



**Alisson Cristiano Wessel Reckziegel**

**DESENVOLVIMENTO DE CONCEITO PARA *ROW CLEANER* ELETRICAMENTE  
ATIVO**

Horizontina - RS  
2020

**Alisson Cristiano Wessel Reckziegel**

**DESENVOLVIMENTO DE CONCEITO PARA *ROW CLEANER* ELETRICAMENTE  
ATIVO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Adalberto Lovato

Horizontina - RS

2020

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

**“Desenvolvimento de conceito para *row cleaner* eletricamente ativo”**

Elaborado por:

**Alisson Cristiano Wessel Reckziegel**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 11/12/2020

Pela Comissão Examinadora

---

Me. Adalberto Lovato

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

---

Me. Alexandre Kunkel da Costa  
FAHOR – Faculdade Horizontina

---

Dr. Fauzi de Moraes Shubeita  
FAHOR – Faculdade Horizontina

À minha família por acreditar na minha capacidade e por apoiar todas as minhas decisões. Dedico também a todos os amigos que fiz nesta jornada.

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe Adeclaidi e meu pai Vanderlei que nunca mediram esforços para me ajudar e incentivar a continuar meus estudos.

Ao meu irmão Gustavo que se manteve paciente durante os períodos que estive mais ausente, mas mesmo assim sempre me recebeu com alegria.

À minha avó Edy, minha segunda mãe.

À minha namorada Geovana por ser a base que me manteve forte nos momentos de maior dificuldade nestes cinco anos.

Ao meu orientador Adalberto Lovato por todos os momentos que compartilhou seu conhecimento e atendeu minhas dúvidas.

À todos os professores e amigos que fizeram parte dessa longa caminhada.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para  
recomeçar com mais inteligência”.

(Henry Ford)

## RESUMO

Com a alta demanda do uso do sistema de plantio direto surge também a necessidade de um correto gerenciamento de resíduos. É nesse cenário em que os *row cleaners* tem seu destaque, pois são sistemas que atuam diretamente na palhada restante na superfície do solo. Mas como todo equipamento, eles possuem suas desvantagens como a baixa eficiência de limpeza em terrenos desnivelados e com excesso de material superficial. Auxiliado pela metodologia do realismo crítico proposta por Wang (2013) este trabalho tem como objetivo criar, construir, analisar e testar um conceito eletrificado para o equipamento utilizando como base modelos passivos já existentes no mercado e apresentando os passos de construção do projeto. Também são apresentados os modelos de testes desenvolvidos e as falhas encontradas como a fragilidade dos componentes dos controladores utilizados para variar a velocidade dos motores, além dos conhecimentos obtidos pelo autor como a criação de novos conceitos além dos processos de fabricação e suas variações. Também são propostos possíveis estudos futuros para a melhoria do sistema como um todo.

**Palavras-chave:** Plantio Direto. Limpeza. Eletrificação. *Row Cleaner*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de plantio direto no mundo (1000ha) nos anos 2008 e 2009 .....	16
Figura 2 - <i>Floating shark tooth row cleaner</i> .....	18
Figura 3 - Motor Imobras 101412412 - 12V 250W .....	19
Figura 4 - Aços e ferros fundidos comuns .....	20
Figura 5 - Sistema de nomenclatura das ligas de alumínio comuns .....	21
Figura 6 - Rolamento de esferas NSK.....	22
Figura 7 - Rolamentos de esferas comumente utilizados.....	23
Figura 8 - Rolamentos de Rolos comumente utilizados .....	24
Figura 9 - Variáveis envolvidas no processo de cálculo.....	25
Figura 10 - Anel representado como um retângulo .....	25
Figura 11 - Relação entre função, comportamento e estrutura .....	29
Figura 12 - <i>Martin Till's floating row cleaner BKW1360</i> .....	30
Figura 13 - 2967-029A/097A Short floatting row cleaner.....	31
Figura 14 - Dawn 4010 floating trashwheels™ .....	31
Figura 15 - Motor Imobras 101412412 + PWM 20A .....	34
Figura 16 - Unidade de plantio John Deere MaxEmerge™ 5.....	34
Figura 17 - Suporte para fixação na plantadeira .....	35
Figura 18 - Suporte de fixação na plantadeira.....	36
Figura 19 - Disco modelo <i>SharkTooth™</i> 13" .....	36
Figura 20 - Modelo <i>Trashwheels™</i> 14" .....	37
Figura 21 - Disco de corte desenvolvido pelo autor .....	38
Figura 22 - Roda de alumínio projetada pelo autor .....	39
Figura 23 - Ponta de eixo traseiro (AL801).....	39
Figura 24 - Eixo principal modelado pelo autor .....	40
Figura 25 - Cubo desenvolvido pelo autor.....	41
Figura 26 - Rolamento NSK 6004 ZZ .....	42
Figura 27 - Estrutura principal pós processo de solda .....	43
Figura 28 - Posicionamento <i>offset</i> .....	43
Figura 29 - Vista isométrica do projeto.....	44
Figura 30 - Caixa com componentes eletrônicos .....	45
Figura 31 - <i>Row cleaner</i> montado .....	45
Figura 32 - Sistema Trator - Disco de corte.....	46



Figura 33 - Propriedades de massa do disco de corte .....	48
Figura 34 - Peso do disco de corte fabricado .....	49
Figura 35 - Parte central do disco de corte .....	50
Figura 36 - Parte que representa os "dentes" do disco de corte .....	51
Figura 37 - Massa do espaço entre dentes .....	52
Figura 38 - Centro de gravidade de um dente .....	53
Figura 39 - Especificações do conjunto rotativo .....	54
Figura 40 - Campo pós colheita do trigo .....	56
Figura 41 - Conjunto adaptado em um carrinho de mão .....	57
Figura 42 - Resultado visual dos testes .....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ah – Amperes hora

AISI - American Iron and Steel Institute

CAD – *Computer-aided design* (Desenho assistido por computador)

DC - Corrente contínua

FAHOR – Faculdade Horizontina

PWM – *Pulse width modulation* (Modulador de largura de pulso)

SAE - Society of Automobile Engineers

V – Volts

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 TEMA .....	12
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	12
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....	13
1.4 HIPÓTESES .....	13
1.5 JUSTIFICATIVA .....	14
1.6 OBJETIVOS .....	15
<b>1.6.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>15</b>
<b>1.6.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1 PLANTIO DIRETO .....	16
2.2 <i>ROW CLEANER</i> .....	17
2.3 MOTOR ELÉTRICO DE CORRENTE CONTÍNUA .....	18
2.4 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO .....	19
<b>2.4.1 Aço carbono</b> .....	<b>19</b>
<b>2.4.2 Alumínio</b> .....	<b>20</b>
2.5 MANCAIS ROLAMENTO .....	21
<b>2.5.1 Rolamentos de esferas</b> .....	<b>22</b>
<b>2.5.2 Rolamentos de rolos retos</b> .....	<b>23</b>
2.6 MOMENTO DE INÉRCIA DE MASSA .....	24
2.7 ROTAÇÃO .....	26
<b>2.7.1 Velocidade Angular</b> .....	<b>27</b>
<b>2.7.2 Aceleração Angular média</b> .....	<b>27</b>
<b>2.7.3 Torque angular</b> .....	<b>27</b>
<b>2.7.4 Potência</b> .....	<b>28</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>28</b>
3.1 REALISMO CRÍTICO .....	28
<b>3.1.1 Processo de concepção</b> .....	<b>29</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>30</b>
4.1 MATERIAIS .....	30
<b>4.1.1 Materiais de pesquisa</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1.2 Materiais para construção do protótipo</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1.3 Materiais Consumíveis</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1.4 Serviços contratados</b> .....	<b>33</b>
4.2 CRIAÇÃO DO CONCEITO .....	33
<b>4.2.1 Motor elétrico</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2.2 Suporte de fixação na plantadeira</b> .....	<b>34</b>
<b>4.2.3 Discos de arraste</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2.4 Roda de alumínio</b> .....	<b>38</b>
<b>4.2.5 Eixo principal</b> .....	<b>39</b>
<b>4.2.6 Mancal de Rolamento</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2.7 Rolamento</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2.8 Estrutura principal</b> .....	<b>42</b>
<b>4.2.9 Montagem Final</b> .....	<b>43</b>
4.3 ANÁLISE MATEMÁTICA .....	46
<b>4.3.1 Rotação de serviço</b> .....	<b>46</b>
<b>4.3.2 Cálculo do momento de inércia de massa do conjunto rotativo</b> .....	<b>47</b>
<b>4.3.3 Cálculo de potência</b> .....	<b>54</b>

4.4 TESTES .....	55
4.4.1 Validação do conceito.....	55
CONCLUSÃO .....	59
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS.....	63
ANEXO A – DADOS TÉCNICOS DO MOTOR ELÉTRICO .....	72

## 1 INTRODUÇÃO

A disseminação da agricultura de precisão e o aumento da produção alimentícia mundial trouxe a necessidade de equipamentos mais inteligentes, que possam trabalhar em janelas de plantio menores e trazer uma maior quantidade de hectares plantada por dia. Dessa forma o plantio direto se mostra uma das formas mais eficientes pois elimina a necessidade de métodos de viração do solo, o que de certa forma reduz a emissão de CO<sup>2</sup> na atmosfera por não ser necessário a queima de combustíveis para mais um processo que use maquinário agrícola.

Com a introdução do plantio direto, alguns benefícios como a maior nutrição e a diminuição da erosão do solo foram incorporados à realidade agrícola pelo plantio direto. Mas, o acúmulo de resíduos provenientes da colheita pode se tornar um problema na germinação de novas plantas.

Mas, como todo processo, este método de plantio possui algumas peculiaridades a serem observadas, como a deposição excessiva de matéria orgânica por cima do solo. É nesse momento que o *row cleaner* desempenha seu papel mais importante: a remoção da palhada sobre a linha de plantio, essa função é executada por um ou mais discos dentados inclinados em direção ao centro do sulco. Um dos problemas do sistema é a sua dependência do arrasto proveniente da movimentação da plantadeira abrindo possibilidade de falhas por irregularidades do solo.

Para tentar solucionar o problema essa pesquisa buscou criar um conceito ativo de *row cleaner* que consiga evitar os problemas anteriormente mencionados por meio do acionamento de um motor elétrico diretamente ligado ao eixo do conjunto rotativo.

### 1.1 TEMA

Criação e apresentação de um conceito de sistema ativo de *row cleaner*, para uso em plantadeiras compatíveis com o sistema de plantio direto.

### 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho teve como objetivo apresentar o processo de criação, prototipagem e avaliação de um conceito de *row cleaner* que faça uso de motores elétricos para girar o conjunto de discos de arraste.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A prática do plantio direto exige um alto nível de gerenciamento de resíduos, pois ao mesmo tempo em que a palhada resultante da colheita protege o solo contra eventuais agressões como chuva e erosão, ela também pode se acumular sobre a semente que está em processo de crescimento, impedindo que ela absorva a quantidade ideal de recursos como a luz do sol que é tão necessária para a ideal emergência das plantas. É nesse momento que em que um sistema de limpeza para a linha de plantio se torna necessário, pois ele fará o correto acondicionamento do solo para melhor inserção da semente, evitando que a palhada fique sobre a planta impedindo seu crescimento, e também dificultando que as sementes fiquem com o distanciamento correto entre si.

O principal problema que resulta na baixa aceitação do *row cleaner* no cultivo direto regional, é sua baixa eficiência, ou seja, ele não “limpa” adequadamente a linha de plantio devido a necessidade de contato ideal com o solo para o correto funcionamento, deixando aberta a possibilidade de resíduos atrapalharem a correta emergência das novas plantas.

Tendo em vista esses pontos, o problema se mostra ser o seguinte: Um sistema eletrificado que seja independente da qualidade do solo e da movimentação da plantadeira poderia aumentar a eficiência da limpeza na semeadura?

### 1.4 HIPÓTESES

Hipóteses tem como objetivo propor possíveis soluções, que podem ou não, se provar serem a correta solução para o problema de pesquisa. A seguir, serão apresentadas propostas para a solução para as questões abordadas no presente trabalho, propostas essas baseadas em pesquisas previamente executadas em materiais específicos do assunto. As hipóteses são:

- a) Um sistema de *row cleaner* eletrificado aumenta a eficiência da limpeza do solo.
- b) Um motor elétrico de 250W e 12 volts para cada conjunto rotativo é suficiente para executar a tarefa desejada.
- c) Um conjunto de duas baterias de 12V e 7 amperes para cada motor terá a capacidade necessária para executar a função.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Quando se opta pelo uso de um sistema *row cleaner* aliado a prática do plantio direto, uma série de vantagens podem ser observadas, pois por ser um método de cultivo que não necessita o processo de aragem e gradeamento, elimina-se a utilidade de equipamentos como arados e *rippers*. O agricultor deve também investir na compra de um modelo de plantadeira compatível com o plantio direto, esses tipos de plantadeiras possuem discos de corte comumente chamados de *coulter* ou sulcador, mas com a aquisição do sistema *row cleaner*, o agricultor não necessita de nenhum dos componentes anteriormente listados pois o sistema em questão fará o gerenciamento dos resíduos de colheita, que são tão essenciais para a prática correta desta modalidade de plantio.

Deve-se destacar também o crescimento no número de tratores e outros equipamentos de tração já portadores de sistemas de eletrificação internos. Na prática, o trator possui em seu sistema de potência interno um gerador, que pode trabalhar tanto com corrente alternada ou contínua, essa inovação abriu oportunidades para eletrificar e tornar mais “inteligentes” os implementos agrícolas que antes eram puramente mecânicos ou hidráulicos. Nessa linha de inovações pretende-se inserir um sistema de gerenciamento de resíduos ativo, que não dependerá mais do arrasto mecânico produzido pela movimentação da plantadeira.

Os benefícios ambientais na utilização do plantio direto incluem a redução da erosão do solo, pois a palhada resultante da colheita anterior é mantida sobre o solo, formando assim, uma camada protetora que evita que os pingos de chuva danifiquem a superfície do solo, além de proteger contra a erosão hídrica e eólica. Outra vantagem é que posteriormente esses resíduos se tornarão fertilizantes para o solo, auxiliando o processo de crescimento da planta e a redução da emissão de CO<sup>2</sup> na atmosfera por não necessitar processos adicionais de viração de solo.

Pesquisas como a de Lekavičienė (2019) e Brandelero (2015) ressaltam a importância do uso de *row cleaners* e trabalham em análises de benefícios e malefícios quando comparado a outros implementos direcionados ao plantio.

Apesar de inúmeros investimentos para projetos de novos implementos, não foram encontrados estudos sobre o uso e performance de um *row cleaner* eletrificado provando ser uma pesquisa inovadora.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo Geral

Este trabalho visou desenvolver um novo conceito de *row cleaner*, que faz uso do acionamento de motores elétricos para a movimentação dos discos de arraste.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

Nesta seção são apresentados alguns objetivos específicos que se pretenderam alcançar com esta pesquisa, todos os tópicos estão diretamente ligados a questões de construir, comprovar o funcionamento do produto como uma forma mais eficiente de gerenciamento de resíduos para plantio direto. Pode-se destacar como objetivos a serem alcançados os seguintes tópicos:

- a) Definir o motor elétrico adequado para a movimentação dos discos de arraste.
- b) Projetar um conceito que comporte o sistema de eletrificação do conjunto.
- c) Construir um protótipo para demonstração e testes.
- d) Validar matematicamente e através de testes de campo.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 PLANTIO DIRETO

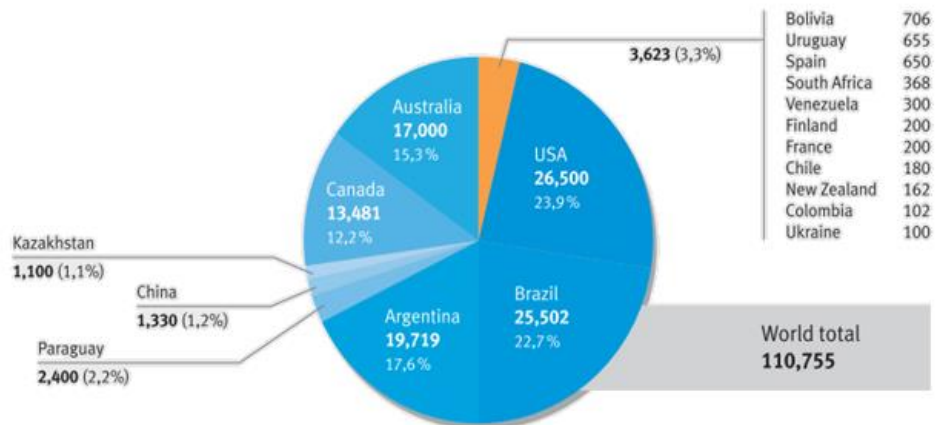
O plantio direto caracteriza-se pela rotação de culturas, a permanência de palhada ou outros tipos de matéria seca sobre o solo, que auxiliarão na proteção do solo e no crescimento das plantas, tudo aliado ao uso de herbicidas para controle de pragas como ervas daninhas e insetos (REIS *et al.*, 2007).

A eficácia e grande disseminação desse método de plantio é devido as condições altamente favoráveis proporcionadas pela matéria residual de culturas anteriores, que além de contribuir pro crescimento da planta, também contribui para a estabilização da produção e manutenção do solo (ALVARENGA *et al.*, 2001).

O plantio direto teve seu início nos Estados Unidos nos anos 1930, tendo como gatilho as tempestades de poeira no meio oeste do país, isto serviu de alerta para a insustentabilidade dos sistemas de plantio presentes na época. Em solo Brasileiro, a introdução se deve a necessidade também de sistemas de plantio mais sustentáveis, inicialmente, vários sistemas agrícolas foram adaptados para o cultivo direto, mas nos anos 1990, com a evolução das técnicas, do maquinário agrícola e a liberação do uso de herbicidas incentivou o uso de monoculturas industrializadas. Atualmente, a área de plantio direto brasileira é tão grande quando a norte-americana (GATTINGER *et al.*, 2011).

Ainda, de acordo com Gattinger et al., (2011) o sistema de plantio direto se desenvolveu diferentemente nos países que são os principais produtores para exportação, como EUA, Canadá, Brasil, Argentina e Austrália, do que em países em desenvolvimento. Como mostra na Figura 1, a adoção do plantio direto nos países em desenvolvimento é insignificante em comparação com a expansão do mesmo em países desenvolvidos e emergente da América do Norte e do Sul.

Figura 1 - Sistema de plantio direto no mundo (1000ha) nos anos 2008 e 2009



**Fonte:** Adaptado de (GATTINGER *et al.*, 2011)

## 2.2 ROW CLEANER

No processo tecnológico do plantio direto em fileiras, os *row cleaners* executam uma das mais importantes funções, que é a de remover os resíduos de plantas da linha de plantio, liberando assim o solo para que outras partes constituintes do sistema de plantio possam executar sua tarefa de inserir as sementes no solo (LEKAVIČIENĖ, Kristina *et al.* 2019).

Atualmente existem inúmeros tipos e configurações de *row cleaners* comercialmente disponíveis, mas a maior parte dos produtos disponíveis segue o conceito de dois discos sólidos com “dentes”, dispostos de maneira padronizada ao longo do perímetro (YETTER, 2003).

Figura 2 - *Floating shark tooth row cleaner*



**Fonte:** YETTER, Acesso em 06/07/2020

Os *row cleaners* limpam a linha de plantio devido ao arrasto gerado pela inclinação de seus discos de arraste, deixando a área facilmente acessível para os discos de plantio depositarem as sementes.

### 2.3 MOTOR ELÉTRICO DE CORRENTE CONTÍNUA

Motores de acionamento elétrico por corrente contínua são divididos no geral em três partes principais: carcaça, estator e rotor. Os equipamentos que funcionam utilizando a comumente chamada gaiola de esquilo funcionam utilizando barras individuais curto-circuitadas em suas extremidades por anéis e são dispostas de forma radial. O movimento é produzido quando o a eletricidade provinda da fonte de energia produz um campo magnético que interage com o campo do estator gerando um torque, este torque gira o rotor no mesmo sentido de rotação que o campo magnético do estator (PETRUNZELLA, 2013.)

Este tipo de motor é empregado em situações onde a aplicação exige acionamento de velocidade e precisão de torque aplicado, com o uso de fontes retificadoras de potência pode-se destacar o controle da velocidade proveniente da transformação da corrente alternada em contínua (SIEMENS, 2006).

Segundo Siemens (2006), este tipo de motor é bastante utilizado em indústrias, podendo ser ligado de dois modos: independentes ou em série.

Figura 3 - Motor Imobras 101412412 - 12V 250W



Fonte: IMOBRAS, Acesso em 04/07/2020

## 2.4 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Os materiais compõem uma das partes mais importantes na prototipagem, com esta seção pretende-se apresentar os principais que foram utilizados para manufatura dos componentes projetados.

### 2.4.1 Aço carbono

Dentro da família dos materiais à base de ligas ferro-carbono podemos definir os aços como materiais que possuem em suas características mecânicas uma grande sensibilidade a alterações em seu teor de carbono, que no geral é abaixo de 1% (Jr., C.W. D., 2019).

Aços com baixo teor de carbono também conhecidos como “aços doces” tem como característica o teor de carbono inferior a 0,25%. Eles possuem uma baixa resistência, são muito dúcteis e podem ser endurecidos em processos à frio ou por tratamento térmico, sendo que este último gera ganhos pequenos de endurecimento final no material. O uso mais comum deste tipo de aço é o estrutural em diversas áreas da mecânica como construção civil e automotiva (DOWNLING, 2017).

Para facilitar a identificação dos níveis de carbono existentes nos aços foram desenvolvidas algumas denominações padrão para os aços, dentro destas podem-se destacar as criadas pela AISI e SAE. A Nomenclatura concebida possui de quatro a cinco dígitos, onde os dois primeiros números identificam a liga que compõe o material e os últimos a quantidade de elemento carbono presente na massa total,

como por exemplo o aço SAE 1020 que possui 0,20% de carbono em sua totalidade (BHATTACHARYA *et al.*, 2014).

Já nos aços de médio teor de carbono, podemos encontrar concentrações do material entre 0,25% e 0,60%, um exemplo deste é o SAE 1045 que segundo a nomenclatura possui 0,45% de Carbono em sua composição. As aplicações mais comuns em solicitações que exijam maior dureza e resistência ao desgaste, como engrenagens, eixos e trilhos de trem por exemplo (JR., C.W. D., 2019).

Figura 4 - Aços e ferros fundidos comuns

Descrição	Exemplo de Identificação	Exemplo de N° UNS	C
Ferro fundido dúctil	ASTM A395	F32800	3,5
Aço baixo carbono	AISI 1020	G10200	0,2
Aço médio carbono	AISI 1045	G10450	0,45
Aço alto carbono	AISI 1095	G10950	0,95
Aço baixa liga	AISI 4340	G43400	0,4
Aço BLAR	ASTM A588-A	K11430	0,15
Aço inoxidável martensítico	AISI 403	S40300	0,15
Aço inoxidável austenítico	AISI 310	S31000	0,25
Aço inoxidável endurecível por precipitação	17-4 PH	S17400	0,07
Aço rápido (aço ferramenta) a base de tungstênio	AISI T1	T12001	0,75
Aço maraging 18 Ni	ASTM A538-C	K93120	0,01

Fonte: Adaptado de Dowling, 2017

## 2.4.2 Alumínio

As ligas de alumínio apresentam características diferenciadas no que tange a comparação os demais materiais como os derivados ferrosos, como por exemplo a inexistência de comportamento ferromagnético e uma boa resistência a corrosão e oxidação (BHATTACHARYA *et al.*, 2014).

Assim como os aços carbono o alumínio possui sua própria nomenclatura de identificação no caso do processo de fabricação via extrusão ou laminação, tratam-se de quatro dígitos onde o primeiro identifica a liga principal e os demais componentes presentes na combinação, além disso, pode-se seguir de uma letra e um número adicional que correspondem ao tipo de processamento que o material sofreu (DOWLING, 2017).

Figura 5 - Sistema de nomenclatura das ligas de alumínio comuns

Série	Adições Principais	Outras Adições Frequentes	Tratável Termicamente?
1XXX	Nenhuma	Nenhuma	Não
2XXX	Cu	Mg, Mn, Si, Li	Sim
3XXX	Mn	Mg, Cu	Não
4XXX	Si	Nenhuma	Praticamente não
5XXX	Mg	Mn, Cr	Não
6XXX	Mg, Si	Cu, Mn	Sim
7XXX	Zn	Mg, Cu, Cr	Sim
Designação do Processamento		Tratamentos Comuns do Tipo TX	
-F	Como fabricado	-T3	Trabalhado a frio e envelhecido naturalmente
-O	Recozido	-T4	Envelhecido naturalmente
-H1X	Trabalhado a frio	-T6	Envelhecido artificialmente
-H2X	Trabalhado a frio e, então, parcialmente recozido	-T8	Trabalhado a frio e envelhecido artificialmente
-H3X	Trabalhado a frio e estabilizado	-TX51	Alívio de tensão por estiramento
-TX	Solubilizado e posteriormente envelhecido		

Fonte: Dowling, 2017

Segundo Bhattacharya (2014), atualmente o uso do alumínio está distribuído da seguinte forma: 25% para o setor de transportes, 25% na fabricação de latas para bebidas e embalagens, 15% para construção, 15% para aplicações elétricas e os 20% restantes estão distribuídos nos demais setores que necessitem demanda deste material.

Algumas particularidades mecânicas das ligas de alumínio podem ser destacadas como a facilidade do processamento mecânico, a alta condutividade térmica e elétrica, além da facilidade de ser reciclado, sendo necessário apenas 5% de energia quando comparado ao processo de produção inicial a partir da alumina (BHATTACHARYA *et al*, 2014).

## 2.5 MANCAIS ROLAMENTO

Mancais de rolamento tem a função primordial de suportar cargas e sustentar movimentação de eixo e demais itens mecânicos que demandem movimentação rotacional. Rolamentos recebem este nome devido aos corpos, geralmente esferas ou rolos, que movimentam-se entre a pista externa que fica em contato com o cubo do mancal, e a pista interna que é acoplada ao eixo rotativo (ALMEIDA, 2017).

Figura 6 - Rolamento de esferas NSK

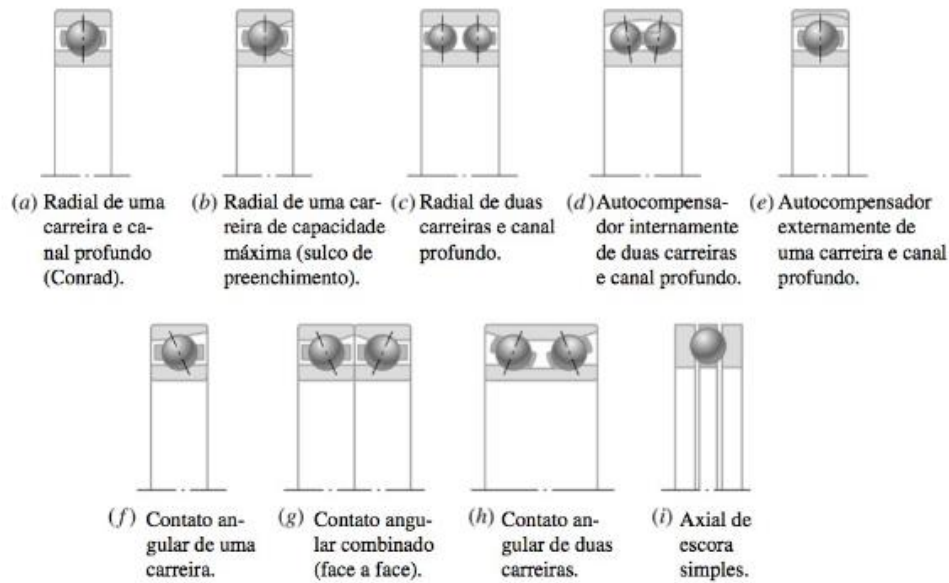


Fonte: NSK, acesso em 15/10/2020

### **2.5.1 Rolamentos de esferas**

Por aguentar tanto cargas radiais quanto radiais moderadas em qualquer direção, o rolamento de esferas é provavelmente um dos tipos mais utilizados. Além disso eles são relativamente baratos e fáceis de se encontrar, podendo operar em grandes faixas de velocidades (HANS, 2006).

Figura 7 - Rolamentos de esferas comumente utilizados



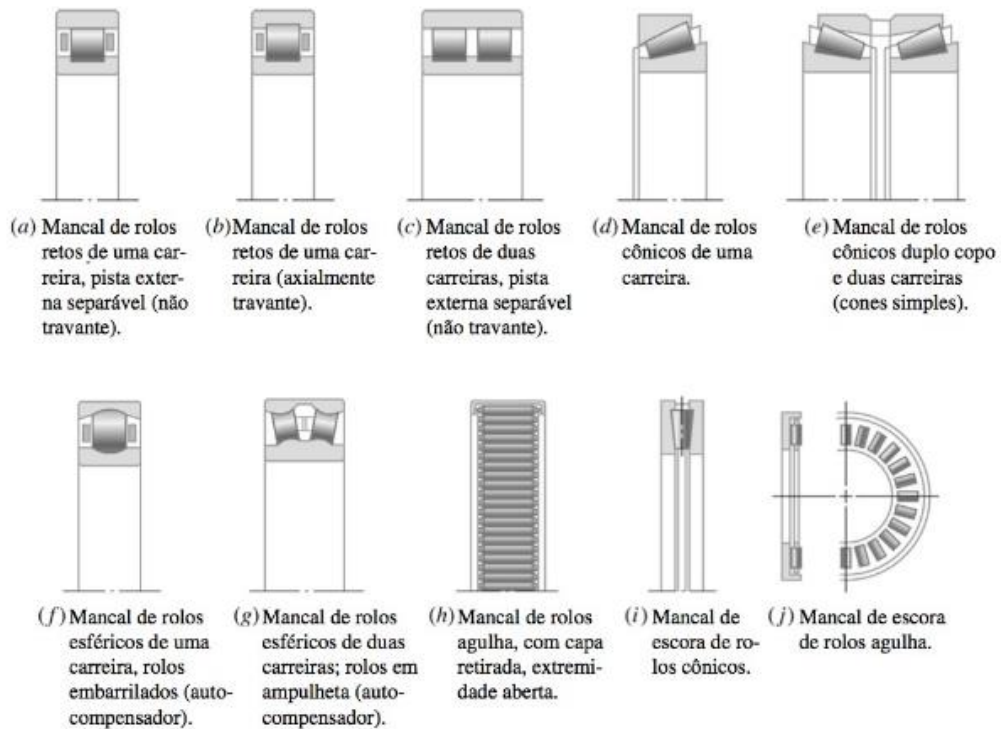
Fonte: HANS, 2006, p. 362.

### 2.5.2 Rolamentos de rolos retos

Os rolamentos de rolos retos caracterizam-se por suportarem maiores cargas radiais devido a maior área de contato entre os rolos e as pistas. Mas, devido ao alto nível de alinhamento necessário entre os componentes, qualquer alteração em sua geometria pode inutilizar o sistema. Por isso os rolamentos de rolos retos não trabalham com esforços axiais. Para necessidades que necessite resistência tanto axial quanto radial, pode-se utilizar os rolamentos cônicos (KEITH, 2016).



Figura 8 - Rolamentos de Rolos comumente utilizados



Fonte: HANS, 2006, p. 364.

## 2.6 MOMENTO DE INÉRCIA DE MASSA

O momento de inércia de massa trata-se de uma análise de como a massa de um objeto é distribuída em torno de um eixo de rotação, que pode ser posicionado tanto no centro de gravidade do objeto quanto em outro ponto. Diferente do momento de inércia de área, que usa as relações dimensionais de uma face do objeto, o processo descrito anteriormente usa as relações de volume e densidade do objeto analisado (FRANCESCO, *et al*, 2014).

Segundo Hibbeler (2011) o momento de inércia de massa também pode ser entendido como à resistência de um corpo ao início da aceleração angular e pode ser definido como:

$$I = \int r^2 dm \quad (1)$$

Onde:

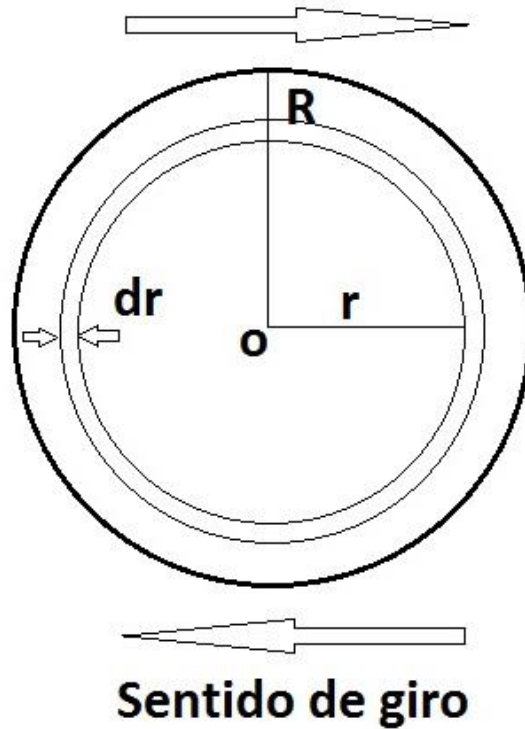
I = Momento de inércia de massa

r = Raio do objeto

dm = massa infinitesimal

Para o cálculo do momento de inércia de um disco como pode ser ilustrado na figura 9.

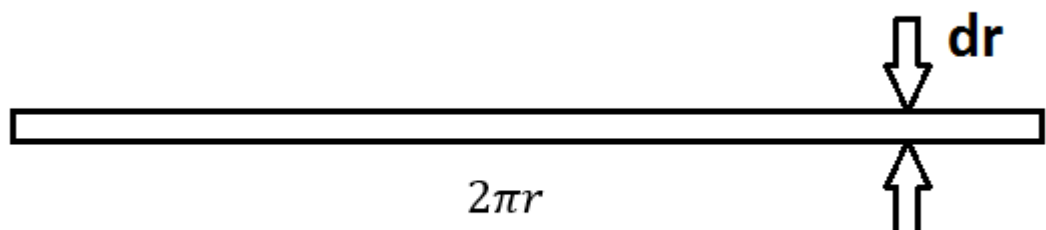
Figura 9 - Variáveis envolvidas no processo de cálculo



Fonte: Autor, 2020

O anel central possui uma “espessura”  $dr$  que é infinitamente pequena, e o mesmo pode ser convertido em um retângulo de comprimento  $2\pi r$  como pode ser visto na figura 10.

Figura 10 - Anel representado como um retângulo



Fonte: Autor, 2020

Dessa forma podemos concluir que a área infinitesimal  $dA$  deste retângulo é a apresentada na equação 1.

$$dA = 2\pi r * dr \quad (1)$$

No caso de chapas, em termos de densidade a medida que melhor as caracterizam é a sua área, neste caso representada pela densidade linear  $\sigma$ , também assumimos que a distribuição de massa no disco é constante, resultando na equação 2 e então isolando o  $dm$  obtemos a equação 3.

$$\sigma = \frac{dm}{dA} = \frac{m}{A} \quad (2)$$

$$dm = \frac{m}{A} dA \quad (3)$$

Agora, substituindo  $dA$  pela equação 4 e substituindo  $dm$  na integral original, tem-se a seguinte equação:

$$I = \int_r^R r^2 \frac{m}{A} 2\pi r * dr \quad (4)$$

Onde:

$R = R_e =$  Raio externo do disco

$r = R_i =$  Raio interno do disco

Isolando as constantes e calculando a integral de  $r^2$  de  $r$  até  $R$  tem-se como resultado a equação 5 que retorna o momento de inércia de massa de um disco com furo central.

$$I = \frac{1}{2} * m * (R_i^2 + R_e^2) \quad (5)$$

## 2.7 ROTAÇÃO

A rotação pura é o movimento de um corpo rígido em torno do seu eixo de giro em seu centro onde todos os pontos do corpo movem-se com o mesmo ângulo

em um mesmo intervalo de tempo. Este movimento também pode ser chamado de movimento angular (HALLIDAY, 2012).

### 2.7.1 Velocidade Angular

Segundo Halliday (2012), a velocidade angular pode ser definida como o deslocamento angular  $\Delta\theta$  que ocorre em função da variação de tempo  $\Delta t$ , a mesma pode ser vista na equação 6.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (6)$$

A unidade de medida padrão no sistema SI é rad/s, mas, a medida revoluções por segundo ou RPM também é uma forma válida de representação. Para a conversão de RPM para rad/s a equação 7 pode ser usada (HALLIDAY, 2012).

$$\omega = \frac{\pi*n}{30} \quad (7)$$

### 2.7.2 Aceleração Angular média

Quando um corpo não possui uma velocidade angular constante, o mesmo possui uma aceleração angular média. A definição da equação 8 é entendida como a variação da velocidade angular dividida pela variação de tempo (HALLIDAY, 2012).

$$\alpha_{méd} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (8)$$

Neste caso a unidade de medida padrão é rad/s<sup>2</sup>.

### 2.7.3 Torque angular

No caso do torque de um movimento circular, temos uma similaridade entre a equação 9 que representa a 2ª lei de Newton e a equação 10 que apresenta o torque. Os termos  $a$  e  $\alpha$  representam a aceleração linear e angular respectivamente,  $m$  e  $I$  são a massa e o momento de inércia também respectivamente, as duas

representam a resistência a mudanças no movimento. Por último o torque  $\tau$  basicamente é a representação angular da força  $F$ .

$$F = m * a \quad (9)$$

$$\tau = I * \alpha \quad (10)$$

A unidade final de torque é expressa em Nm.

#### 2.7.4 Potência

A potência pode ser expressa como a quantidade de energia convertida em energia mecânica ou térmica a cada segundo. Para calcular a potência de um sistema em rotação é utilizada a equação 11. A unidade padrão para potência é Watts ou joules por segundo j/s.

$$P = \tau * \omega \quad (11)$$

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção será descrita a metodologia que direcionou o desenvolvimento do presente trabalho, o tipo de pesquisa e materiais que foram utilizados.

O processo inicial de concepção começou pela pesquisa bibliográfica e de catálogos que possam auxiliar na decisão de qual é o motor que melhor atende as especificações para aplicação proposta pelo projeto.

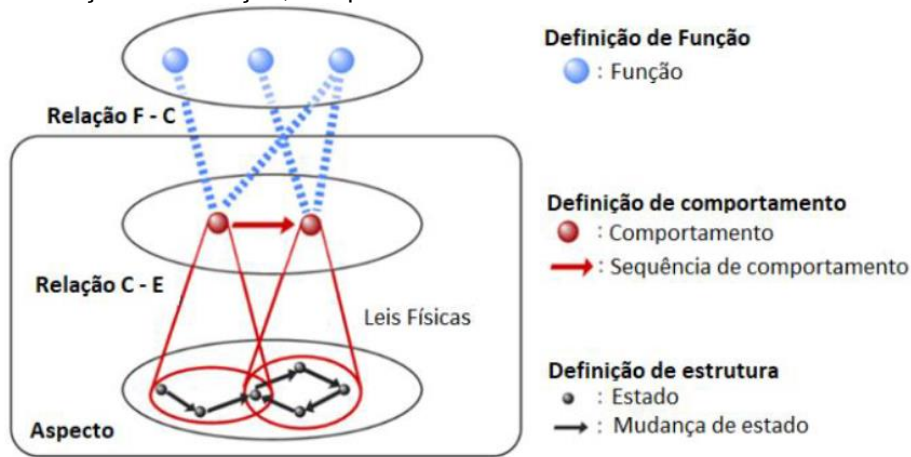
Na busca pela validação do conceito projetado no presente trabalho, serão analisados e quantificados parâmetros que podem influenciar no resultado final, o que se caracteriza como uma pesquisa experimental (GIL, 2002).

#### 3.1 REALISMO CRÍTICO

O presente trabalho abordará o método de vista realista crítica, que explana os conhecimentos diretamente ligados aos artefatos de design. Estes artefatos são direcionados pelos domínios: função, que se refere a intenção ou objetivo do artefato; o comportamento, descreve o que o artefato faz e como realiza suas funções; e a estrutura, descreve os componentes que identificam o artefato e suas

intenções (WANG *et al.*, 2013). Há certas abordagens que derivam os elementos do artefato, conforme explicado na figura 11.

Figura 11 - Relação entre função, comportamento e estrutura



**Fonte:** Adaptada de TAKEDA, et al., 1996.

A função do conceito a ser desenvolvido com esta pesquisa é de remover eficientemente os resíduos restantes de colheitas anteriores para que se possa obter melhores benefícios do sistema de plantio direto. Relacionando o método do realismo crítico e a engenharia em si, o autor busca estudar conceitos similares e as relações mecânicas que possam fazer com que o resultado final esperado seja alcançado.

O comportamento esperado pode ser definido como varredura superficial do solo proporcionada pela rotação do disco dentado impulsionado por um motor elétrico definido pelo autor. E a estrutura é o formato final desenvolvido relacionando a função e o comportamento, ou seja, o conceito final.

### 3.1.1 Processo de concepção

O processo de criação do conceito foi feito através de interações e *brainstorm's* de ideias entre aluno e orientador com intuito de definir os objetivos que seriam interessantes de serem alcançados com a pesquisa.

As primeiras decisões envolveram a escolha de um motor elétrico que poderia ser adequado para a função requerida e que pudesse ser adaptado ao sistema fisicamente, posteriormente procederam-se a modelagem dos demais itens, a

fabricação dos mesmos e por último a montagem dos componentes e o teste do conjunto.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 MATERIAIS

Para execução da modelagem do conceito foi utilizado o *software* CAD, SolidWorks® 2016. Nesta parte do trabalho foram analisados diversos modelos de *Row Cleaners* de diferentes fabricantes, na busca do modelo que poderia ser melhor convertido para o sistema elétrico. Alguns exemplos de modelos analisados podem ser vistos nas figuras 12, 13 e 14.

Após a análise, iniciou-se o processo de criação do conceito proposto por este trabalho.

Figura 12 - *Martin Till's floating row cleaner BKW1360*



**Fonte:** Retirado de [store.martintill.com](http://store.martintill.com), Acesso em 18/10/2020

Figura 13 - 2967-029A/097A Short floatting row cleaner



**Fonte:** Retirado de yetterco.com, Acesso em 18/10/2020

Figura 14 - Dawn 4010 floating trashwheels™



**Fonte:** Adaptado de dawnequipment.com, Acesso em 18/10/2020

#### **4.1.1 Materiais de pesquisa**

Para desenvolvimento da pesquisa foram utilizados livros de referência para decisão dos materiais, processos e demais itens que necessitem análises antes da escolha. Além disso, vários sites de fornecedores tanto de equipamentos similares quanto de itens comerciais utilizados no projeto, como os motores elétricos e rolamentos.



#### **4.1.2 Materiais para construção do protótipo**

Diversos materiais foram utilizados para fabricação do projeto, alguns deles serão listados a seguir:

- Chapas de aço carbono SAE 1020 nas espessuras de 4,75mm, e 9,53mm
- Barra de aço carbono SAE 1045 diâmetro 25mm x 200mm de comprimento
- Bloco de alumínio 6351 T6 Diâmetro 250mm x 65mm
- Rolamentos NSK 6004 ZZ
- Anel trava para rolamento de diâmetro externo 42mm
- Parafusos sextavados M20
- Porcas sextavadas M20
- Arruelas M20
- Parafusos sextavados M8
- Porcas sextavadas M8
- Arruelas M8
- Parafusos sextavados M12
- Porcas sextavadas M12
- Arruelas M12
- Motores IMOBRAS 101412412 + PWM 20A
- Baterias 12v 7Ah
- Fio elétrico 2,5mm flexível preto
- Fio elétrico 2,5mm flexível vermelho
- Conectores elétricos tipo fêmea
- Caixa plástica vedada

#### **4.1.3 Materiais Consumíveis**

Os materiais consumíveis utilizados no projeto foram:

- Tinta Spray preto fosco e preto semi brilho
- Consumíveis de processo de solda
- Consumíveis de processo de usinagem

- Folhas de Papel A4 e A3 para impressão de desenhos técnicos

#### **4.1.4 Serviços contratados**

Para fins de aceleração do processo de fabricação, e cobrir itens que não poderiam ser manufaturados pelo próprio autor, foram contratados os seguintes serviços:

- Serviço de corte e dobra de chapas metálicas
- Serviço de usinagem

## **4.2 CRIAÇÃO DO CONCEITO**

Em sequência, será apresentado o processo de análise e decisões que levaram ao desenvolvimento do conceito apresentado pela pesquisa. A apresentação será dividida pelos módulos principais que fazem parte do projeto de *row cleaner* idealizado pelo autor.

### **4.2.1 Motor elétrico**

O primeiro tópico abordado pela pesquisa foi qual seria o motor elétrico mais adequado para os primeiros testes. A decisão levou em questão pontos como: Potência, torque, tamanho e aplicações utilizadas. Normalmente o caminho correto a se seguir é o dimensionamento do motor em função da carga que ele deve suportar, o que necessita os conjuntos já estarem finalizados, mas devido à necessidade de se ter o motor fisicamente presente para o dimensionamento correto das demais peças, suportes e os problemas de atrasos com encomendas devido a pandemia de covid-19 o componente em questão foi o primeiro a ser comprado.

O modelo escolhido foi o motor da marca IMOBRAS modelo 101412412 que possui potência de 250W, além disso o mesmo opera a uma tensão de 12v e corrente de até 25A. Para controle da velocidade de rotação foi utilizado o circuito elétrico PWM que acompanha o modelo, o conjunto pode ser visualizado na figura 15.

Figura 15 - Motor Imobras 101412412 + PWM 20A

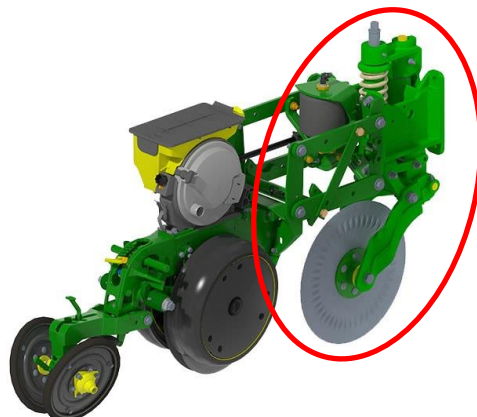


Fonte: Autor, 2020

#### 4.2.2 Suporte de fixação na plantadeira

O suporte foi o primeiro módulo a ser idealizado, ele tem como objetivo de fixar todo o sistema à plantadeira que será utilizada. Para criação do conjunto apresentado foi utilizada como base uma unidade de plantar John Deere MaxEmerge™ 5, apresentada na figura 16, presente me plantadeiras como a série 2100 CCS e DB da mesma fabricante em questão. Esta unidade já possui em sua estrutura a furação necessária para instalação de um sistema *row cleaner*, o que facilita a fixação do mesmo não tendo a necessidade de “adaptações”, sendo necessária apenas a remoção do “Coulter”, indicado também na figura 16.

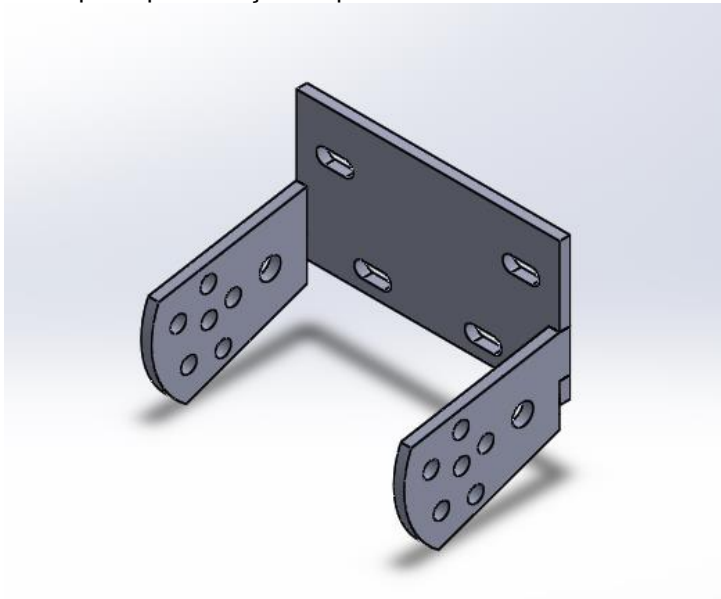
Figura 16 - Unidade de plantio John Deere MaxEmerge™ 5



**Fonte:** Adaptado de deere.com.br, Acesso em 18/10/2020

Tendo os parâmetros definidos, foi possível modelar o conjunto de fixação apresentado na figura 17. Pode-se destacar as furações presentes nas abas laterais, que abrem a possibilidade de ajustes de ângulo para melhor interação com o solo.

Figura 17 - Suporte para fixação na plantadeira



**Fonte:** Autor, 2020

Para manufatura do conjunto, foi necessária a contratação do serviço de corte a laser para atingir-se o formato esperado, o material utilizado foi aço carbono SAE 1020 com 9,53mm de espessura. Posteriormente o Conjunto foi soldado no laboratório de solda do campus Arnoldo Schneider da Faculdade Horizontina. O resultado final pode ser avaliado na figura 18.

Figura 18 - Suporte de fixação na plantadeira



Fonte: Autor, 2020.

#### 4.2.3 Discos de arraste

Para decisão do modelo de disco que seria utilizado no projeto, foram analisados alguns modelos para melhor tomada de decisão, como por exemplos o *SharkTooth™* produzido pela empresa *Yetter co.* mostrado na figura 19, e o modelo *Trashwheels™* pertencente a empresa Dawn, figura 20.

Figura 19 - Disco modelo *SharkTooth™* 13"



Fonte: Retirado de [yetterco.com](http://yetterco.com), Acesso em 17/07/2020

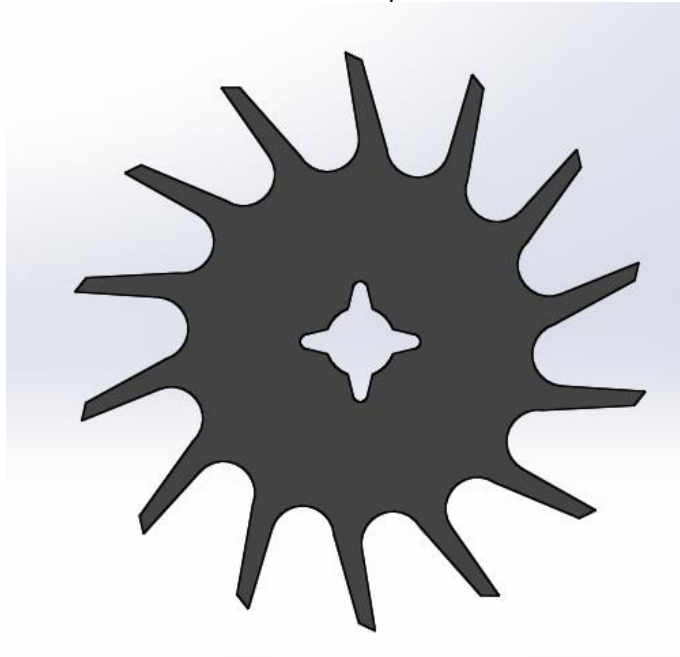
Figura 20 - Modelo *Trashwheels™* 14”



**Fonte:** Retirado de [dawnequipment.com](http://dawnequipment.com), Acesso em 17/07/2020

Optou-se por modelar um item similar ao produzido pela empresa *Dawn*, mas, com um tamanho de 13” de diâmetro até a ponta de seus “dentes” e fabricado em chapa metálica SAE 1020 com 4,75mm de espessura e cortada no processo à laser, diferente do modelo original que é de liga fundida. O motivo da escolha deve-se ao fato de como o modelo de disco possui uma espessura menor de seus dentes, e conseqüentemente menos massa, tem-se um menor momento de inércia, o que facilita o início do movimento por parte do motor elétrico. Como resultado final, tem-se a peça mostrada na figura 21.

Figura 21 - Disco de corte desenvolvido pelo autor



Fonte: Autor, 2020

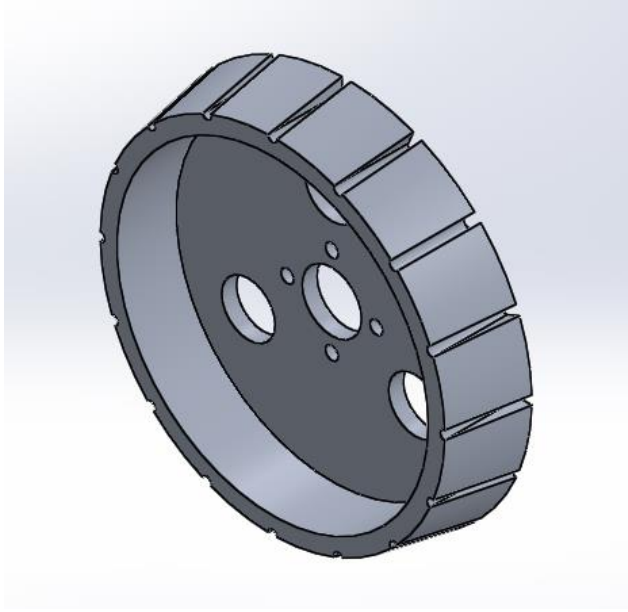
#### 4.2.4 Roda de alumínio

Para manter a eficiência do *row cleaner* mais alta possível, o ideal é que o sistema trabalhe a maior parte do tempo possível na superfície do solo onde se encontra a maior parte da palhada resultante do processo de colheita. Com isso surge a necessidade de um “regulador” para que os discos de corte não penetrem o solo além do necessário, neste contexto foi adicionado ao projeto uma “roda” de alumínio com diâmetro aproximadamente 75mm menor que o disco para executar a função de limitar a profundidade de ação do sistema.

Este item é oferecido como opcional por outros fabricantes e é inicialmente fabricado com liga de alumínio fundido ou polímero plástico. Para este projeto, o autor utilizou um bloco cilíndrico de alumínio maciço 6351 T6, que passou por processos de usinagem e fresagem dentro dos próprios laboratórios da FAHOR, a escolha deste processo deu-se pela maior facilidade de fabricação pelo autor e alto valor de investimento necessário para fundição de baixa quantidade de peças.

O design final visto na figura 22 privilegia a fabricação manual, mas mantém os requisitos necessários para correto funcionamento do *row cleaner* como um todo.

Figura 22 - Roda de alumínio projetada pelo autor



Fonte: Autor, 2020

#### 4.2.5 Eixo principal

Definido o disco de corte, o próximo passo foi criar um eixo rotativo, que deve ter tanto a capacidade de sustentar o item citado anteriormente, quanto ser compatível com o eixo de saída do motor. Para criação da peça em questão, buscou-se embasamento em algum item que poderia ter a geometria compatível, como por exemplo uma “ponta de eixo” automotiva, encontrada em diversos automóveis no mercado como a demonstrada na figura 23.

Figura 23 - Ponta de eixo traseiro (AL801)

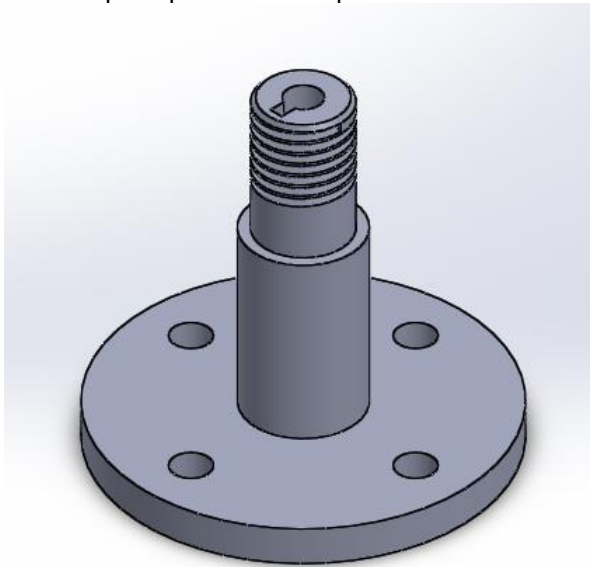


Fonte: Retirado de girardiautopecas.com.br, Acesso em 18/07/2020



Como o esforço de trabalho sobre o eixo do projeto será menor que o suportado por um mesmo item de uso automotivo, o autor optou por um conceito mais simples apresentado na figura 24 e que diferente do rolamento cônico utilizado na indústria utilize um rolamento rígido de esferas, decisão que será detalhada posteriormente neste trabalho.

Figura 24 - Eixo principal modelado pelo autor



**Fonte:** Autor, 2020

Na primeira versão, a peça seria fabricada de um cilindro maciço de aço carbono SAE 1045 que seria usinado até as cotas necessárias, mas, para evitar a perda excessiva de material no processo, o autor optou por separar o eixo em 2 partes, a flange principal, fabricada em chapa metálica de aço SAE 1020 9,53mm cortada à laser e responsável pela fixação do disco, e o eixo em si que foi fabricado à partir de um cilindro de aço SAE 1045 usinado no laboratório de conformação mecânica da FAHOR.

Posteriormente os itens foram unidos por um processo de solda e a flange foi usinada para corrigir deformações provenientes do calor gerado no processo de fusão descrito anteriormente, posterior a retirada de material a flange ficou com espessura final de 8mm.

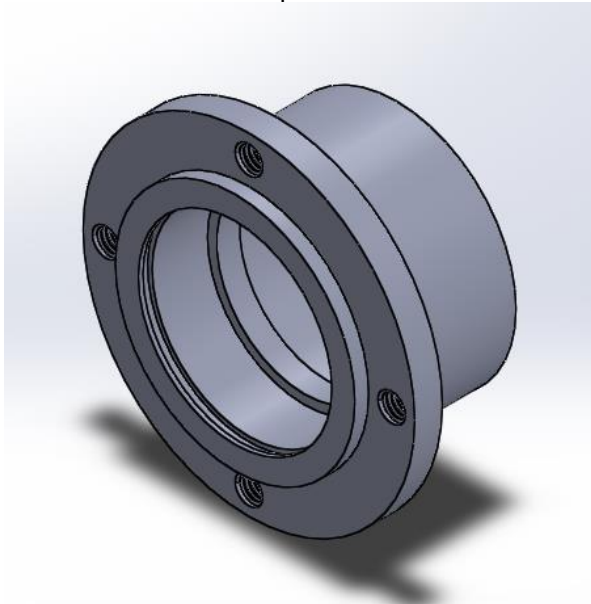
Por último, foi feito um pequeno rasgo de tamanho definido para inserção de uma chaveta, que fará o papel de travar o eixo principal e o eixo do motor juntos.

#### 4.2.6 Mancal de Rolamento

Como na maioria dos sistemas que exigem sustentação de eixos giratórios, neste projeto não foi diferente. O conceito de mancal – ou cubo – desenvolvido é simples e tem como características a possibilidade abrigar um rolamento de 12mm e possui um rebaixo para inserção de um anel de retenção, além disso, o mesmo tem a função de “apoiar” o motor elétrico e manter o eixo do mesmo alinhado ao eixo principal do disco de corte.

O item foi fabricado por um fornecedor terceirizado em aço carbono SAE 1020.

Figura 25 - Cubo desenvolvido pelo autor



**Fonte:** Autor, 2020

Inicialmente este componente foi projetado para ser fixado através de parafusos *allen* M6, mas devido a erros de fabricação por parte do fornecedor contratado que impossibilitaram o alinhamento entre as furações do cubo e das chapas da estrutura principal o autor optou por soldar o componente diretamente na estrutura principal, que é o local em que seria montado.

#### 4.2.7 Rolamento

O rolamento escolhido pelo autor tem como função reduzir o atrito das partes mecânicas e facilitar a rotação do conjunto, para o projeto foram selecionados

rolamentos NSK rígidos de esferas de fila única, além disso os mesmos possuem blindagens para evitar a entrada de sujidades e podem trabalhar com rotações de até 19000 RPM.

Figura 26 - Rolamento NSK 6004 ZZ



**Fonte:** Adaptado de [nsk.com.br](http://nsk.com.br), Acesso em 15/09/2020

Como trata-se de um protótipo optou-se por utilizar este tipo de rolamento mais simples com dimensões de 20x40x12 mm, respectivamente diâmetro interno, diâmetro externo e espessura. Mas, para um produto final seria válida uma análise do tipo de rolamento que teria o melhor desempenho para o projeto como por exemplo as opções com mais filas de esferas ou até mesmo os cônicos de rolos cilíndricos.

#### **4.2.8 Estrutura principal**

Após todos os componentes móveis que impactavam diretamente no funcionamento do *row cleaner*, o autor iniciou o processo de modelagem dos “braços” que formam a estrutura principal e mantém os componentes unidos.

As chapas que formam o conjunto foram cortadas em chapa 9,53mm de aço carbono SAE 1020, o corte das mesmas foi feita em um fornecedor terceiro no processo à laser e foram posteriormente soldadas nos laboratórios da FAHOR.

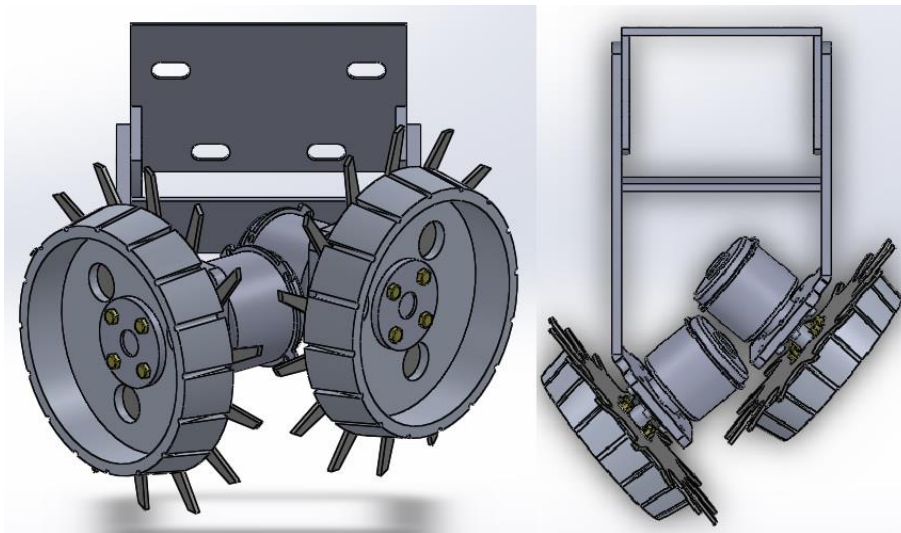
Figura 27 - Estrutura principal pós processo de solda



Fonte: Autor, 2020

Outra característica definida foi a configuração dos discos de arraste que foram posicionados na forma *offset*, forma essa em que os componentes possuem um ângulo de desvio o que gera uma forma de “V”, esse *layout* proporciona com que as pontas do disco traseiro cubram a área que o disco frontal não irá alcançar. A visualização desta configuração pode ser vista na figura 28.

Figura 28 - Posicionamento *offset*



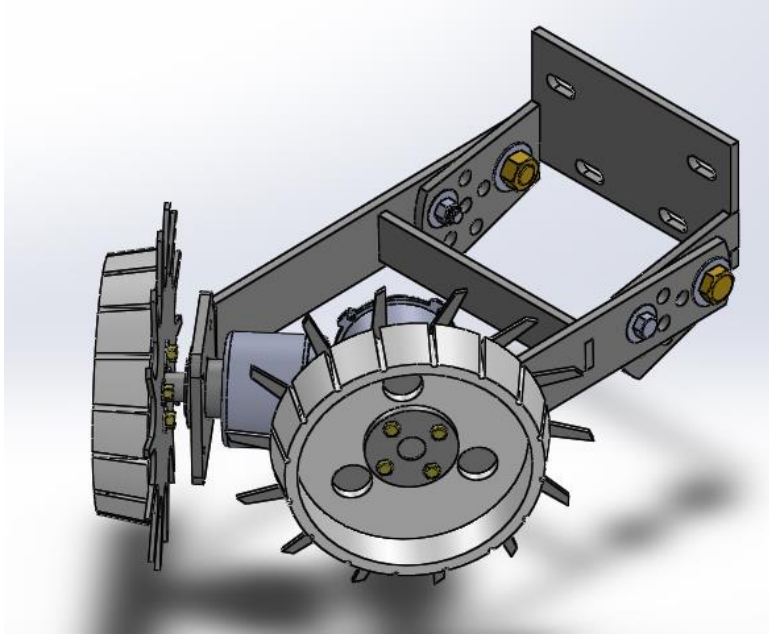
Fonte: Autor, 2020

#### 4.2.9 Montagem Final

Após diversas alterações e correções provenientes do processo de fabricação dos componentes, foi possível finalizar a montagem do conjunto final que pode ser visualizado em uma vista isométrica na figura 29. Para união dos componentes

foram usados parafusos comerciais de tamanhos M8, M12 e M20 e suas respectivas porcas e arruelas. Em pontos de maior necessidade como nos eixos dos discos de cortes foram utilizadas porcas auto frenantes que garantem maior estabilidade da força de união durante a operação de serviço.

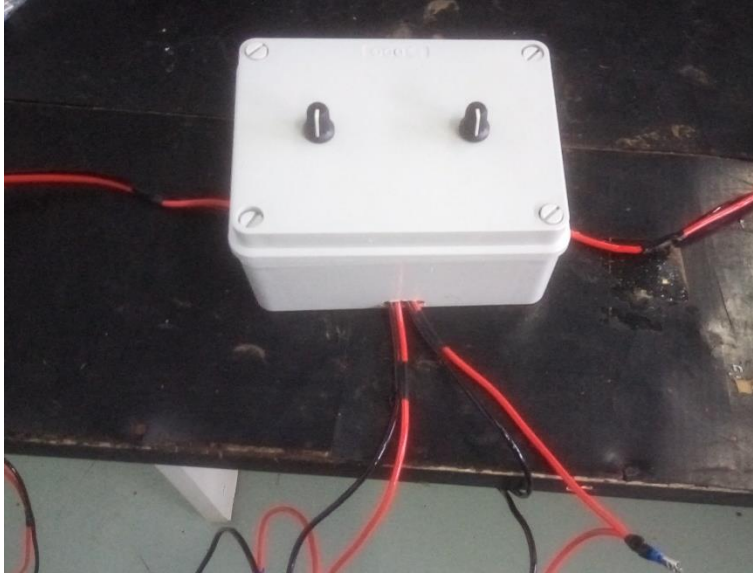
Figura 29 - Vista isométrica do projeto



**Fonte:** Autor, 2020

Para acomodar o circuito elétrico responsável pela modulação PWM de cada motor foi utilizada uma caixa plástica vedada de uso universal. Foram feitas algumas furações para passagem dos potenciômetros e os fios elétricos dos motores e baterias, a mesma pode ser visualizada na figura 30.

Figura 30 - Caixa com componentes eletrônicos

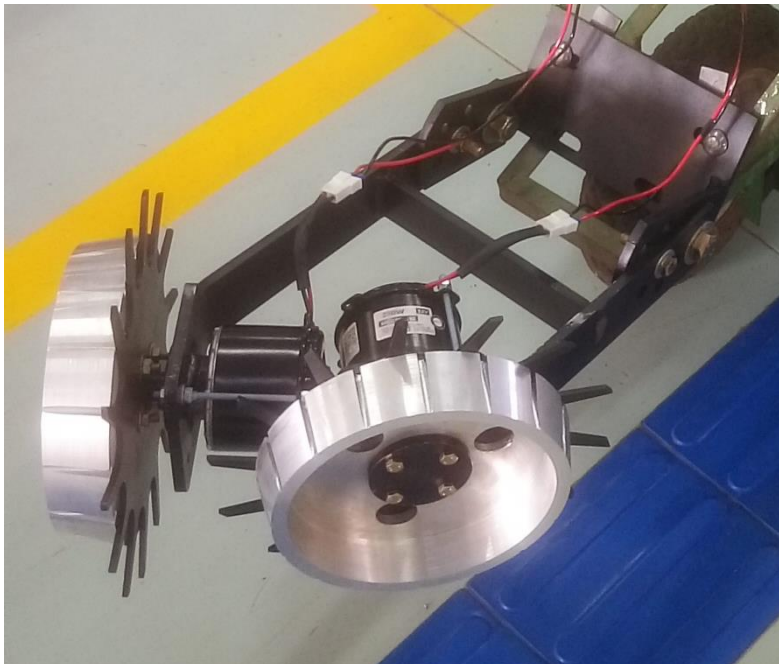


**Fonte:** Autor, 2020

As baterias utilizadas são do tipo gel selada com tensão de 12 volts e corrente de 7 Ah, cada motor terá alimentação de 2 unidades ligadas em paralelo para que as correntes sejam somadas gerando um total de 14Ah, aumentando a capacidade da fonte para suprir a corrente de partida do motor.

Na figura 31 pode ser vista uma imagem do conjunto totalmente montado.

Figura 31 - Row cleaner montado



**Fonte:** Autor, 2020

### 4.3 ANÁLISE MATEMÁTICA

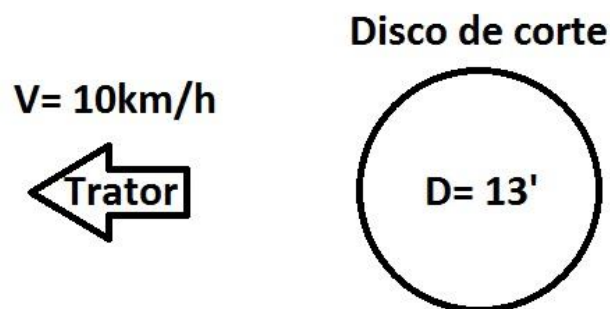
Nesta seção foram descritas algumas análises matemáticas feitas após a construção do protótipo.

#### 4.3.1 Rotação de serviço

Para se ter uma evidência da maior eficiência do sistema foi necessária a definição de alguma métrica a ser superada pelo mesmo, nesse caso, as rotações por minuto alcançadas pelo conjunto. Com isso foi feita uma análise teórica com uso da geometria e dinâmica de giro dos discos de corte.

Inicialmente, o sistema presente na figura 32 foi pensado:

Figura 32 - Sistema Trator - Disco de corte



**Fonte:** Autor, 2020

Para início da análise, calculou – se o perímetro em metros do disco utilizando a equação 13. Para isso também foi necessária a conversão de polegadas para metros utilizando a equação 12.

$$\text{Metros} = \frac{\text{Polegadas}}{39,37} = \frac{13}{39,37} = 0,3302 \text{ m} \quad (12)$$

$$P = 2 * \pi * r = 2 * \pi * \left(\frac{0,3302}{2}\right) = 1,037\text{m} \quad (13)$$

Onde:

P= Perimetro

r= Raio

Com isso tem-se que a cada rotação o disco percorre 1,037 metros. Posteriormente foi analisada a velocidade de plantio do trator, que geralmente é de 10km/h, essa medida pode ser convertida para m/s dividindo o valor por 3,6 o que resulta em 2,77 m/s, com isso o valor de RPS do disco de corte foi definido com a equação 14 e convertido para RPM multiplicando o valor por 60 na equação 15, com isso definindo a rotação final a ser superada pelo *row cleaner* eletrificado.

$$RPS = \frac{V}{P} = \frac{2,77}{1,037} = 2,67 \text{ RPS} \quad (14)$$

$$2,67 * 60 = 160,2 \text{ RPM} \quad (15)$$

Com isso, definiu-se que o valor de rotação aproximado do disco de corte de um *row cleaner* passivo é 160 RPM, esse valor pode sofrer uma leve alteração devido ao ângulo de funcionamento do sistema, o que pode resultar em uma rotação levemente menor.

#### 4.3.2 Cálculo do momento de inércia de massa do conjunto rotativo

Para a análise do momento de inércia do conjunto rotativo, inicialmente o autor trabalhou na validação dos dados apresentados pelo *SolidWorks*, como a simulação de massa e do próprio momento que também é gerado dentro do ambiente do *software*.

A peça utilizada foi o disco de corte do sistema *row cleaner* projetado pelo autor, inicialmente dentro do *software* foi definido o material aço carbono SAE 1020 que é o mesmo do item que está sendo analisado, com isso todos os dados de densidade e demais propriedades mecânicas são simuladas dentro do ambiente, então temos as informações demonstradas na figura 33.



Figura 33 - Propriedades de massa do disco de corte



Fonte: Autor, 2020

Com os dados em mãos, utilizou-se uma balança com gancho para mensurar o peso da peça real, o resultado como visto na figura 34 é de 1515 gramas, uma diferença de apenas 7,81 contra o simulado, valor esse que pode ser desprezados para fins de cálculo por se tratar de apenas 0,51% do valor total da massa.

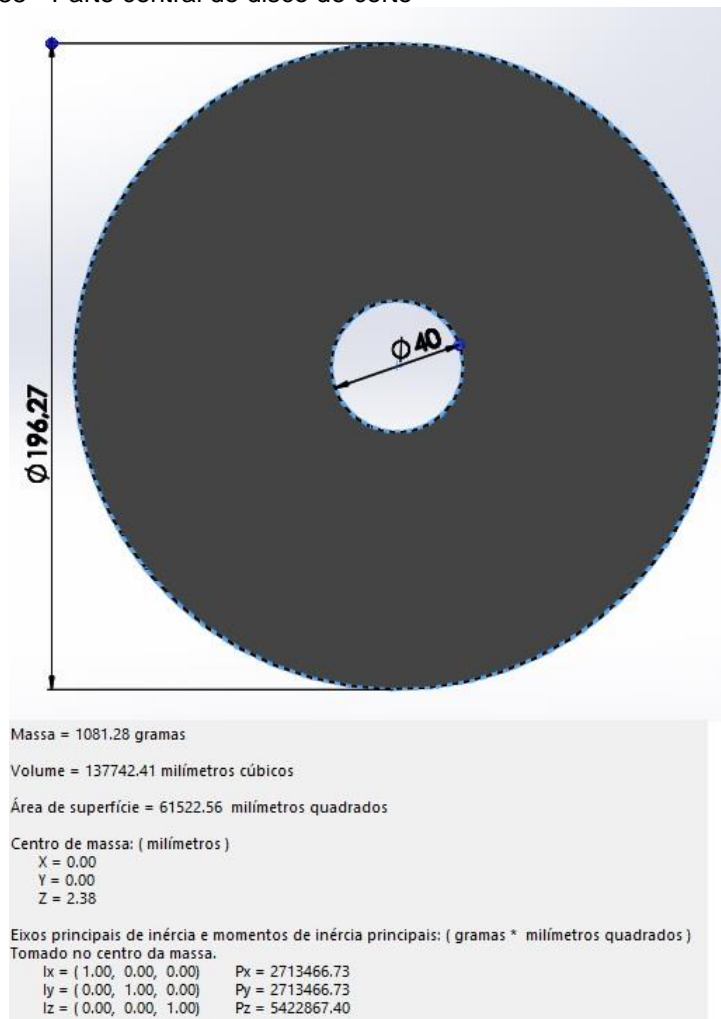
Figura 34 - Peso do disco de corte fabricado



Fonte: Autor, 2020

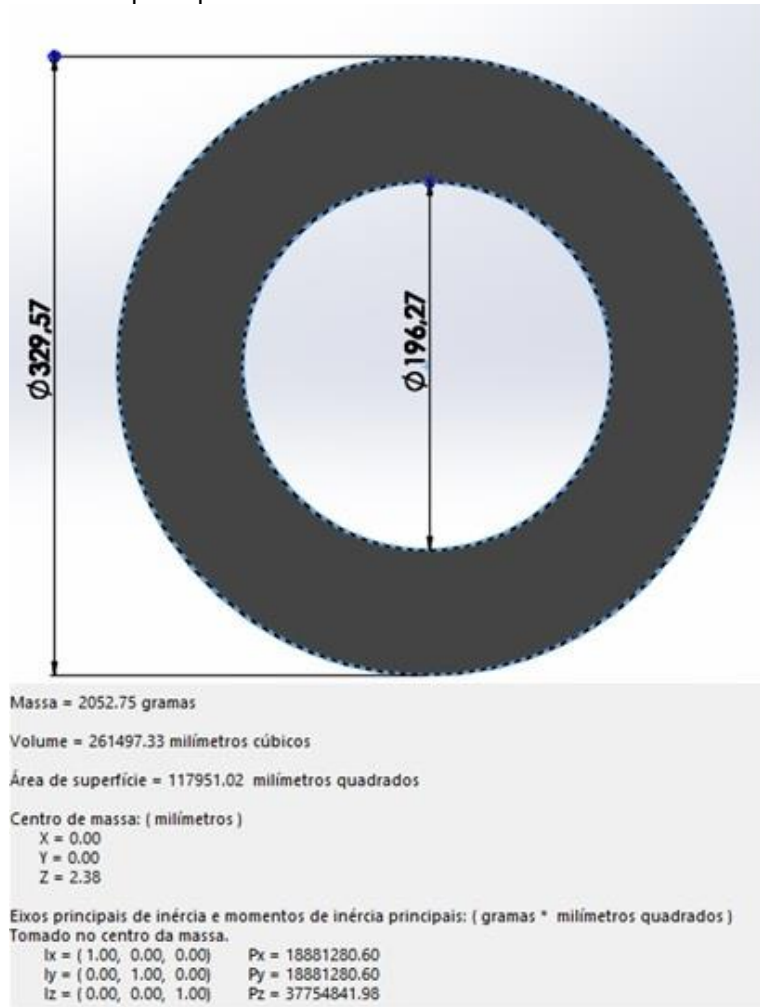
Posterior à validação da massa, iniciou-se o processo de cálculo de momento de inércia utilizando a equação 5. Para se ter uma maior confiabilidade de cálculo a o item foi dividido em duas partes como pode ser visto nas figuras 35 e 36:

Figura 35 - Parte central do disco de corte



Fonte: Autor, 2020

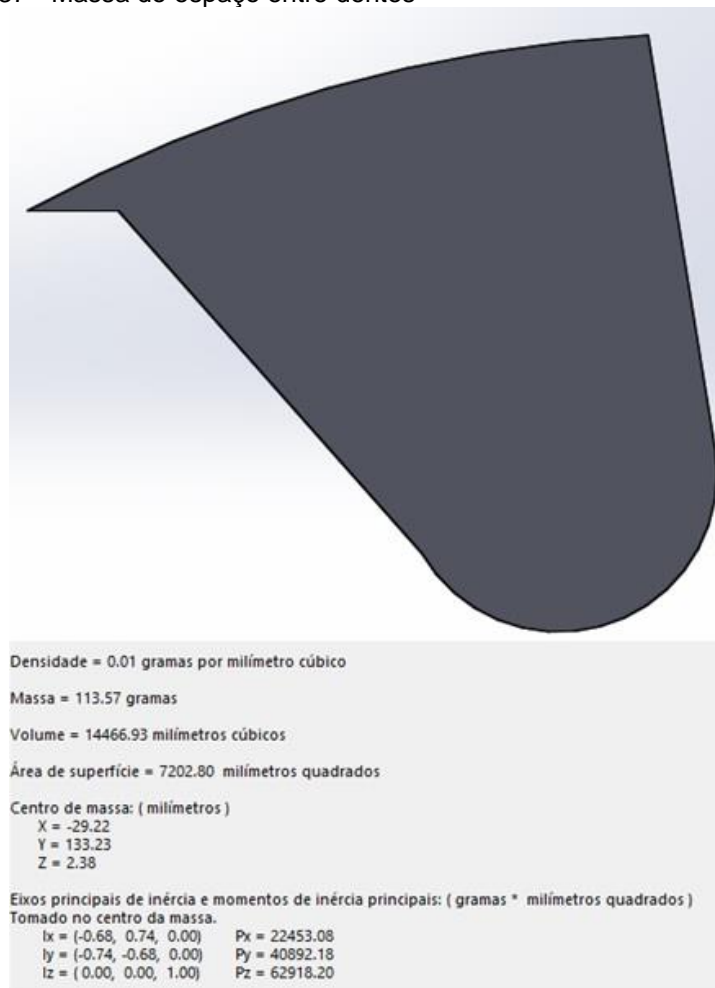
Figura 36 - Parte que representa os "dentes" do disco de corte



**Fonte:** Autor, 2020

Utilizando a equação 5 foi calculado o momento de inércia de massa nos anéis de grande espessura. No cálculo da porção que representa os dentes do disco de corte, a massa da geometria entre os dentes foi descontada para se ter maior confiabilidade no resultado final, essa medida pode ser verificada na figura 37 e foi multiplicada por 14 devido ao número de espaços entre dentes, ou seja, um total de 1589,98 gramas foi subtraído do total de 2052,75 gramas do anel da figura 36.

Figura 37 - Massa do espaço entre dentes



Fonte: Autor, 2020

Primeiramente foi executado o cálculo da porção central do disco de corte representado na figura 35 e pela sigla  $I_c$ :

$$I_c = \frac{1}{2} * m * (R_i^2 + R_e^2) \quad (5)$$

$$I_c = \frac{1}{2} * 1081,28 * \left( \left( \frac{40}{2} \right)^2 + \left( \frac{196,27}{2} \right)^2 \right) = 5,42 \times 10^6 \text{ g/mm}^2$$

E posteriormente da parte que representa os dentes do mesmo utilizando a mesma equação 5 e representada por  $I_d$ :

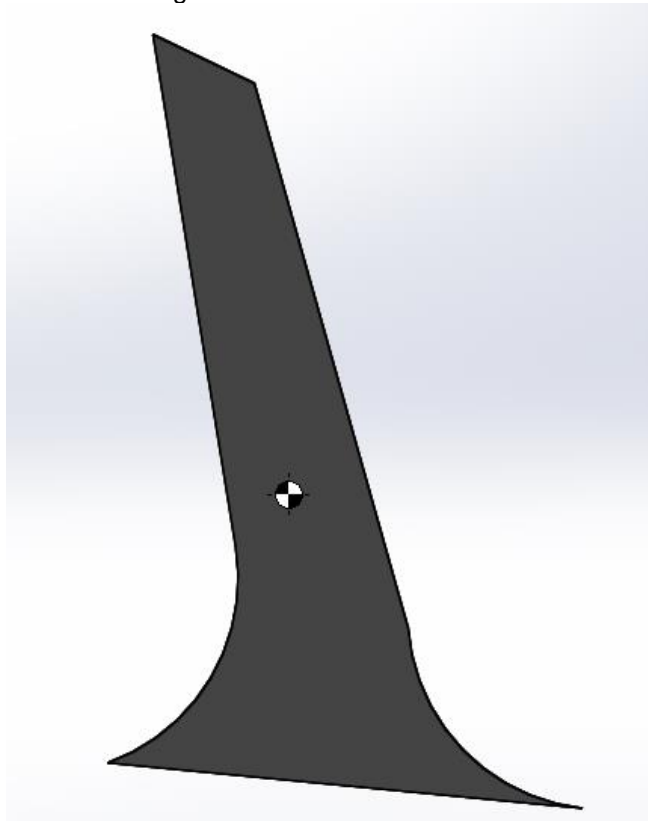
$$I_d = \frac{1}{2} * (2052,75 - 113,57 * 14) * \left( \left( \frac{196,27}{2} \right)^2 + \left( \frac{329,57}{2} \right)^2 \right) = 8,51 \times 10^6 \text{ g/mm}^2$$

Tendo os resultados em mão, o próximo passo é realizar a soma dos valores para se ter o momento de inércia de massa total estimado do disco de corte, o cálculo pode ser acompanhado na equação 16:

$$I_t = I_c + I_d = 5,42 \times 10^6 + 8,51 \times 10^6 = 1,39 \times 10^7 \text{ g/mm}^2 \quad (16)$$

Comparando o resultado total com o da simulação feita pelo *SolidWork* que pode ser visto na figura 33, nota-se uma diferença de  $0,12 \times 10^7 g/mm^2$  entre o cálculo manual e do *software* que resultou em  $1,27 \times 10^7 g/mm^2$ , essa divergência pode ser justificada pelo formato do dente que possui seu centro de gravidade levemente deslocado para a base do mesmo como pode ser visto na figura 38.

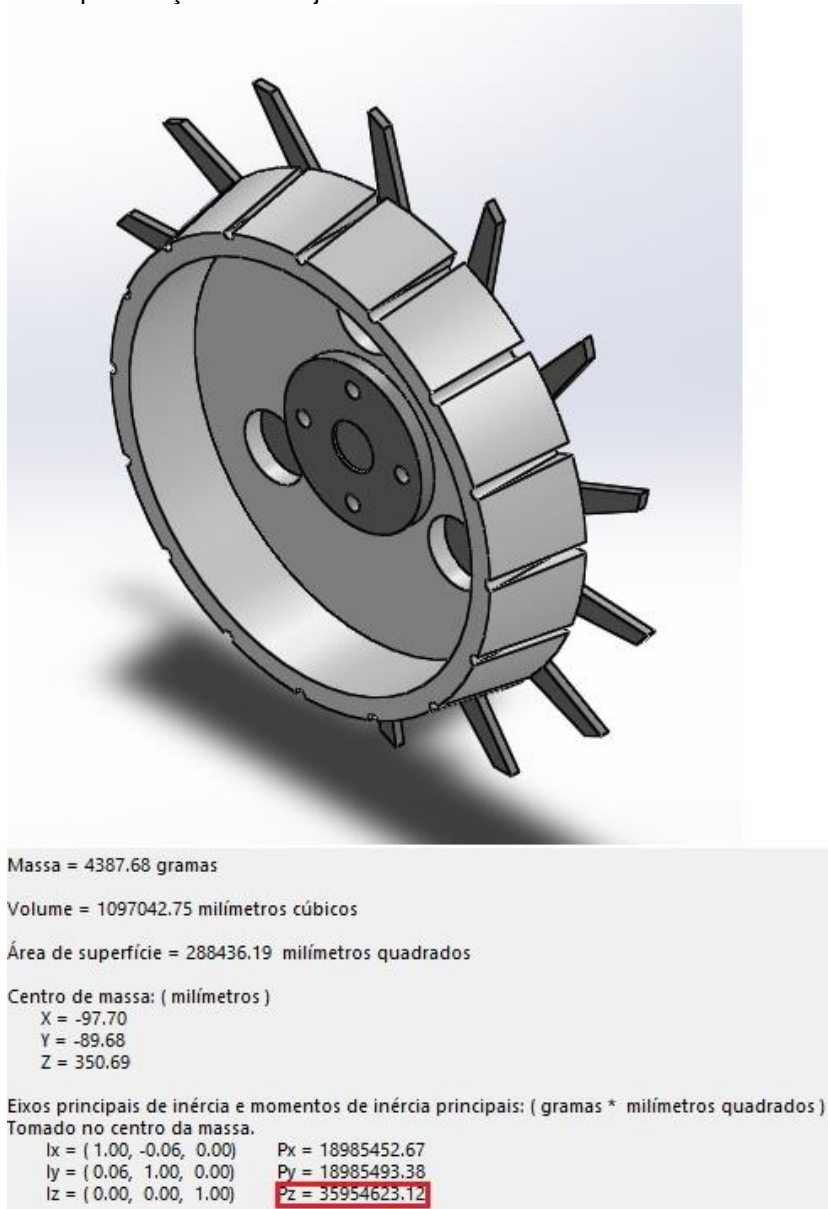
Figura 38 - Centro de gravidade de um dente



**Fonte:** Autor, 2020

Com isso pode-se afirmar que é seguro confiar nos valores de momento de inércia de massa calculados pelo *software* CAD para todo o conjunto rotativo que compreende ao disco de corte, roda de alumínio e eixo principal demonstrado na figura 39. O resultado final para o sistema foi de  $3,60 \times 10^7 g/mm^2$ .

Figura 39 - Especificações do conjunto rotativo



Fonte: Autor, 2020

### 4.3.3 Cálculo de potência

Com intuito avaliar a potência necessária para mover o conjunto rotativo até a rotação de trabalho foram executados os cálculos que relacionam os dados apresentados anteriormente. Para o cálculo da potência em si, serão utilizadas as equações 11, 10, 7 e 8.

$$P = \tau * \omega \quad (11)$$

$$\tau = I * \alpha \quad (10)$$

$$\omega = \frac{\pi * n}{30} \quad (7)$$

$$\alpha_{méd} = \frac{\omega_f - \omega_0}{\Delta t} \quad (8)$$

Inicialmente foram utilizadas as equações 17 e 18 para calcular a velocidade e aceleração angular respectivamente. A rotação utilizada é 160 RPM que foi calculada na seção 4.3.1, a velocidade angular inicial é zero pois o conjunto parte do repouso e estima-se um tempo de 2 segundos para alcançar a rotação pretendida.

$$\omega = \frac{\pi * n}{30} = \frac{\pi * 160}{30} = 16,755 \text{ rad/s} \quad (17)$$

$$\alpha_{méd} = \frac{\omega_f - \omega_0}{\Delta t} = \frac{16,755 - 0}{2} = 8,3775 \text{ rad/s}^2 \quad (18)$$

Com isso, o próximo passo é calcular o torque utilizando a equação 19, o momento de inércia calculado é  $I = 3,6 \times 10^7 \text{ g} * \text{mm}^2$  que convertidos para a unidade de cálculo necessária é equivalente a  $I = 0,036 \text{ kg} * \text{m}^2$ , estes dados foram apresentados na seção 4.3.2.

$$\tau = I * \alpha_{méd} = 0,036 * 8,3775 = 0,30159 \text{ Nm} \quad (19)$$

Para finalizar a análise, foi feito o cálculo de potência necessária para alcançar os parâmetros desejados utilizando a equação 20.

$$P = \tau * \omega = 0,30159 * 16,755 = 5,05 \text{ watts} \quad (20)$$

Como resultado tem-se uma potência de 5,05 watts.

## 4.4 TESTES

Nesta seção serão descritas as formas de validação propostas pelo autor.

### 4.4.1 Validação do conceito

Foram realizadas algumas tentativas de testes para confirmar o funcionamento do sistema como um todo.



Primeiramente foi executado um teste com o conjunto suspenso sem aplicação de carga. Na primeira tentativa de acionamento ocorreu o rompimento do fusível de segurança do sistema devido a corrente exigida para tirar o conjunto da inércia. Para resolver o problema o fusível foi substituído por um de uso automotivo de corrente suportada de 30 amperes o que resultou em um teste bem-sucedido. Também se destaca a necessidade de um balanceamento dos itens do conjunto rotativo, caso o contrário a vibração durante a rotação pode ser prejudicial ao funcionamento do produto como um todo.

Posteriormente houve uma tentativa de teste em campo. Na figura 40 pode ser vista o resto da palhada resultante de uma colheita de trigo localizada atrás das dependências da FAHOR.

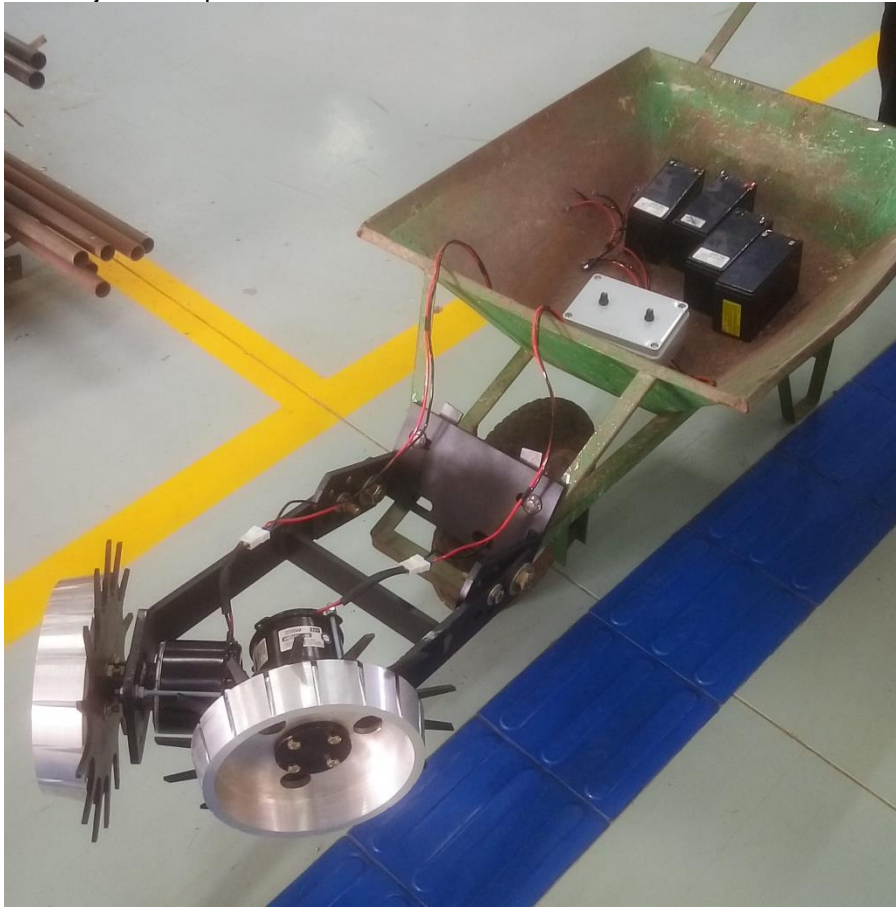
Figura 40 - Campo pós colheita do trigo



**Fonte:** Autor, 2020

O campo encontrava-se com uma quantidade adequada de resíduos secos sobre a superfície do solo para realização do teste. Devido à dificuldade de se encontrar uma plantadeira compatível com o sistema *row cleaner* o mesmo foi adaptado em um carrinho de mão que também facilitou o transporte da parte eletrônica e das baterias, a montagem pode ser vista na figura 41.

Figura 41 - Conjunto adaptado em um carrinho de mão



Fonte: Autor, 2020

Durante a execução do teste, o sistema conseguiu cumprir sua função em uma distância aproximada de 1,5m, após isto ocorreu o desligamento dos motores indicando uma falha no sistema elétrico. Foi realizada então a análise visual dos circuitos eletrônicos PWM e constatou-se que os fusíveis continuavam operando normalmente, também foram testados os motores e o nível de carga das baterias com um multímetro, e os mesmos apresentaram resultados positivos, levando o autor a crer que houve algum tipo de dano em alguma outra parte do sistema de controle de velocidade. A ocorrência da falha, visto que na seção 4.3.3 foi constatado a necessidade de apenas 5,05 watts para impulsionar o conjunto, pode ser explicada por conta de o cálculo não levar em consideração forças como o arrasto dos discos em contato com a superfície do solo, tornando necessária uma análise dos esforços que atuam em situações de plena carga.

Por conta disso, surge a necessidade do dimensionamento de um circuito eletrônico para variação de velocidade do motor D.C., baseado na modelagem da carga mecânica e que trabalhe em baixas rotações, mas com um alto torque.

Para fins de comparação, também foi executado um teste com o *row cleaner* no “modo” passivo, ou seja, com os motores desligados. O mesmo foi realizado com certa dificuldade por conta da resistência do solo e o ângulo de inclinação das rodas o que gera uma tendência do equipamento a fazer curvas, mas foi possível se coletar algumas imagens para fins de comparação que podem ser vistas na figura 42.

Figura 42 - Resultado visual dos testes



Fonte: Autor, 2020.

Pode se notar uma melhor visualização da superfície do solo onde os motores foram acionados, já na parte passiva, nota-se uma aleatoriedade na limpeza devido à baixa velocidade de funcionamento, o que demonstra a superioridade do sistema elétrico, que se mostra superior em trabalhos que exijam velocidades de trabalho menores.

## CONCLUSÃO

Com a realização desta pesquisa, pode-se considerar como cumpridos os objetivos de criar um novo conceito de *row cleaner* ativo, construí-lo, analisá-lo matematicamente, tendo ressalvas apenas nos testes de campo que geraram resultados interessantes para a continuação o desenvolvimento do projeto, tendo como base a metodologia de realismo crítico e as interações dos artefatos de design, ou seja, a função, o comportamento e a estrutura.

A primeira hipótese, de que o *row cleaner* melhora a limpeza do solo foi corroborada conforme a figura 42 da seção 4.4.1. A segunda hipótese que sugere que o motor de 250W e 12V é suficientemente potente foi validada matematicamente na seção 4.3.3 e a terceira hipótese sobre a capacidade das baterias se confirma com os testes de bancada e campo realizados na também seção 4.4.1.

Para futuras pesquisas e melhorias, sugere-se trabalhar no estudo de diferentes ângulos de inclinação dos discos e diferentes formatos para o mesmo, visando melhorar a área de atuação do sistema. Além disso o dimensionamento de um sistema de controle de velocidade compatível com a carga de trabalho do motor utilizado.

Concluindo os trabalhos pode-se destacar o grande conhecimento adquirido pelo autor durante todo o período de desenvolvimento, e as dificuldades que são enfrentadas durante o processo de criação de um produto inovador tanto em questões de modelagem quanto de processos de fabricação e suas variações.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. C. **Elementos de Máquinas - Projeto de Sistemas Mecânicos**. Rio de Janeiro. Grupo GEN, 2017. 9788595152991. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595152991/>. Acesso em: 15/10/2020.

BHATTACHARYA, D.R.A.|P.P.F.|D. K. **Ciência e Engenharia dos materiais Tradução da 3ª edição norte-americana**. São Paulo, Cengage Learning Brasil, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522118014/>. Acesso em: 29/10/2020.

BRANDELERO, E.M. et al. **Coverage mobilization in the sowing line and its influence on temperature and water content and on maize emergence**. Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering. Campina Grande, 2015.

DAWN, 2020. **Floating Trashwheels™ Row Cleaners**. Dawn Equipment Company, Inc. Disponível em: [http://www.dawnequipment.com/Floating\\_Trashwheels.html](http://www.dawnequipment.com/Floating_Trashwheels.html) Acesso em: 20/05/2020.

DOWLING, N. **Comportamento Mecânico dos Materiais**. Rio de Janeiro, Grupo GEN, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595153493/>. Acesso em: 29/10/2020.

FRANCESCO, P.M.E.G.G.L. C. **Mecânica para engenharia**. Porto Alegre. Grupo A, 2014. 9788565837309. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837309/>. Acesso em: 24/10/2020.

GATTINGER, A et al. **Climate Change and Agriculture: No-till agriculture – a climate smart solution**. Suíça, 2011.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2018.

GIRARDI, 2020. **Ponta de eixo traseiro (AI801) - PE31/HF6066**. Girardi Autopeças LTDA. Disponível em: <https://www.girardiautopecas.com.br/ponta-de-eixo-traseiro> Acesso em: 07/08/2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 9.ed. Rio de Janeiro, LTC, 2012. v. 2.

HANS, C.J.A.B.H.R.S. G. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas**. Rio de Janeiro. Grupo GEN, 2006. 978-85-216-1935-2. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-1935-2/>. Acesso em: 15/10/2020.

HIBBELER, R.C. **Estática: mecânica para engenharia**. 12.ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2011.

IMOBTRAS, 2020. **Motor elétrico DC cód: 10.14.124.12V**. Imobras Indústria De Motores Elétricos LTDA. Disponível em: <http://www.imobras.ind.br/site-2017/pt-br/produtos/categoria/motores-eletricos-dc-saida-direta/motor-eletrico-dc-169> Acesso em: 10/10/2020.

JOHN DEERE, 2020. **Soluções de plantio**. John Deere Brasil LTDA. Disponível em: <https://www.deere.com.br/pt/solu%C3%A7%C3%B5es-para-plantio/> Acesso em 05/07/2020.

JR., C.W. D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Abordagem Integrada**. Rio de Janeiro, Grupo GEN, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636991/>. Acesso em: 29 Oct 2020.

KEITH, B.R.N. J. **Elementos de Máquinas de Shigley**. 10<sup>a</sup> ed. Porto Alegre. Grupo A, 2016.

LEKAVIČIENĖ, Kristina *et al.* (2019). **Effect of Row Cleaner Operational Settings on Crop Residue Translocation in Strip-Tillage**. *Agronomy*. 9. 247. 10.3390/agronomy9050247.

MARTIN TILL, 2020. **Floating Row Cleaners**. Martin Industries. Disponível em: <https://store.martintill.com/floating-row-cleaners/> Acesso em: 15/05/2020.

MUNARI, B. **Das coisas nascem coisas**. 2 a ed. Lisboa: Edições 70, Lda, 1981.

NSK, 2020. **Rolamento de barreira SUS**. NSK Motion & Control. Brasil. Disponível em: <http://www.nsk.com.br/rolamentos-de-barreira-sus-2396.htm> Acesso em 15/10/2020.

NSK, 2020. **Rolamentos Rígidos de esferas**. NSK Motion & Control. Brasil. Disponível em: <http://www.nsk.com.br/rolamentos-rigidos-de-esferas-349.htm> Acesso em 15/10/2020.

PETRUZELLA, Frank. **Motores Elétricos e Acionamentos: Série Tekne**. Porto Alegre, Grupo A, 2013.

REIS, G. N. DOS *et al.* **Decomposição de culturas de cobertura no sistema plantio direto, manejadas mecânica e quimicamente**. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 1, abr. 2007.

TAKEDA, H. *et al.* **Analysis of Design Processes by Function, Behavior and Structure. The Delft Protocols Workshop, conference proceedings**, n. June 2014, 1996.

WANG, W. *et al.* **A critical realism view of design artefact knowledge**. *Journal of Design Research*, v. 11, n.3, p. 243–262, 2013.

YETTER, 2020. **2967-029A/097A SHORT FLOATING ROW CLEANER.** Yetter Manufacturing Co. Disponível em: <https://www.yetterco.com/products/11-plantermount-row-cleaners/308-2967029a097a-short-floating-row-cleaner> Acesso: 05/07/2020.

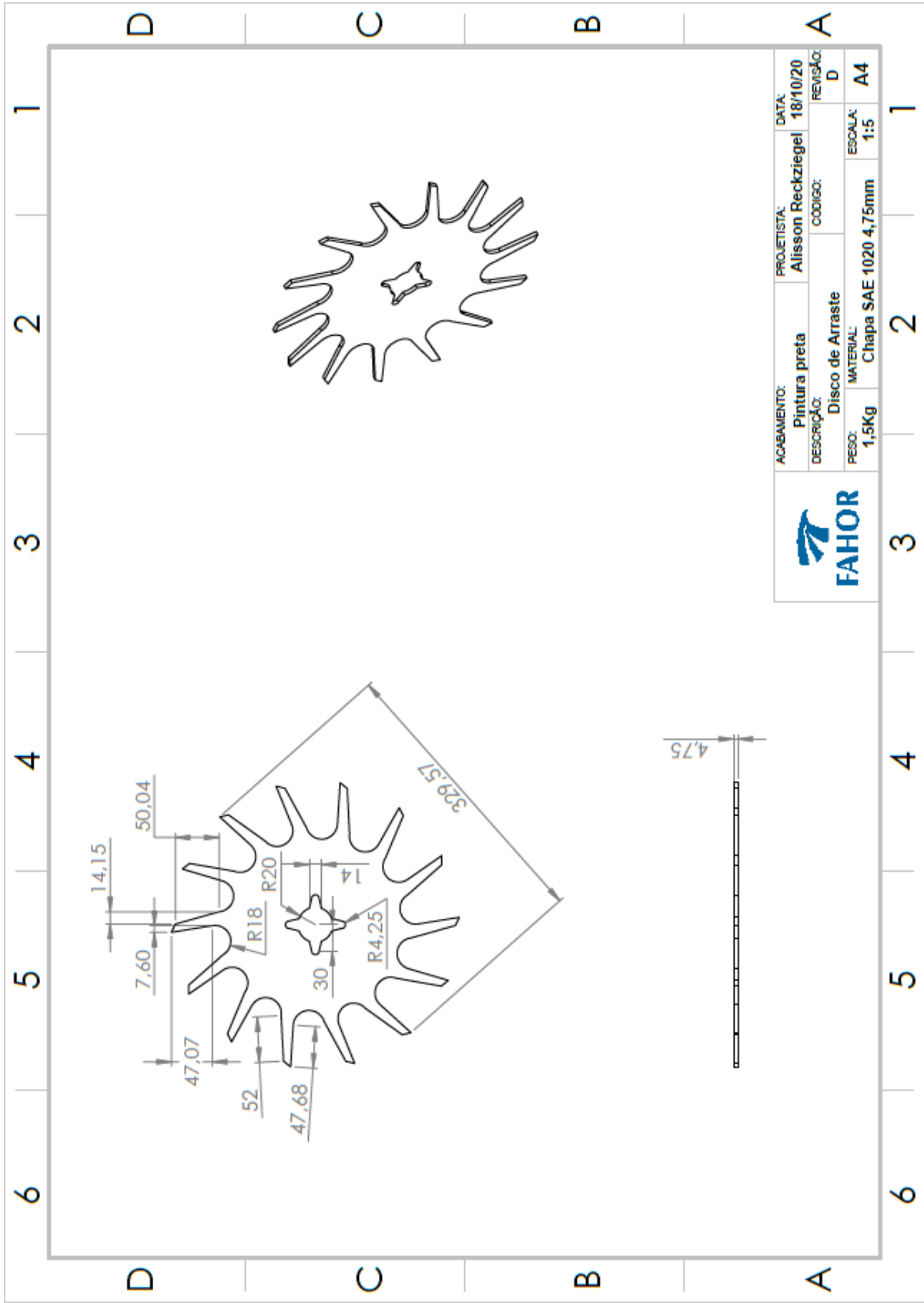
YETTER, 2020. **SHARKTOOTH® WHEEL.** Yetter Manufacturing Co. Disponível em: <https://www.yetterco.com/products/38-new-products/206-sharktooth-wheel> Acesso em: 20/05/2020.

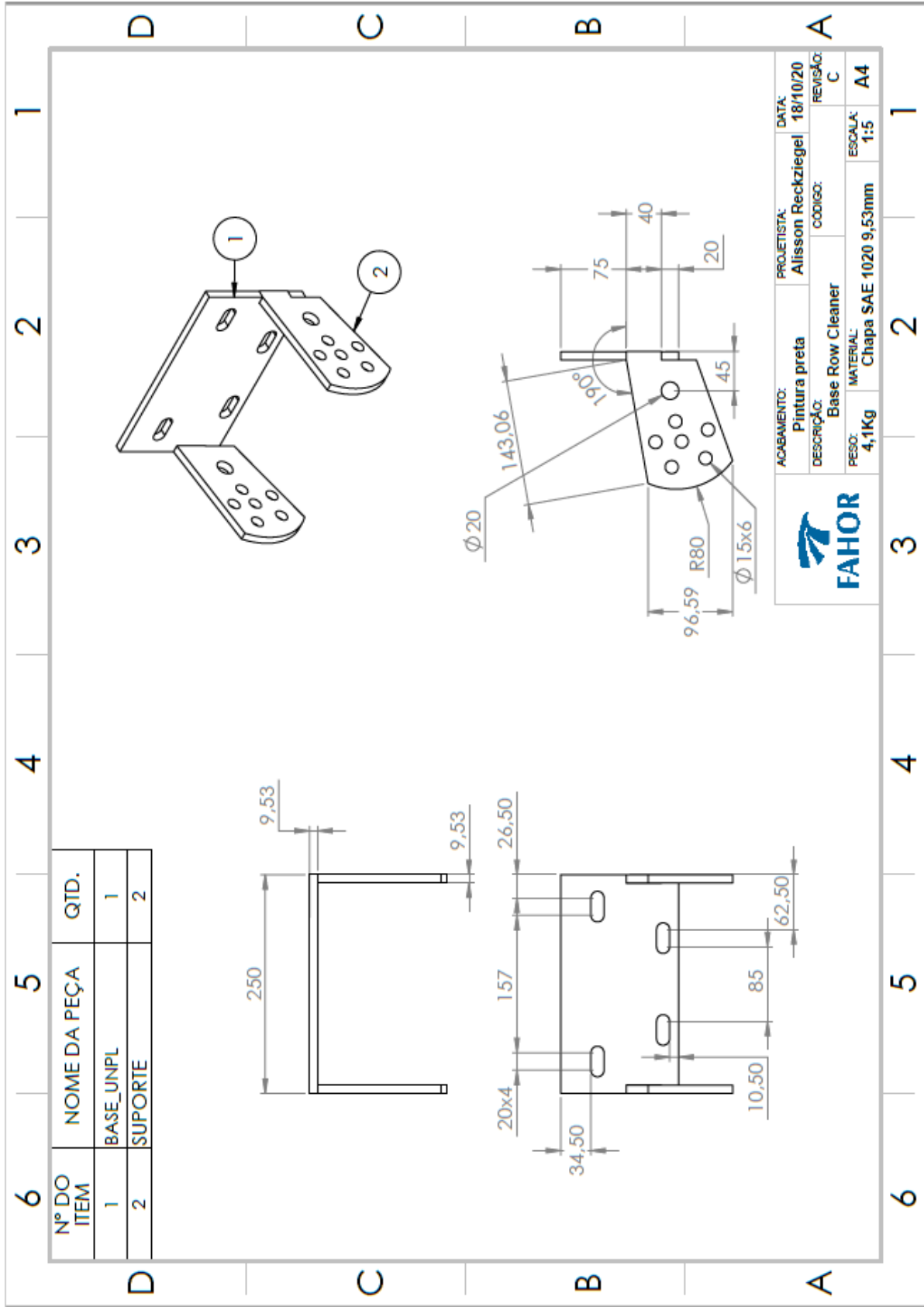
YETTER, 2020. **Yetter Manufacturing Product Catalog.** Yetter Manufacturing Co. Disponível em: <https://www.yetterco.com> Acesso em: 15/05/2020.

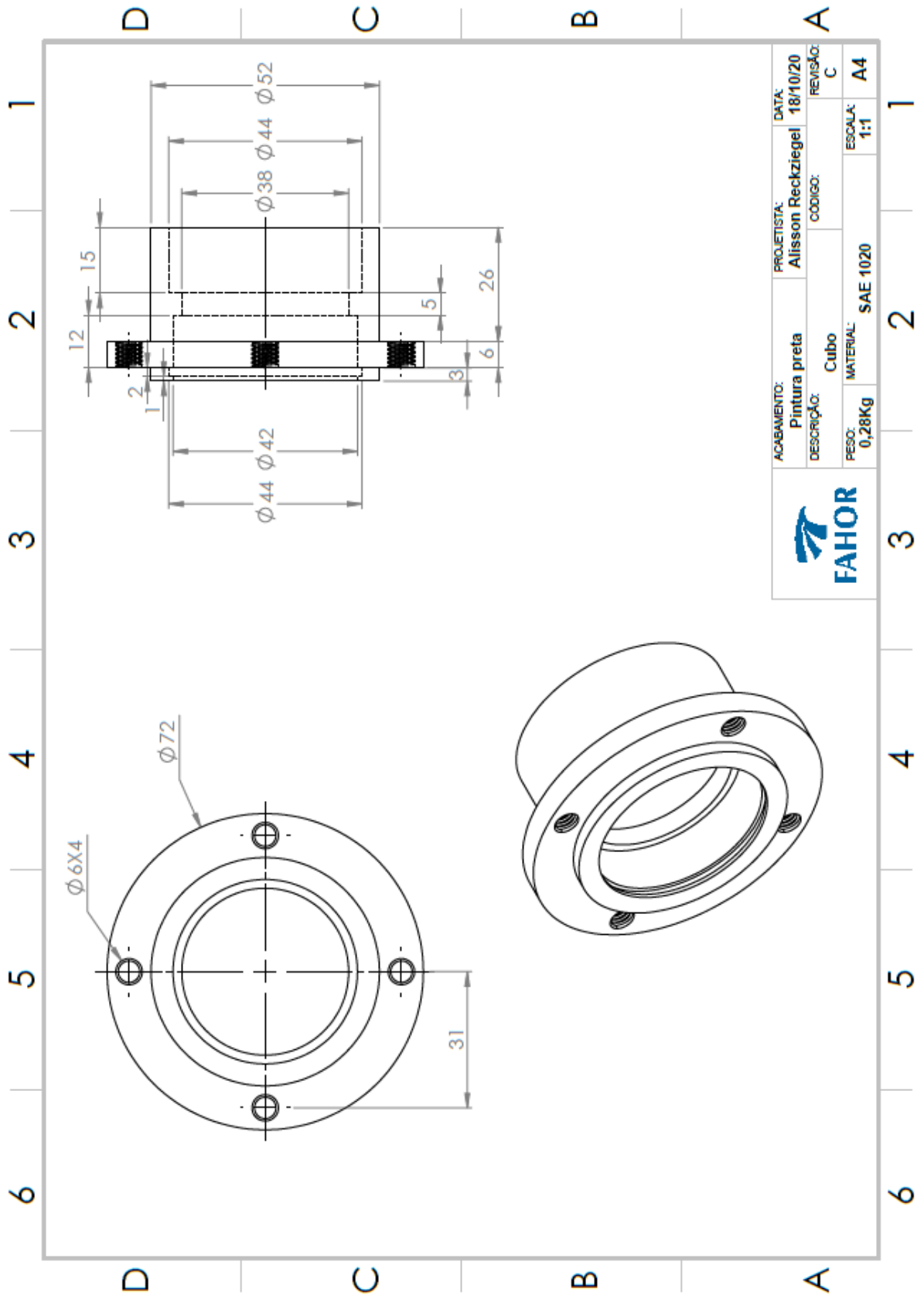
## **APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS**

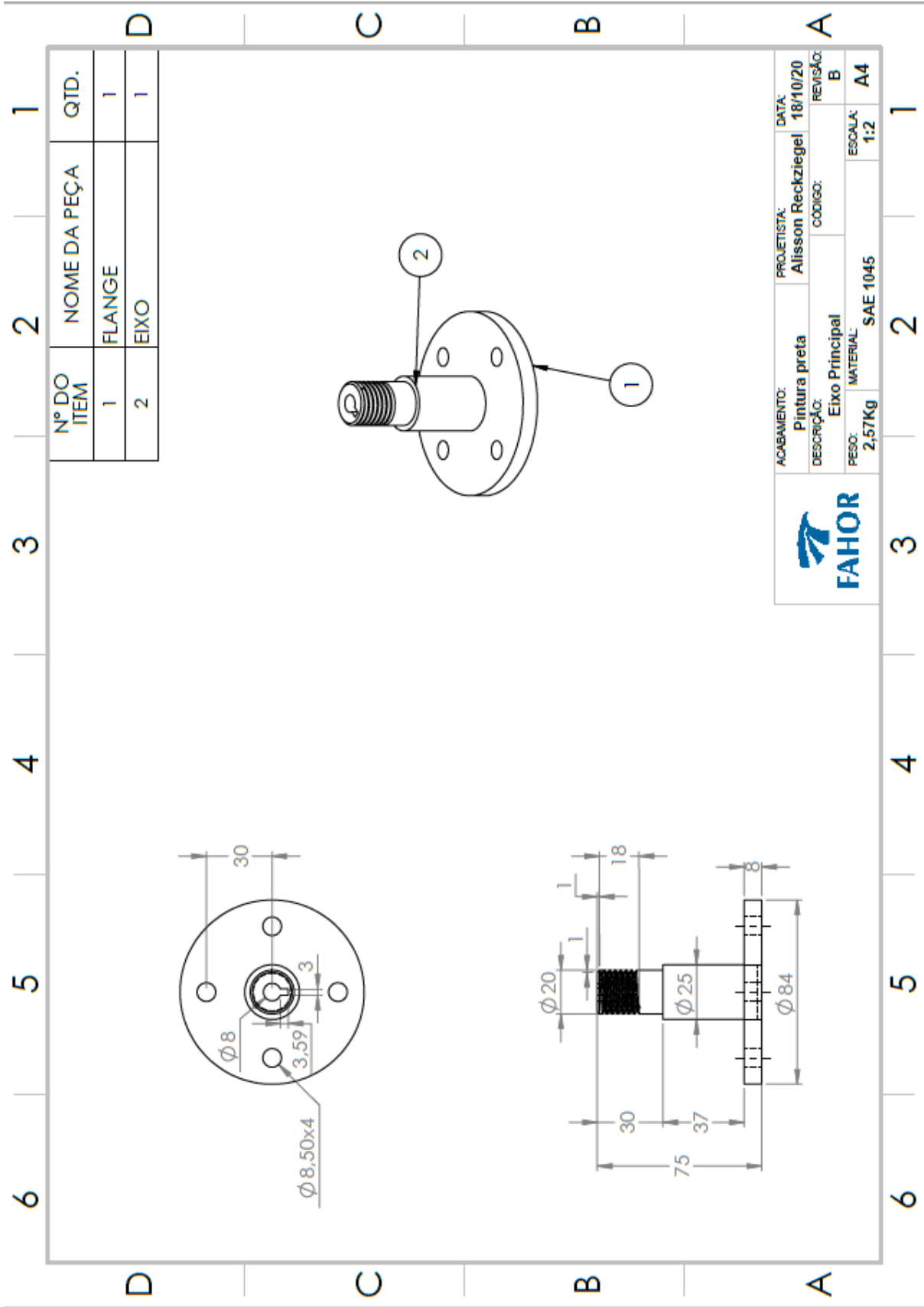
Nesta seção serão expostos os desenhos detalhados dos conjuntos principais que formam o protótipo.





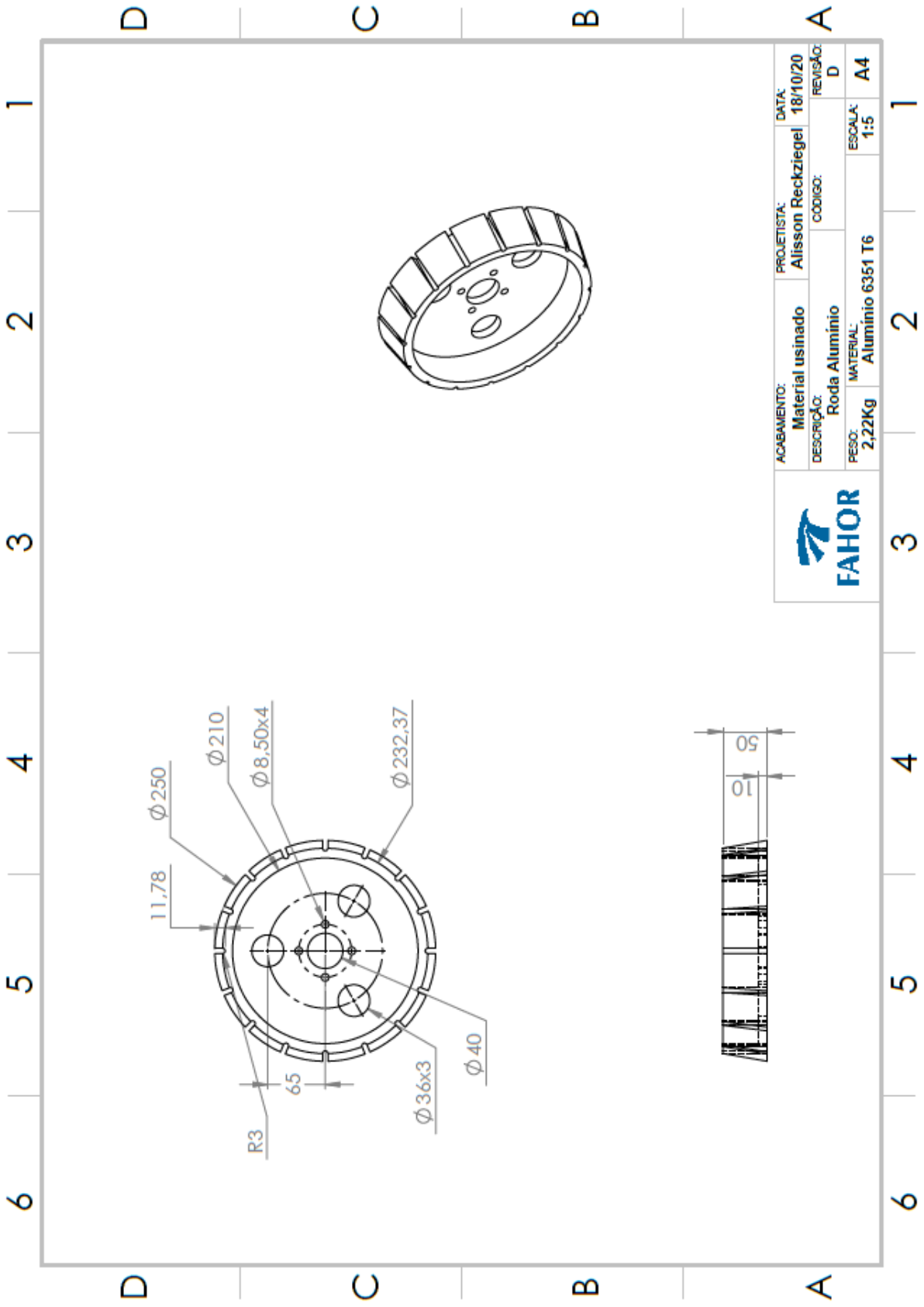


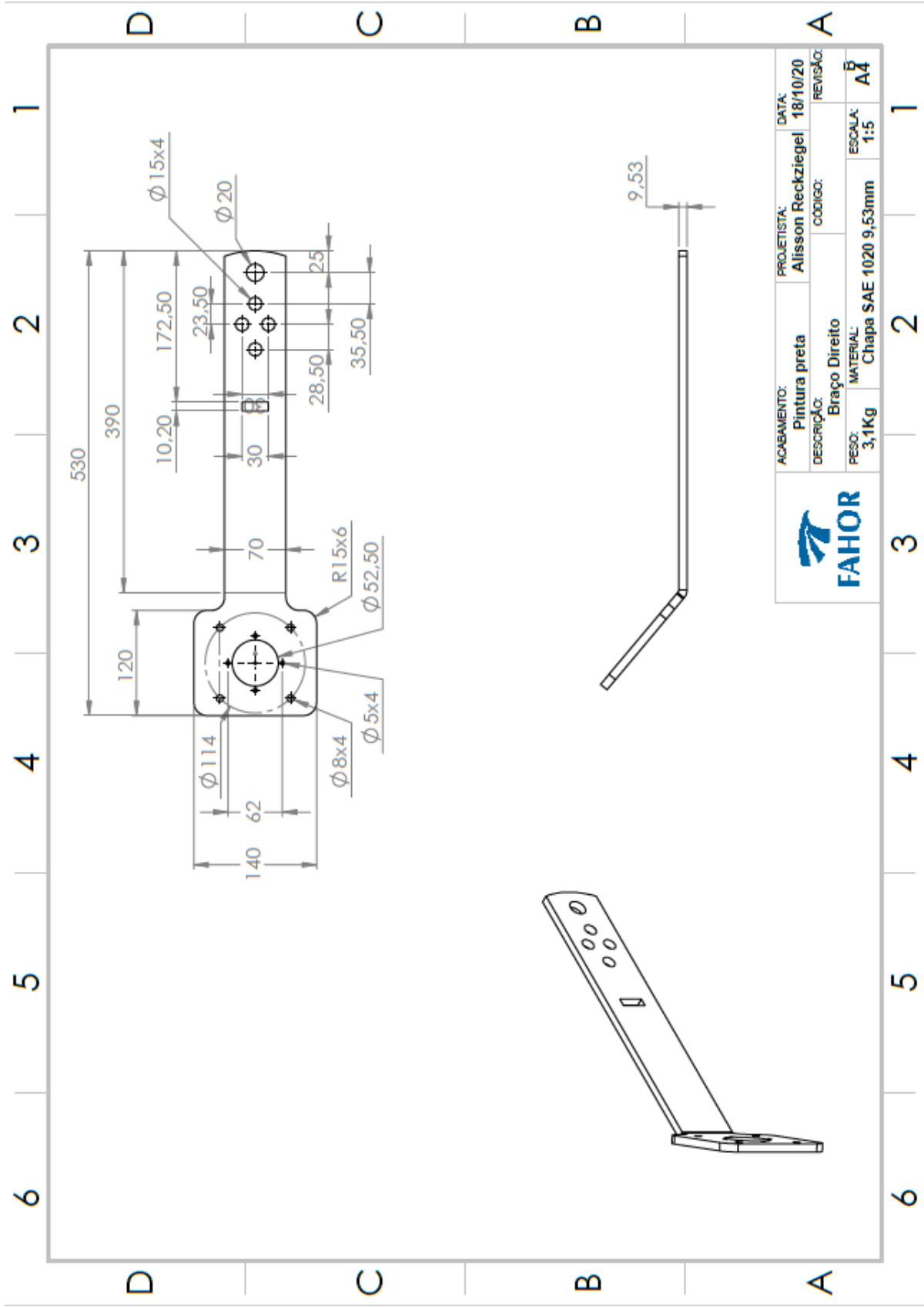


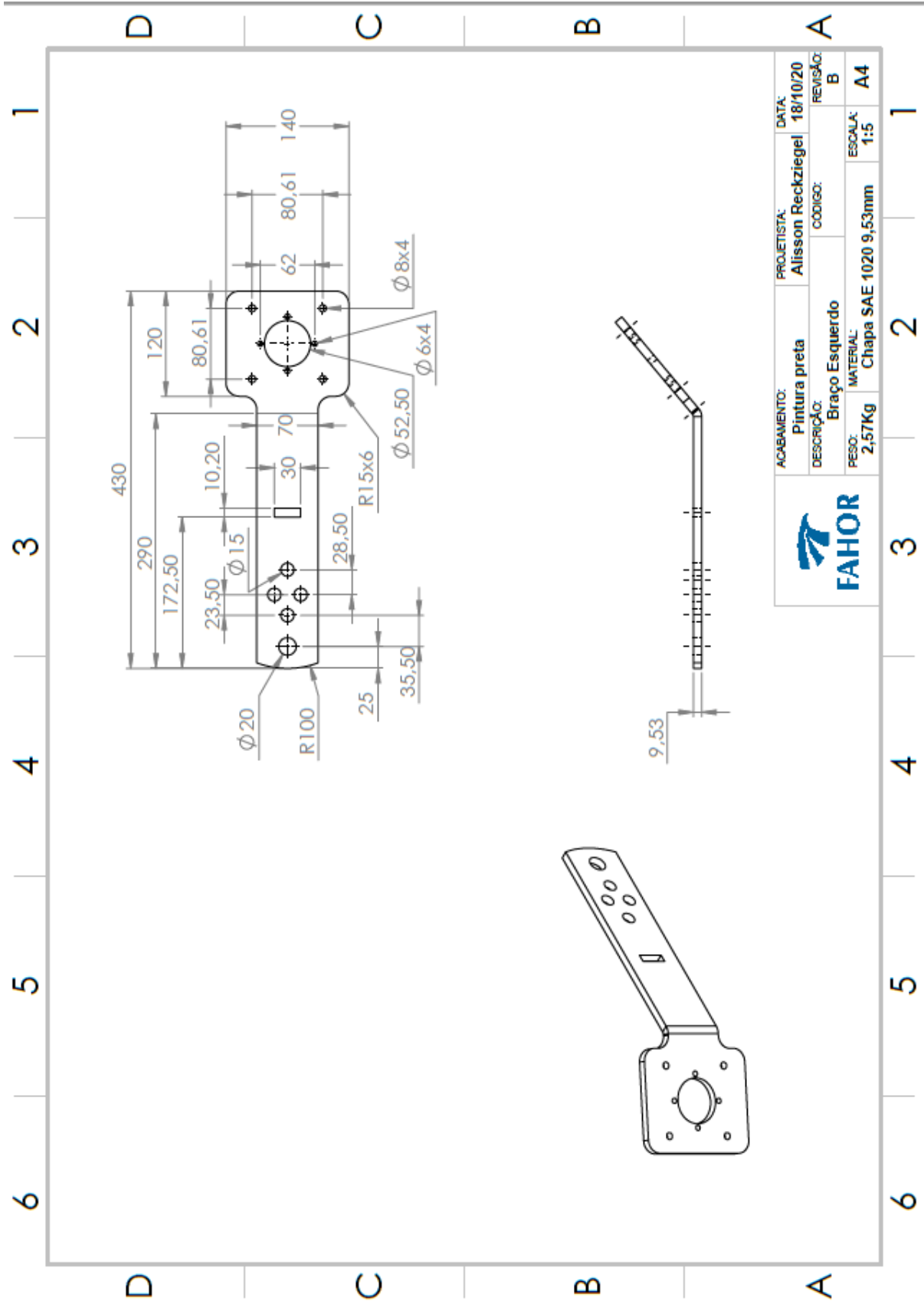


Nº DO ITEM	NOME DA PEÇA	QTD.
1	FLANGE	1
2	EIXO	1

	ACABAMENTO:	PROJETISTA:	DATA:
	Pintura preta	Alisson Reckziegel	18/10/20
	Descrição:	CODIGO:	REVISÃO:
	Eixo Principal		B
PESO:	MATERIAL:	ESCALA:	
2,57Kg	SAE 1045	1:2	A4

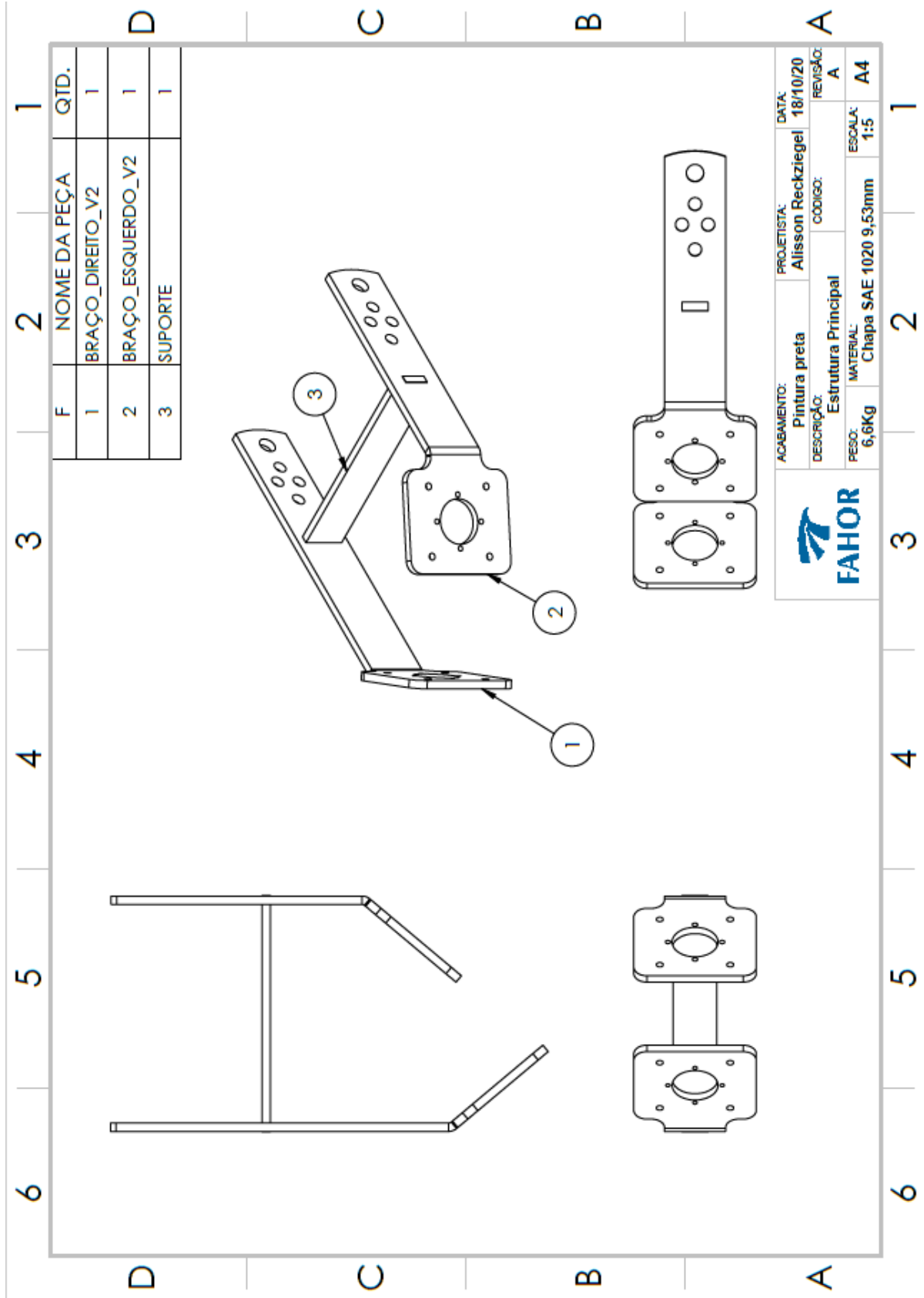






ACABAMENTO: Pintura preta	PROJETISTA: Alisson Reckziegel	DATA: 18/10/20
DESCRICO: Braço Esquerdo	CODIGO:	REVISAO: B
PESO: 2,57Kg	MATERIAL: Chapa SAE 1020 9,53mm	ESCALA: 1:5





ACABAMENTO:	PROJETISTA:	DATA:
Pintura preta	Alisson Reckziegel	18/10/20
DESCRIÇÃO:	CODIGO:	REVISÃO:
Estrutura Principal		A
PESO:	MATERIAL:	ESCALA:
6,6Kg	Chapa SAE 1020 9,53mm	1:5
		A4



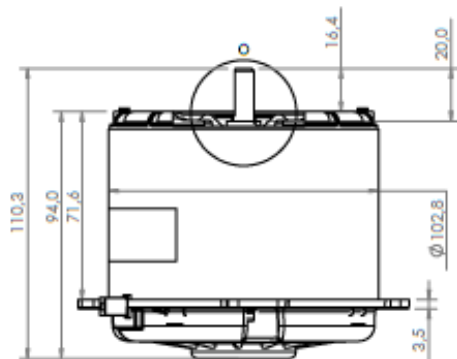
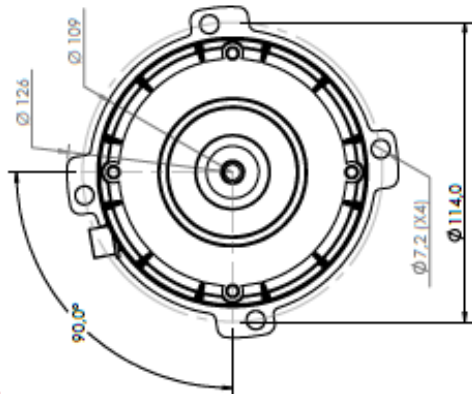



## **ANEXO A – DADOS TÉCNICOS DO MOTOR ELÉTRICO**

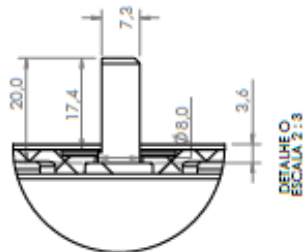
Nesta seção será anexo os dados técnicos do motor elétrico utilizado.

Technical  
 Drawing

Desenho  
 Técnico



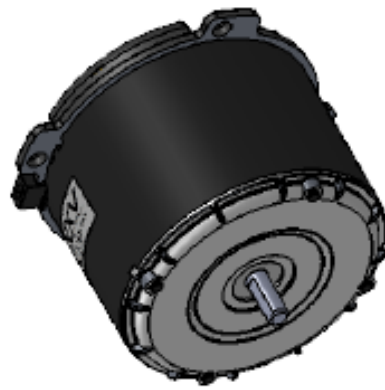
Ligação + 



Technical  
Specification

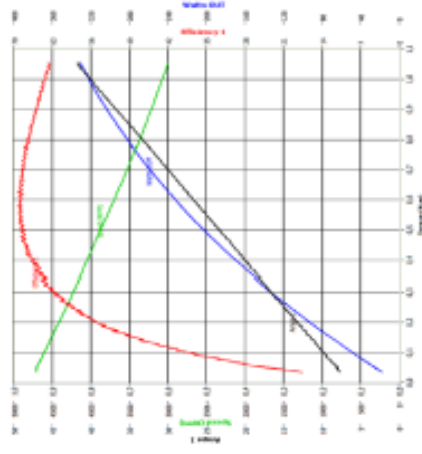
Especificação  
Técnica

Imagem  
Ilustrativa



101412412

Valores Nominais	
Tensão (V)	13
Corrente (A)	27
Potência (W)	235
RPM (min <sup>-1</sup> )	3650
TORQUE (N.m)	0,8
MASSA (Kg)	2

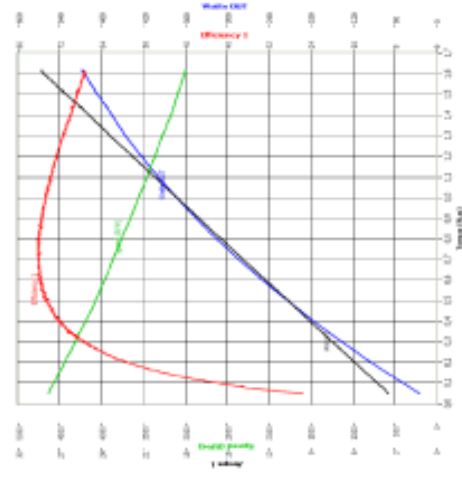


Notas:

-Aplicação: Industrial

101412424

Valores Nominais	
Tensão (V)	27
Corrente (A)	15,5
Potência (W)	320
RPM (min <sup>-1</sup> )	3750
TORQUE (N.m)	0,8
MASSA (Kg)	2



F-14