grau de resistência 8.8 semelhantes aos que já são utilizados no equipamento, o segmento que fica preso a máquina foi considerado engastado. Como a calha móvel já é um componente utilizado na colheitadeira ela foi considerada na simulação apenas para tornar a aplicação da força mais próxima da real e os efeitos de tensão e deformação não foram considerados nos resultados.

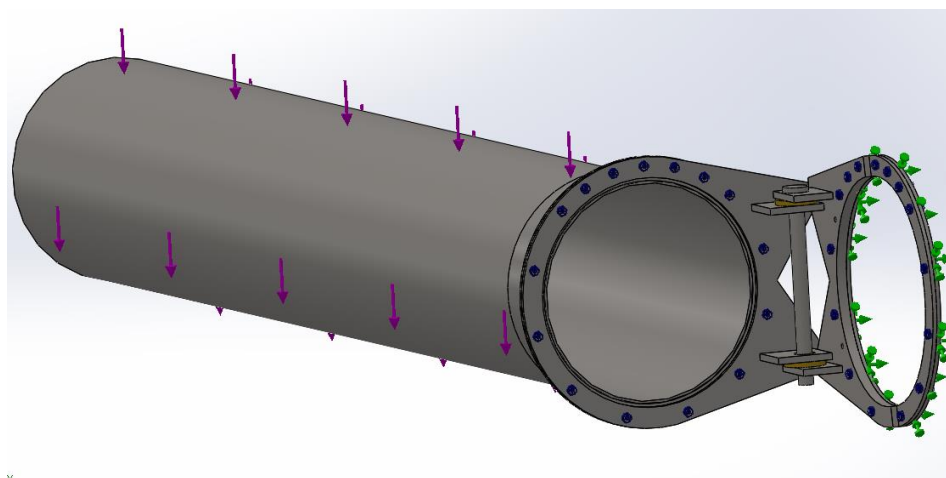


Figura 22: Condições de contorno articulação da calha

(Fonte: produzido pelo autor)

4.3.4 Tensão na articulação da calha externa (von misses)

Analisando a tensão obtida é possível ver que a tensão está abaixo do limite de escoamento do material, o ponto de maior concentração de tensão é na fixação da articulação com a parte fixa do tubo descarregador da colheitadeira.

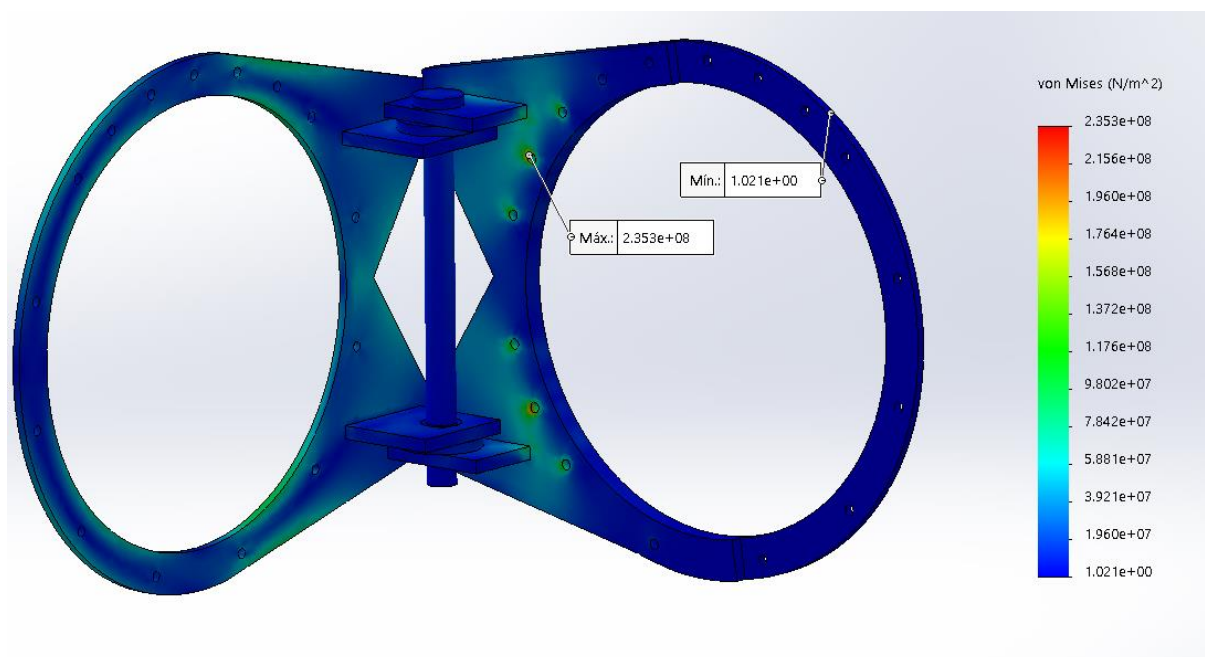


Figura 23: Tensão Von Misses articulação da calha

(Fonte: produzido pelo autor)

4.3.5 Deslocamento na articulação da calha externa

É possível ver que a área de maior deslocamento se localiza na extremidade da articulação que fica conectada a parte móvel do tubo descarregador, o deslocamento causado é muito pequeno para causar interferência durante o acoplamento das calhas externas ou dos acoplamentos das roscas transportadoras.

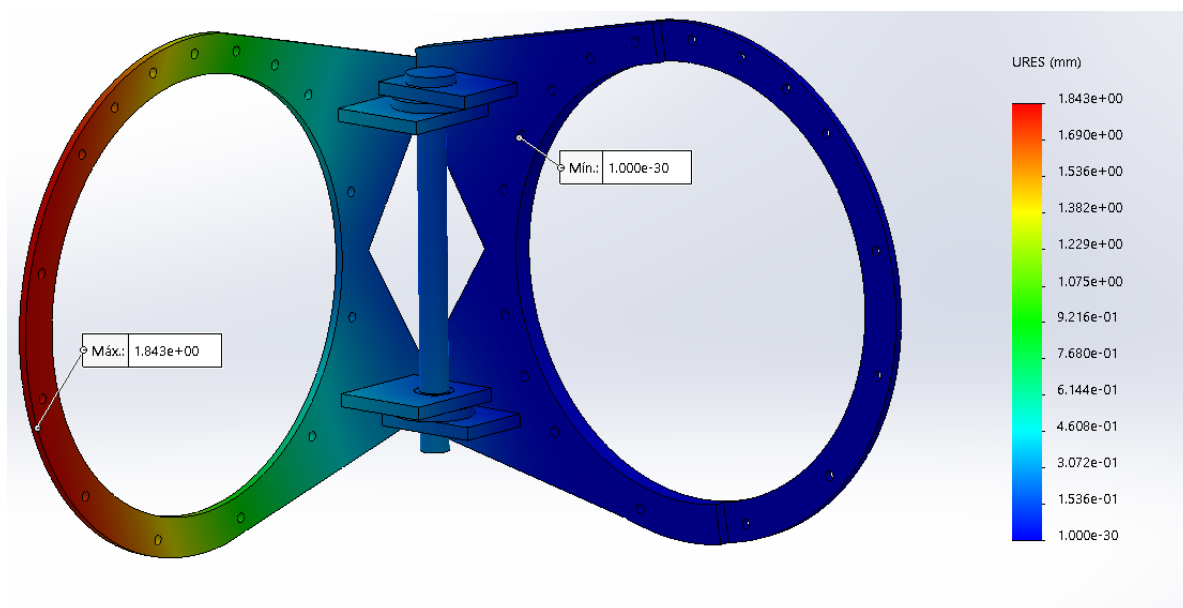


Figura 24: Deslocamento na articulação da calha

(Fonte: produzido pelo autor)

4.3.6 Fator de segurança na articulação da calha externa

Na figura abaixo é possível verificar que a articulação possui um bom fator de segurança, atendendo o requisito de proporcionar um fator de segurança mínimo de 1,5.

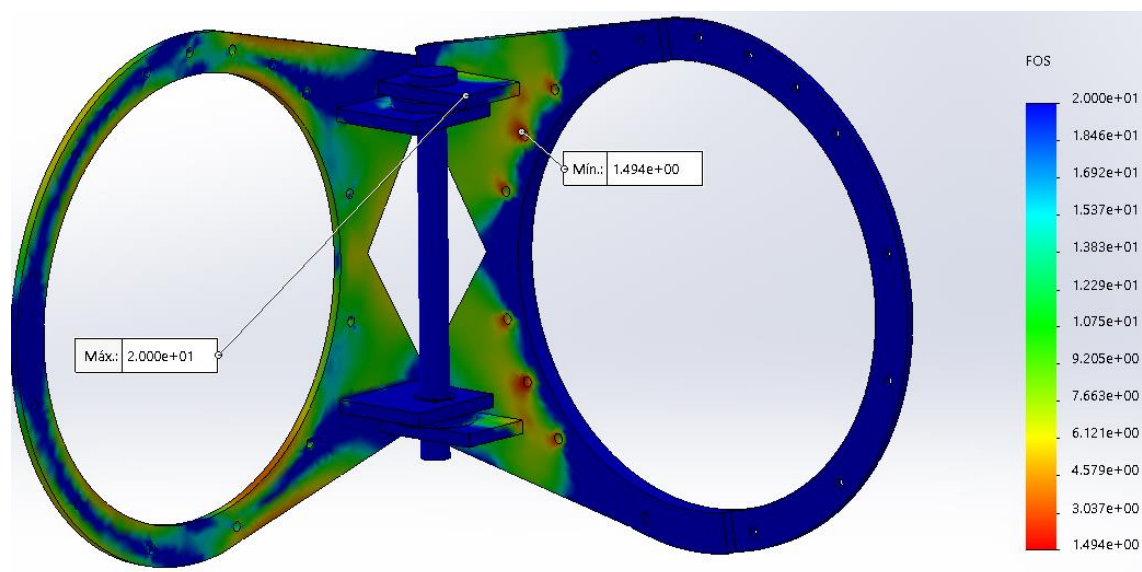


Figura 25: Fator de segurança na articulação da calha

(Fonte: produzido pelo autor)

4.4 ATUADOR DA ARTICULAÇÃO.

4.4.1 Determinação dos esforços no atuador da articulação.

Para o dimensionamento dos componentes que realizam a movimentação da articulação será considerado que estes devem transmitir força suficiente para vencer o atrito entre os componentes da articulação.

Para reduzir o atrito nos componentes e consequentemente permitir o uso de um atuador com menos força e também evitar que o sistema falhe por eventual oxidação na articulação que possa ocorrer com o tempo serão utilizadas buchas de latão nos componentes móveis, o coeficiente de atrito estático sem lubrificação do latão com o aço segundo (BOUCHÉ, LEITNER, SANS e Dubbel, 1979) é de 0,35.

Força de atrito

$$Fat = \mu * m * G \rightarrow Fat = 0,35 * 678 * 9,81 \rightarrow Fat = 2.327,913N$$

4.4.2 Modelamento dos componentes do sistema do atuador.

O desenvolvimento do sistema do atuador levou em conta a necessidade de se utilizar materiais de fácil aquisição e fácil produção, para produção dos componentes com exceção das buchas de latão será utilizado aço 1020 pois este material apresentou resultados satisfatórios nas simulações, com exceção das buchas de bronze nas partes móveis que são utilizadas afim de reduzir o atrito entre componentes e reduzir a possibilidade de falha do sistema por oxidação.

O atuador escolhido para o projeto foi o atuador elétrico tendo em vista que a atuadores elétricos com a capacidade necessária no mercado e que o sistema elétrico terá um custo menor que o sistema com atuador hidráulico. Outra vantagem da utilização do atuador elétrico e que este tem uma instalação muito mais simples que o hidráulico.



Figura 26: Atuador elétrico

(Fonte: Mercado Livre)

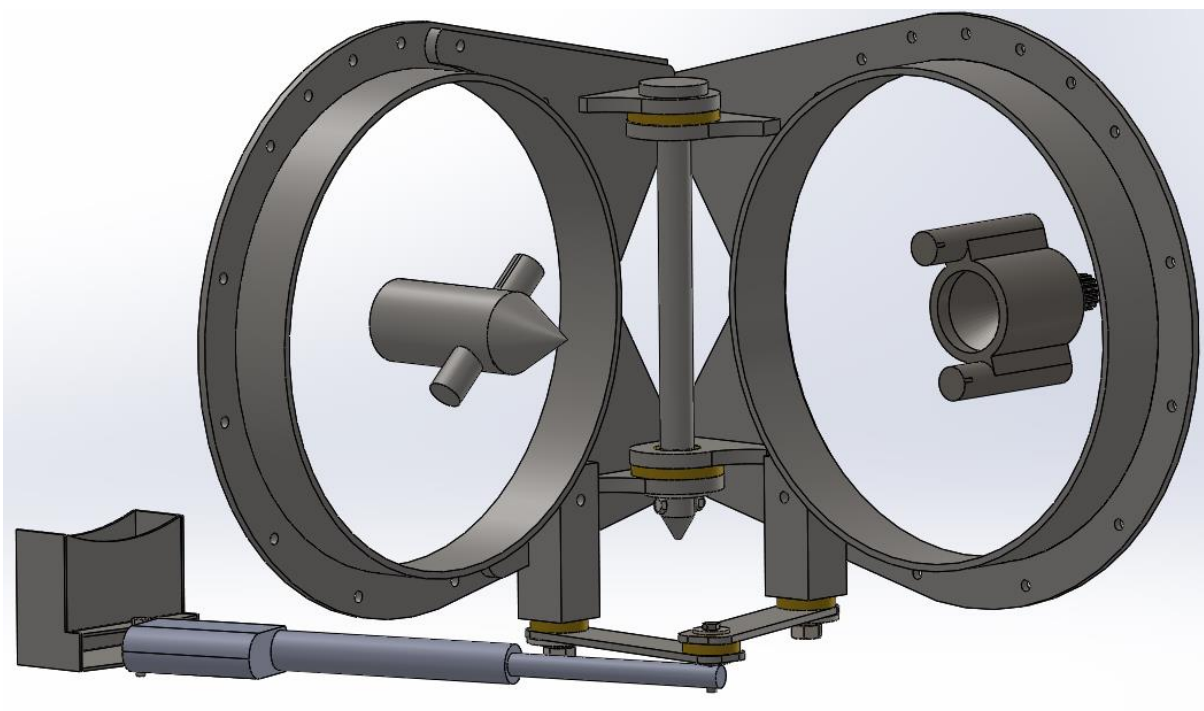


Figura 27: Acoplamentos, articulação da calha e componentes do atuador

(Fonte: produzido pelo autor)

4.4.3 Validação dos componentes usando MEF

Para a validação dos componentes do sistema do atuador foi utilizada uma carga de 2.330,00N foi aplicada distribuída uniformemente nos parafusos que estão presos ao atuador afim de simular os esforços de ação e reação.

4.4.4 Condições de contorno componentes do sistema do atuador

Foi considerado engaste nas faces das buchas de latão no local onde estão presas ao restante do equipamento a carga foi aplicada no parafuso onde será presa a extremidade do atuador elétrico. A malha utilizada foi mesclada com base em curvaturas.

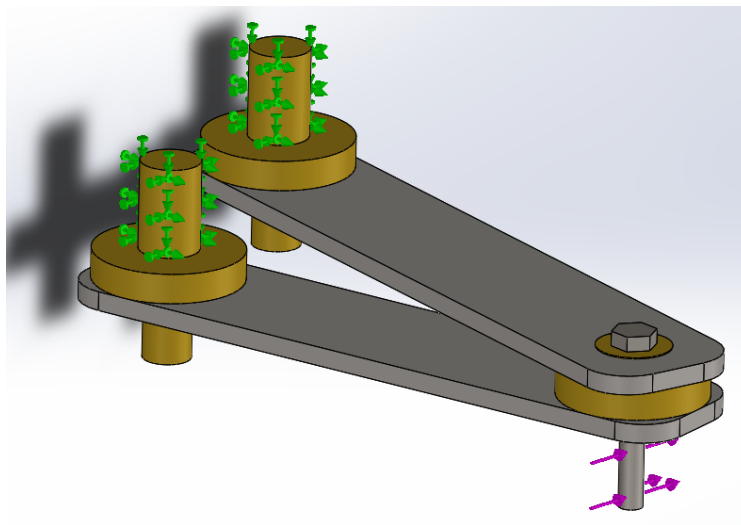


Figura 28: Condições de contorno componentes do sistema do atuador 1

(Fonte: produzido pelo autor)

Na segunda parte foi considerado engaste nas superfícies superiores, onde as peças serão soldadas ao tubo descarregador, a carga de 2.330,00N foi aplicada no parafuso onde o atuador está conectado. A malha utilizada foi mesclada com base em curvaturas.

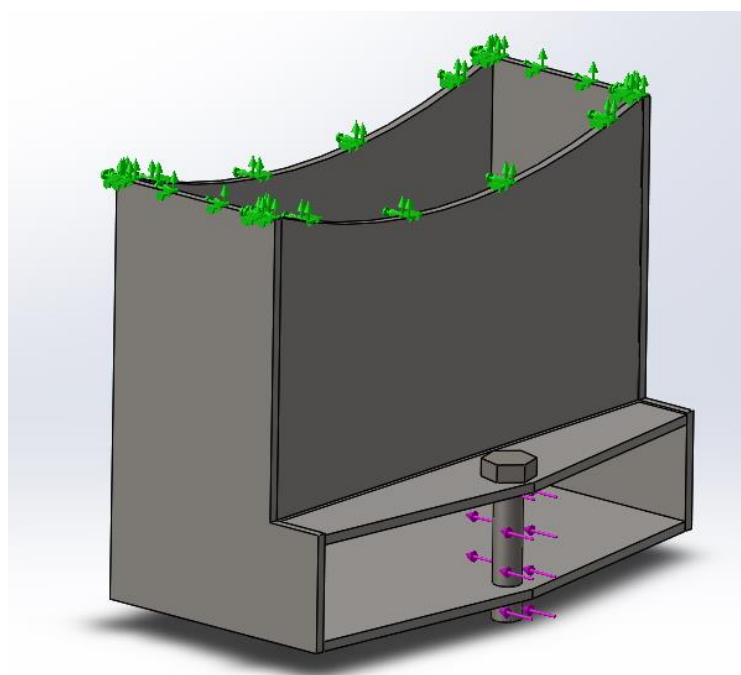


Figura 29: condições de contorno componentes do sistema do atuador parte 2

(Fonte: produzido pelo autor)

4.4.5 Tensão no sistema do atuador

Analisando a tensão obtida é possível ver que a tensão está abaixo do limite de escoamento do material. O ponto de maior concentração de tensão é no parafuso onde haverá transferência de força do atuador elétrico para o mecanismo, a tensão poderia ser reduzida utilizando um parafuso de maior diâmetro, porém deverá ter o mesmo diâmetro do furo de fixação do atuador.

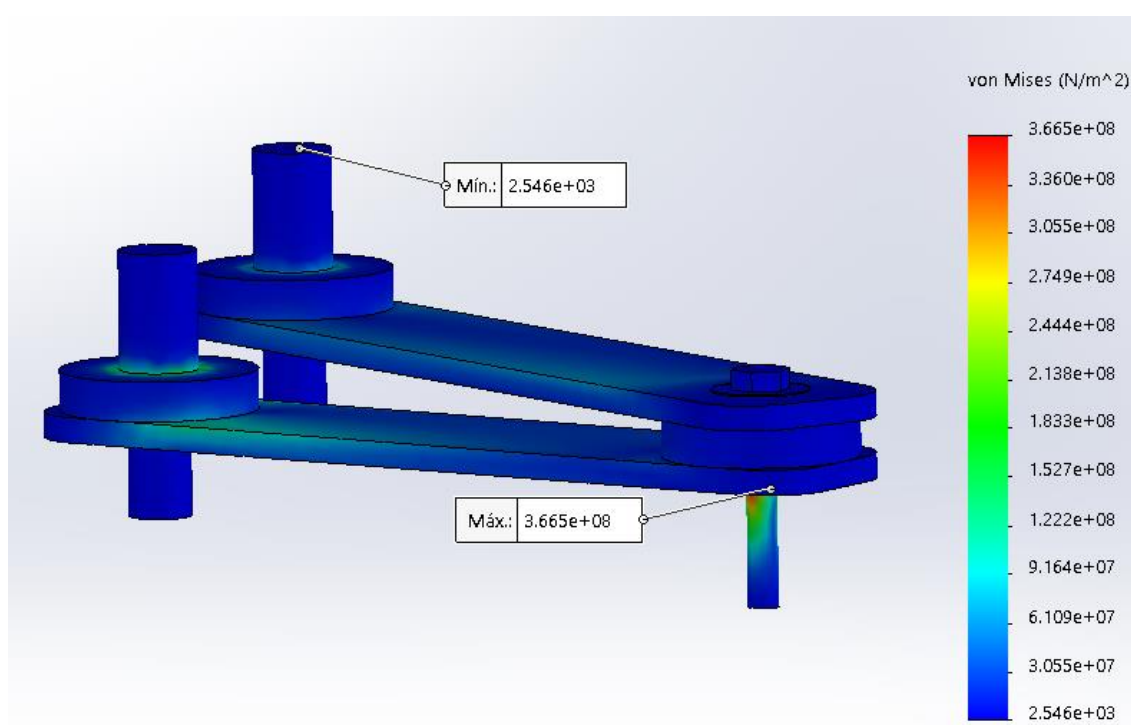


Figura 30: Tensão no sistema do atuador parte 1

(Fonte: produzido pelo autor)

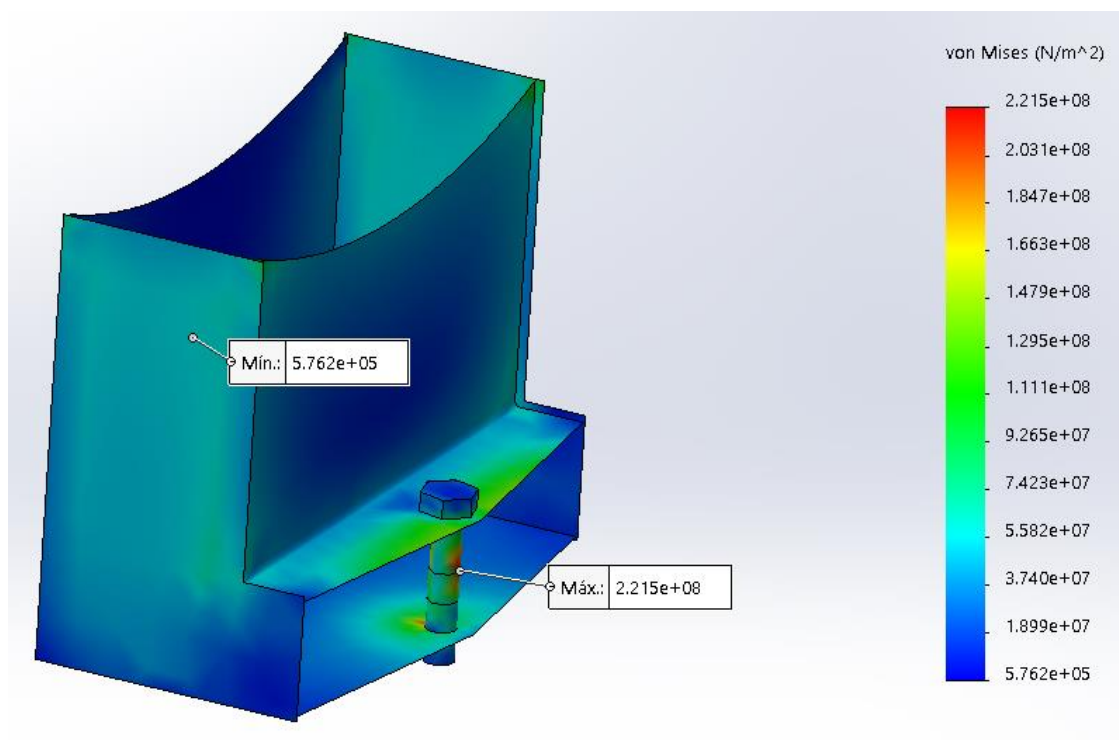


Figura 31: Tensão no sistema do atuador parte 2

(Fonte: produzido pelo autor)

4.4.6 Deslocamento no sistema do atuador

A zona responsável pela transmissão de força é a região onde a maior deslocamento, porém o deslocamento é muito pequeno e não interfere no funcionamento do sistema.

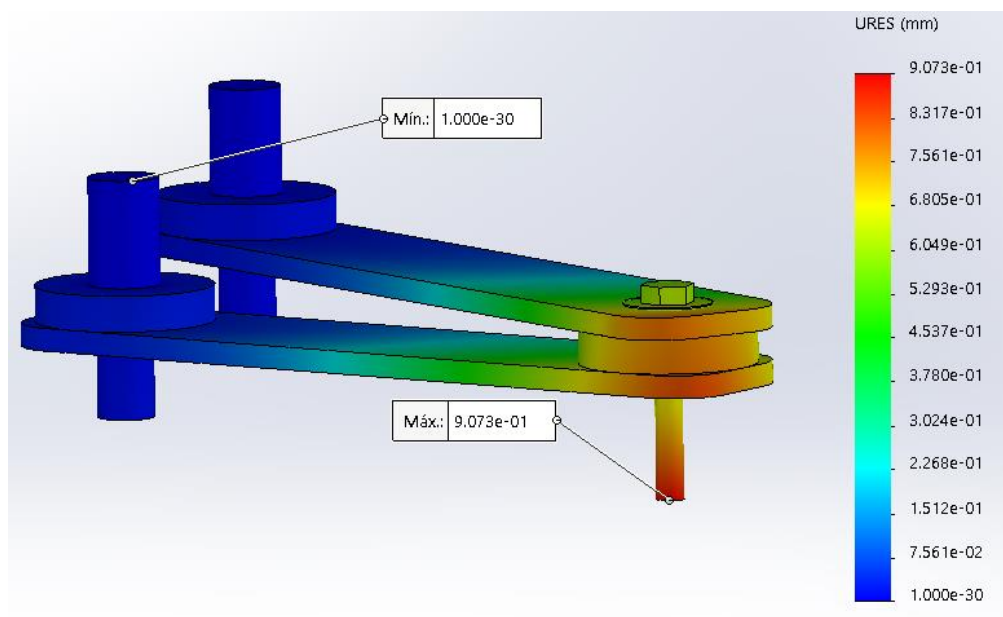


Figura 32: Deslocamento no sistema do atuador parte 1

(Fonte: produzido pelo autor)

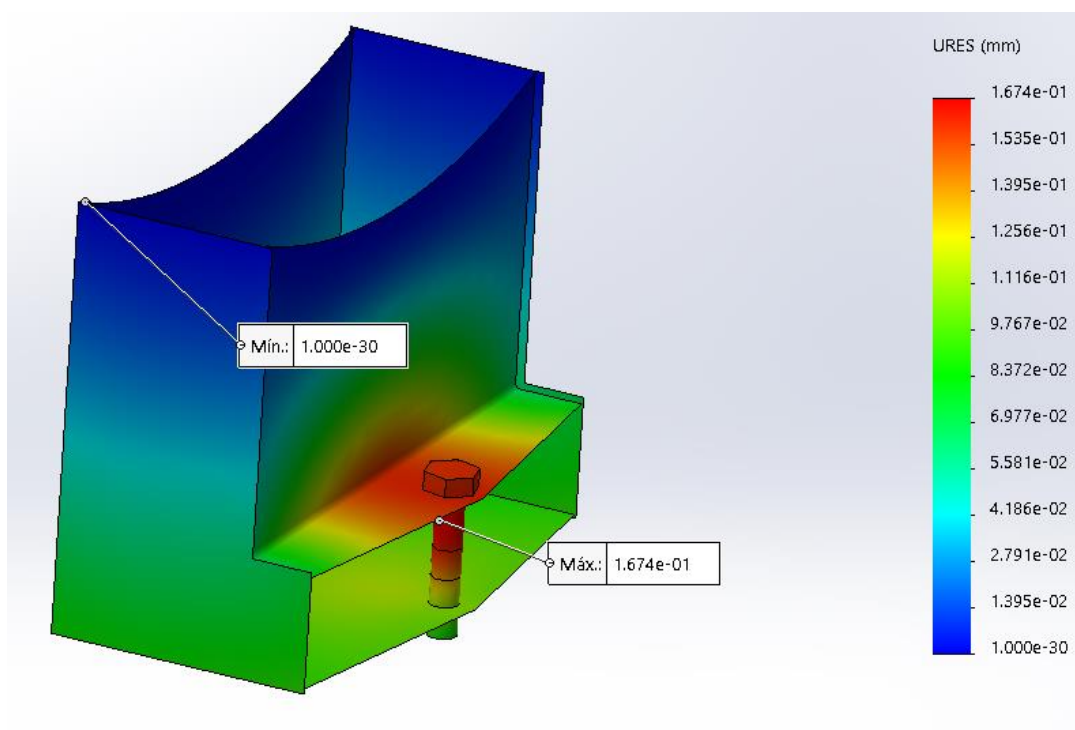


Figura 33: Deslocamento no sistema do atuador parte 2

(Fonte: produzido pelo autor)

4.4.7 Fator de segurança no sistema do atuador

Pelos resultados obtidos é possível ver que o fator de segurança do sistema está dentro do esperado. Na parte 1 do sistema o menor fator de segurança está nas buchas localizada na haste onde está se conecta aos elementos da articulação. Na parte 2 o menor fator de segurança está localizado no parafuso que está conectado ao atuador elétrico.

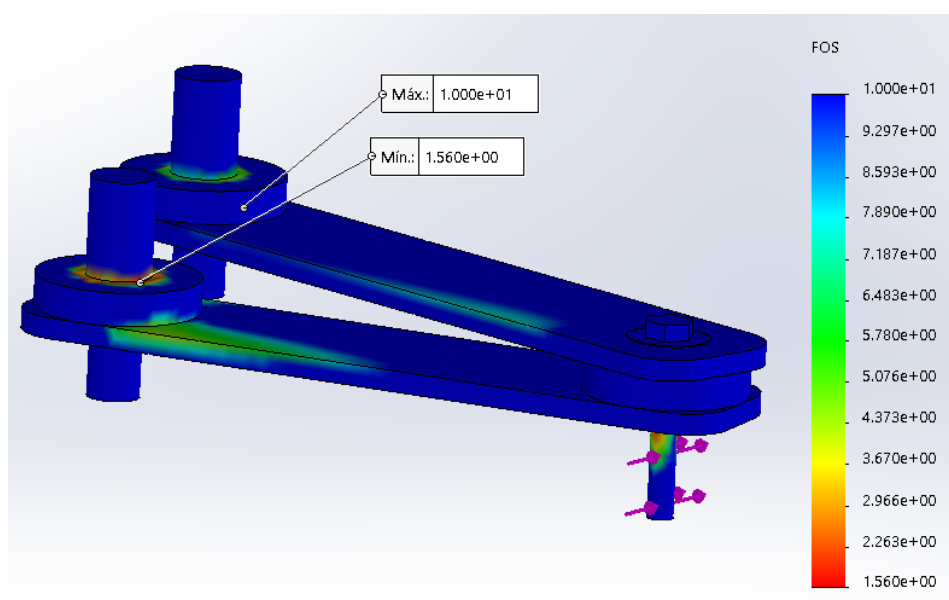


Figura 34: Fator de segurança no sistema do atuador parte 1

(Fonte: produzido pelo autor)

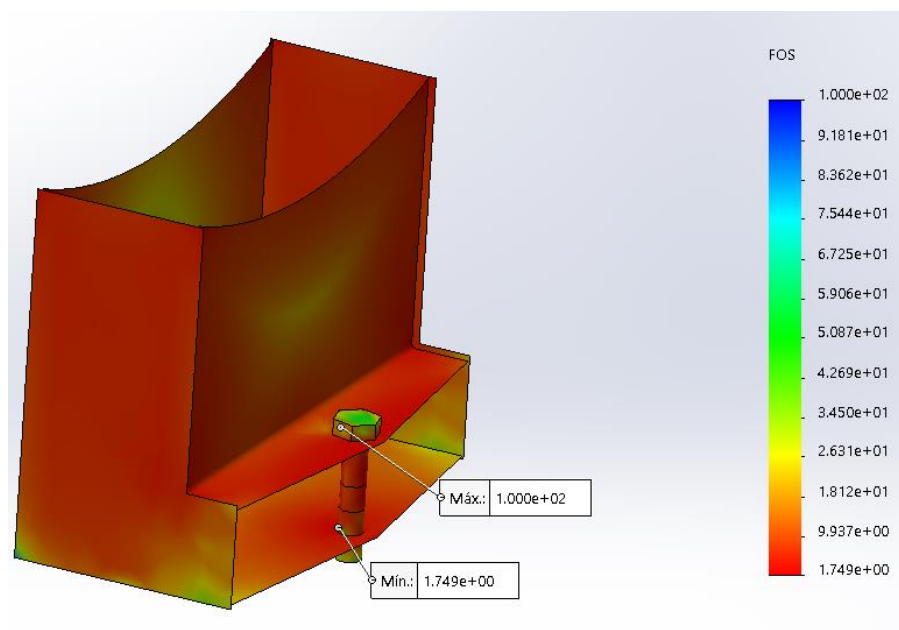


Figura 35: fator de segurança no sistema do atuador parte 2

(Fonte: produzido pelo autor)

Pelos resultados obtidos é possível ver que o fator de segurança do sistema está dentro do esperado. Na parte 1 do sistema o menor fator de segurança está nas buchas localizada na haste onde está se conecta aos elementos da articulação. Na parte 2 o menor fator de segurança está localizado no parafuso que está conectado ao atuador elétrico.

4.5 CUSTO DE PRODUÇÃO.

O estudo do custo de produção de um produto é parte fundamental para qualquer empresa e consiste no valor de bens e serviços que são consumidos para a produção de um produto. Muitas das decisões administrativas devem ser tomadas analisando as alterações no custo de produção e a viabilidade econômica de um produto afim de maximizar os lucros. Com base no estudo do custo de produção uma empresa pode optar pela fabricação de lotes maiores de um produto para conseguir negociar matérias primas ou serviços com preços menores ou pode optar por produzir por demanda afim de reduzir custos com armazenamento e aumentar a liquidez no fluxo de caixa.

Para elaboração do orçamento para a produção do mecanismo foram produzidos desenhos técnicos dos componentes do mecanismo e enviados para empresas do setor metalúrgico na cidade de Toledo. O processo de fabricação envolverá empresas que disponibilizam serviço de corte a laser e plasma de chapas metálicas, serviços de usinagem e de solda e montagem.

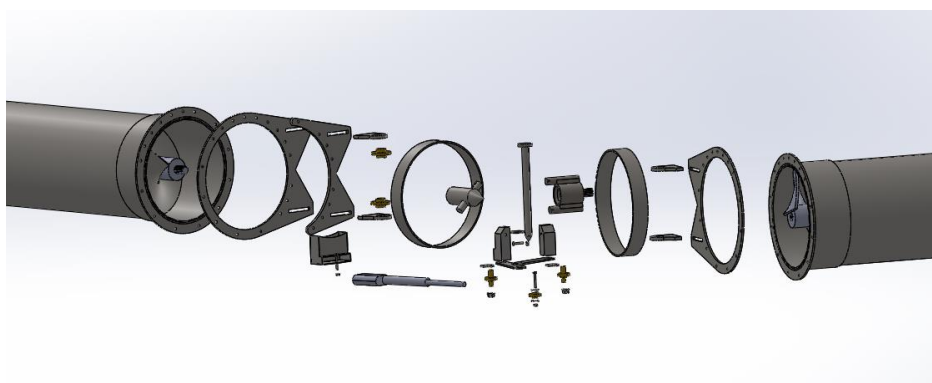


Figura 36: Vista explodida componentes do sistema

(Fonte: Produzido pelo autor)

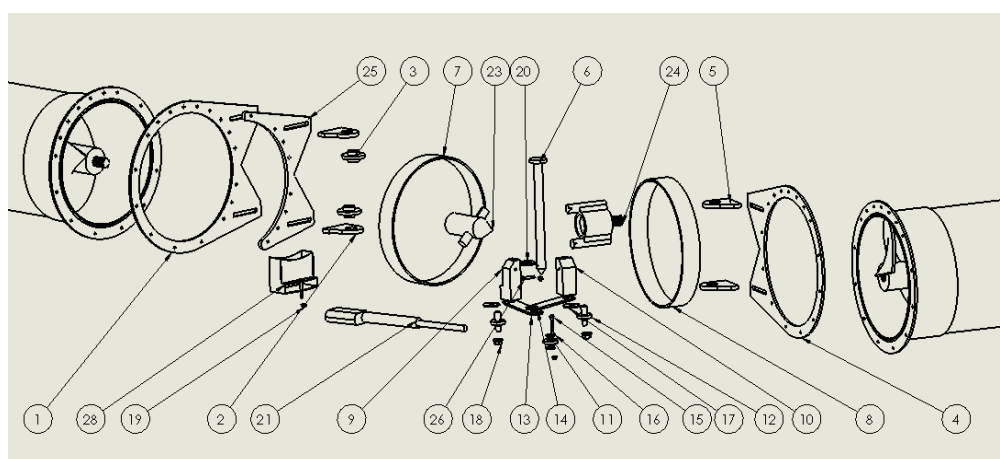


Figura 37: Vista explodida componentes do sistema

(Fonte: Produzido pelo autor)

TABELA 7: Custo de produção

NÚMERO	ITEM	QUAN TIDADE	CUSTO DE MATERIA PRIMA EM REAIS	CUSTO DE PRODUÇÃO/ MÃO DE OBRA EM REAIS
1	ARCO FIXO	1	57,00	37,5
2	ABA ARCO FIXO	2	16,00	17,5
3	BUCHA ARTICULAÇÃO	2	12,00	40,00
4	ARCO MÓVEL	1	55,60	37,5
5	ABA ARCO MÓVEL	2	15,00	17,5
6	PINO ARTICULAÇÃO	1	21,00	20,00
7	TUBO ARTICULAÇÃO FIXO	1	43,00	30,00
8	TUBO ARTICULAÇÃO MÓVEL	1	42,00	30,00
9	FIXAÇÃO ATUADOR 1	1	19,0	15,00
10	FIXAÇÃO ATUADOR 2	1	20,0	15,00
11	BUCHA LATÃO 2	1	7,00	35,00
12	BUCHA LATÃO 1	2	10,00	50,00
13	ARTICULAÇÃO ATUADOR 1	1	6,00	12,5
14	ARTICULAÇÃO ATUADOR 2	1	5,00	12,5
15	PARAFUSO ARTICULAÇÃO	1	2,50	

16	ARRUELA M8	2	1,50	
17	ARRUELA M16	2	3,00	
18	PORCA M16	2	4,00	
19	PORCA M8	3	2,50	
20	ARRUELA M20	1	4,00	
21	ATUADOR ELÉTRICO	1	500,00	
	300N + CABOS			
23	EIXO A	1	50,00	250,00
24	EIXO B	1	56,00	250,00
25	REFORÇO ARCO FIXO	1	51,00	28,50
26	PARAFUSO M8 X 45	1	1,50	
28	SUORTE DO ATUADOR	1	43,00	80,00
	MONTAGEM/ SOLDAGEM /PINTURA			300,00

(Fonte: Produzido pelo autor)

Com base na tabela de custos desenvolvida é possível definir um custo de produção de aproximadamente R\$ 2.326,10 para a produção de um protótipo, sendo que R\$ 1047,60 aproximadamente 45% do custo total será utilizado com aquisição de matéria prima e R\$ 1278,50 que corresponde a 55% serão gastos com serviços. Existem diversos meios reduzir o custo de produção além da otimização do projeto, dentre eles podemos produzir lotes maiores, sendo possível negociar melhores preços em matéria prima e também com as empresas que prestam serviços de usinagem e corte, se existir grande demanda pelo mecanismo é possível reduzir os custos de produção através da compra de maquinas de corte e usinagem, eliminando assim a necessidade de se terceirizar estes serviços.

5. CONCLUSÃO.

O trabalho teve como objetivo dimensionar um mecanismo para articulação do tubo descarregador de uma colheitadeira de cereais, realizar um estudo do custo de produção do mecanismo e analisar os dispositivos semelhantes utilizados pelas indústrias.

De um modo geral, o objetivo geral foi atendido, pois ao realizar a articulação do segmento traseiro em um ângulo de 90° ele fica em uma posição mais próxima ao corpo da colheitadeira, o que reduz os riscos de acidente durante manobras e torna possível reduzir o comprimento total da colheitadeira de 11,80 metros para 9,01 metros, gerando uma redução 2,79 metros o que é uma redução significativa.

Através da análise do mecanismos semelhantes utilizados no mercado optou-se por utilizar um atuador elétrico no sistema, tendo em vista que é um sistema com diversas vantagens se comparado com a implantação de um atuador hidráulico como custo de implantação e manutenção menor e menor riscos à saúde do operador e do meio ambiente considerando que não utiliza fluidos hidráulicos a alta pressão.

A produção do mecanismo em um software de CAD se mostrou muito importante pois reduziu muito o custo com produção de protótipos, através das ferramenta disponíveis foi possível verificar em ambiente virtual o funcionamento do mecanismo e modifica-lo até que atendesse os requisitos do projeto, muitos problemas foram identificados e rapidamente corrigidos em protótipos virtuais e com base nas ferramentas disponibilizadas foi possível realizar também uma otimização do mecanismo criado.

Através do software de CAE utilizando simulações de elementos finitos foi possível comprovar a resistência mecânica dos componentes do mecanismo as cargas e nas condições estipuladas e foi possível realizar correções e otimizações nos componentes para que o mecanismo chegasse ao coeficiente de segurança estipulado que é entre 1,5 e 2,0.

Foi realizado um breve estudo sobre o custo de produção dos componentes do mecanismo, este é um processo fundamental para determinação do valor de venda de qualquer produto e é fundamental para as decisões administrativas da empresa orientando investimentos ou indicando onde é necessário reduzir custos. Foi constatado que a produção de um protótipo na cidade de Toledo, teria um custo próximo a R\$ 2.326,10 sendo que aproximadamente 45% do custo total será utilizado com aquisição de matéria prima e 55% serão gastos com serviços de terceiros como corte e usinagem.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Estudo das interferências que o mecanismo de articulação de tubo descarregador pode causar ao funcionamento da colheitadeira.

Análise das variáveis em softwares de elementos finitos, afim de aproximar as simulações de condições reais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOUCHÉ, Ch. LEITNER, A. SANS, F. Dubbel - Manual da Construção de Máquinas. São Paulo, Hemus, 1979.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J.K. **ELEMENTOS DE MÁQUINAS DE SHIGLEY**. 8. ed. MC GRAW WILL, 2011.

DIN 8580, Disponível em < https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/DIN-8580-2003-389226_SAIG_DIN_DIN_883889/>

Filho E. B.; Silva I.B.; Batalha G.F.; Button S.T. **Conformação plástica dos metais** – 1. ed. dig. São Paulo : EPUSP, 2011.

Filho S.G.A.; Santos J.E.G.G. **Apostila de máquinas agrícolas**. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2001.

Guimarães O. **Primeira colheitadeira foi produzida no Brasil há 40 anos**.

Disponível em <<http://www.paginarural.com.br/noticia/27796/primeira-colheitadeira-foi-produzida-no-brasil-ha-40-anos>>

<https://blog.automotion.com.br/as-vantagens-de-escolher-atuadores-eletricos-%EF%BB%BF/> (05/04/2020) – acessado dia (05/04/2020) 9:30

ca – acessado dia (05/04/2020) 13:30

<https://www.claas-group.com/press-corporate-communications/press-releases/compatible-with-a-12-m-ctf-system--7xl-grain-tank-auger-for-lexion/899668> – acessado dia (05/04/2020) 13:30

<https://www.lexicarbrasil.com.br/slc/> - acessado dia (20/10/19) 10:20

<https://www.mecanicaindustrial.com.br/348-o-que-e-um-atuador-hidraulico/> – acessado dia (05/04/2020) 9:30

https://configure.deere.com/cbyo/#!/en_us/configure/85986764 acessado dia (05/04/2020) 11:30

M. W. Grigoletto. **Princípios da resistência dos materiais**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Milman M. J. **Equipamentos para pré-processamento de grãos**. Editora e Gráfica Universitária – UFPel, 2002

OLIVEIRA, E.; SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P. **Influência da colheita mecanizada na produção cafeeira**. Ciência Rural. vol.37, n.5, 1-6p. Setembro/Outubro, 2007.

patents.google.com/patent/US20070172338 – acessado dia (15/03/2019) 11:24

R.C. Valério; J.N. Brito; G. R. Souza. **Geração Automática de Desenhos na Plataforma CAD Solid Works a Partir de Células Paramétricas Desenvolvidas em Ambiente Visual Basic**. Departamento de Engenharia Mecânica - UFSJ - São João del Rei, MG, 2007.

Reimer M. ; Claerhout B. ; **Folding unloading auger with over center linkage**. Disponível em: < <https://patents.google.com/patent/US20070172338>>.

SILVA J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2. Ed. Viçosa. 2008.

ULRICH, K. & EPPINGER, S. **Product design and development**. New York: McGraw-Hill, 1995.

VIAN, C. E.F.; JÚNIOR, A.M.A. **Evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e tendências**. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. 1-19, p.25, 28 de julho de 2010.