

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA – FAEN**

**ENGENHARIA MECÂNICA**

**CLAUDINEI DOS SANTOS JUNIOR**

**PROJETO PRELIMINAR E PROTÓTIPO VIRTUAL DE DISPOSITIVO  
DE TRANSPORTE E ALIJAMENTO DE COTÉSIA USANDO VANTS**

**DOURADOS, MS**

**2023**

CLAUDINEI DOS SANTOS JUNIOR

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos.

Área de concentração: Mecânica dos Sólidos

DOURADOS, MS

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

---

**ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aluno: **CLAUDINEI DOS SANTOS JUNIOR**

Título do trabalho e subtítulo (se houver): **PROJETO PRELIMINAR E PROTÓTIPO VIRTUAL DE DISPOSITIVO DE TRANSPORTE E ALIJAMENTO DE COTÉSIA USANDO VANTS**

**BANCA EXAMINADORA**

**1. Presidente (orientador):**

Prof. Dr. RODRIGO BORGES SANTOS, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

**2. Membro:**

Prof. Dr. RAFAEL FERREIRA GREGOLIN, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

**3. Membro:**

Prof. Dr. DOUGLAS DOMINGUES BUENO, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – FEIS/UNESP

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos **APROVADO** o aluno acima identificado, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados, 20 de abril de 2023.

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos

Prof. Dr. Rafael Ferreira Gregolin

Prof. Dr. Douglas Domingues Bueno

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro, sou muito grato a Deus, por me permitir a entrada no curso, bem como me abençoar com muita força, sabedoria, capacidade, inteligência e me auxiliar em todas as situações durante o período de estudos e trabalhos, capacitando-me, agora, para sua conclusão.

Agradeço a minha mãe que não mediu esforços para me ajudar em tudo que fosse necessário durante a graduação, me fornecendo todo apoio financeiro e emocional. Juntamente, agradeço a toda minha família e namorada, que estiveram comigo em todas as situações, me apoiando e, sem hesitar, me auxiliando em tudo que fora necessário.

Agradeço a todos os professores da universidade que se propuseram a repassar seu conhecimento da melhor forma possível, sempre muito prestativos nos momentos de dúvidas. Também, ao projeto de extensão Aracuã, que possibilitou a aplicação de conhecimentos vistos em teoria, na prática; bem como, sendo uma importante ferramenta para desenvolver trabalhos em grupos, responsabilidade com deveres e melhoria na comunicação.

Sou grato a todos os amigos que obtive durante a formação, possibilitando momentos incríveis, grupos de estudos que foram de extrema importância para realização de provas e trabalhos. Estes, sempre tentando nos apoiar nos momentos difíceis e proporcionando bons momentos em sua presença.

Por fim, agradeço ao professor orientador, que, além de estar presente em matérias de extrema importância para o curso de engenharia, entregou-me a ideia do projeto, me apoiando em todas as situações que foram necessárias para conclusão do mesmo.

## RESUMO

VANT é a sigla usada para Veículos Aéreos Não Tripulados, também conhecidos como drones. Sua principal característica é que ele não tem um piloto a bordo e pode ser operado por seres humanos ou programas de computador. É amplamente utilizado na agricultura para realizar funções como monitoramento de campo e pulverização de culturas. Esses dispositivos também são usados para diferentes aplicações envolvendo agentes de controle biológico, para melhorar a eficiência, qualidade, redução de custos, produtividade aprimorada e menos tempo de operação. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo para transportar e lançar cotesia por VANT. Cotesia é usada como agente de controle biológico contra uma das principais pragas da cana-de-açúcar. O dispositivo proposto foi projetado usando o software SolidWorks para ser acoplado ao UAV DJI Phantom 3, que contém uma câmera de fácil remoção. Os resultados obtidos demonstram que o dispositivo proposto apresenta um potencial interessante para ser usado em aplicações práticas envolvendo este tipo de UAV e liberação de Cotesia.

**Palavras chave:** VANT, Phantom 3, Dispositivo, Alijamento de Tubetes, Cotésias.

## **ABSTRACT**

UAV is the acronym used for Unmanned Aerial Vehicles, also known as UAVs. Its main characteristic is that it does not have a pilot on board, and it can be operated by humans or computer programs. It is widely used in agriculture to perform functions such as field monitoring and crop spraying. These devices are also used for different applications involving biological control agents, to improve efficiency, quality, cost reduction, improved productivity, and less operating time. In this sense, the objective of this work is to develop a device to transport and jettison cotesia off from UAVs. Cotesia is used as a biological control agent against one of the main pests of sugarcane. The proposed device was designed using SolidWorks software to be coupled to the DJI Phantom 3 UAV, which contains a camera that can be easily removed. The results obtained demonstrate that the proposed device presents an interesting potential to be used in practical applications involving this type of UAV and jettison Cotesia.

**Keywords:** VANT, Phantom 3, Device, Tubete Release, Cotesia.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	9
1.1	Objetivos	12
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	13
2.1	VANT base utilizado no projeto	14
2.2	Massa do dispositivo e dos tubetes	16
2.3	Tempo e distância entre os lançamentos	16
2.4	Croqui do dispositivo	17
2.5	Dimensionamento da engrenagem do mecanismo	18
2.6	Dispositivo de armazenamento e furação dos tubetes	22
2.6.1	<i>Transporte de tubetes</i>	22
2.6.2	<i>Furação dos tubetes</i>	23
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b>	25
3.1	Projeto da engrenagem do mecanismo	26
3.2	Estrutura de transporte de tubetes	27
3.3	Projeto do sistema de furação dos tubetes	28
3.5	Montagem completa do dispositivo de alijamento	29
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	34
	<b>REFERÊNCIAS</b>	35
	<b>APÊNDICE A</b>	38

## 1 INTRODUÇÃO

Diante da crescente procura de novas tecnologias para o setor agrícola em decorrência do aumento da produção, o mercado está cada dia mais aberto a novas técnicas, com produtores sempre em busca de inovações tecnológicas para o aumento da produção agrícola (FATECLOG, 2019). Dentre as diversas tecnologias utilizadas para otimizar a produção, surgem os VANT's (Veículos Aéreos Não Tripulados), conforme mostra a Figura 1. Estes, também são denominados de drones, onde sua principal característica é que não possuem um piloto a bordo, podendo ser pilotados remotamente por operadores humanos ou guiados por programas computacionais.

Figura 1 – Veículo Aéreo Não Tripulado



Fonte: ERGBH (2022)

Uma das práticas mais conhecidas destes equipamentos é o monitoramento dos campos, onde há uma captura de fotos aéreas capazes de ajudar a identificar pontos de melhoria na colheita, detectar pragas e doenças, excesso de irrigação, acompanhamento da safra, entre outros serviços. Um exemplo de imagem capturada por drone é mostrado na figura 2, em que é feita uma análise de concentração de biomassa, disponíveis para o plantio de cana-de-açúcar, soja, milho, algodão e silvicultura. O drone proporciona imagens aéreas de forma acessível, onde o tempo que a aeronave pode percorrer para o processo é ágil, garantindo a possibilidade



do mapeamento do local com detalhes, obtendo uma maior abertura para uma agricultura de precisão (GRUPO DR1, 2020).

Figura 2: Exemplo de imagem capturada por drone



Fonte: DRONEFILMAGEMAEREA (2022)

Na pulverização, as aeronaves normalmente utilizadas são tripuladas, necessitando, portanto, da presença de um piloto durante a atividade (PLANTIO DIRETO, 2020). Sob esta ótica, o VANT torna-se um grande aliado do agricultor. Este, faz o processo de forma remota, com um ótimo alcance de hectares por dia, aumentando também a segurança do profissional, reduzindo o contato com os agrotóxicos, evitando insolações, dentre outros problemas encontrados na pulverização por aeronaves convencionais, ou manual. Na figura 3, é exibido um VANT realizando pulverização. Além disso, o equipamento pode acessar áreas de declive, possui diversos bicos para aplicação de defensivos, permite fazer o trabalho em taxa variável ou localizado somente na área de interesse, conseqüentemente há uma economia de produto (GRUPO DR1, 2020).

Figura 3: Exemplo de pulverização por drone



Fonte: CANAL RURAL (2021)

Outra aplicação interessante dos drones, é no controle macrobiológico (animais passíveis de serem observados a olho nu) de pragas na lavoura. O uso destes dispositivos na liberação de agentes de controle biológico proporciona aos produtores rurais um controle mais eficiente, considerando a qualidade da aplicação, a redução de custos, a melhora na produtividade e o menor tempo de operação. A tecnologia do drone inclui um mecanismo dosador preciso, capaz de distribuir de forma exata o agente biológico na área a ser controlada; os drones são capazes de cobrir grandes áreas, e é possível efetivar o controle em momentos de pico (CAMPO & NEGÓCIOS, 2020).

Figura 4 – Liberação de agente de controle macrobiológico via drone



Fonte: dronevisual (2020)

Neste contexto, o presente trabalho aborda os procedimentos de execução referente a elaboração de um dispositivo para liberação de tubetes de cotésia na produção agrícola. Esta, trata-se de uma microvespa que é parasita natural da broca, uma das principais pragas da cana-de-açúcar. O dispositivo foi projetado visando um acoplamento em um VANT.

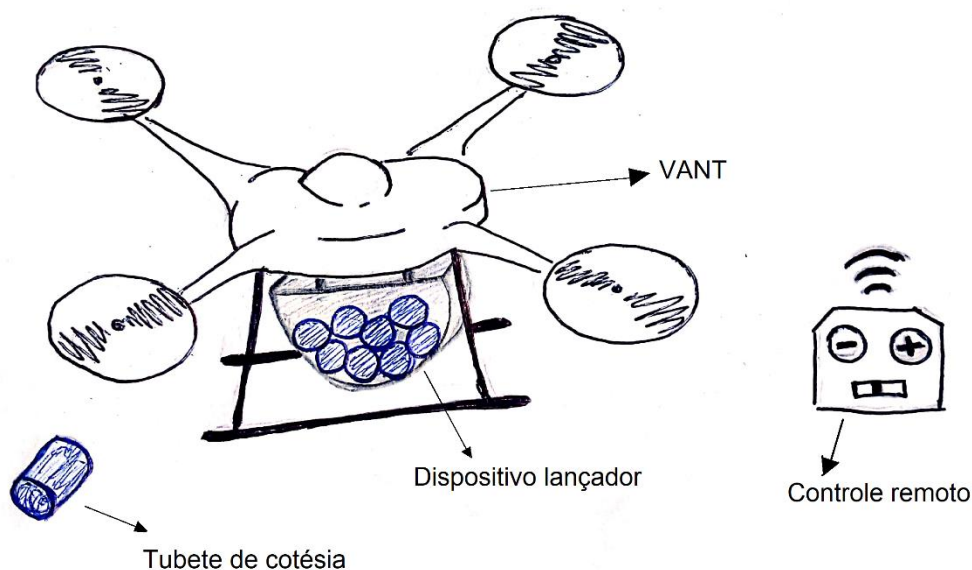
## **1.1 Objetivos**

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver o projeto preliminar e apresentar um protótipo virtual de um dispositivo de transporte de carga acoplado em um VANT, com a função de lançar tubetes de cotésia para o combate de pragas em plantações de canas.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Na figura 5, é demonstrado um esquema do dispositivo. Note que este deve possuir um reservatório para armazenagem de tubetes e um mecanismo acionado remotamente que permite lançar os tubetes durante o voo do VANT.

Figura 5 – Ilustração do dispositivo lançador de tubetes de cotésia acoplado em VANT



Fonte: Autor (2022)

Além disso, o dispositivo deve atender os requisitos apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Requisitos de projeto

Massa total do dispositivo (com carga) (Capacidade de carga de um drone modelo Phantom 3 com a remoção da câmera)	650	g
Capacidade máxima de tubetes a serem transportados	21	Unidades
Massa aproximada de um tubete	15,1	g
Carga máxima a ser transportada	317,1	g
Distância percorrida para liberação de cada tubete	25	m

Fonte: Autor (2023)

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado conforme as seguintes etapas de execução: definição de um drone base para acoplamento do dispositivo, definição dos requisitos de projeto; desenhos de croquis para o dispositivo; dimensionamento dos mecanismos e componentes e desenho do dispositivo completo. Neste trabalho, é utilizado o software SolidWorks como base para todo o projeto 3D do dispositivo. Este, possui licença de propriedade da faculdade de Engenharia – FAEN/ UFGD.

## 2.1 VANT base utilizado no projeto

As especificações do veículo utilizado no presente trabalho para construção do dispositivo, são do DJI Phantom 3. Este, é bastante conhecido pela sua capacidade de captura de fotografias. Dessa forma, possui uma câmera integrada na parte inferior de seu corpo, como exibido na figura 6.

Figura 6 – Drone DJI Phantom 3



Fonte: AEROMODELO BRASIL (2022)

Os controles de voo do equipamento são bem simples, onde são manuseados através de um controle acoplado a um smartphone ou tablet, e todos comandos repassados através de um aplicativo.

O equipamento também possui funcionalidades de voo automático, permitindo por exemplo que ele se mantenha estável no ar quando não há nenhum comando do controle, ou

que ao decolar ele suba a uma altura determinada e mantenha-se parado. Tais aspectos serão extremamente funcionais para a utilização do VANT no alijamento dos tubetes de cotésia.

Na tabela 2, são exibidas algumas configurações e características do VANT que serão de importância para o presente estudo.

Tabela 2 – Características do drone DJI Phantom 3

Definição	Valor	Unidade
Capacidade da bateria	4480	mAh
Capacidade de voo	23	min
Capacidade de carga para condições seguras	500	g
Capacidade de carga com extração da câmera	650	g

Fonte: Autor (2022)

É importante reforçar que o drone Phantom 3 é um equipamento fabricado com o intuito apenas para fotografias, não possuindo a funcionalidade para transporte de carga. No entanto, no mercado, existem dispositivos específicos para esta aeronave, em que são acoplados a mesma, permitindo assim o transporte e entrega de carga útil, como é visto na figura 7.

Figura 7 – Dispositivo de acoplamento para transporte de carga



Fonte: Editado de JOOM (2022)

## 2.2 Massa do dispositivo e dos tubetes

Para prosseguir com o trabalho, deve-se conhecer a massa de cada tubete já com as cotésias dentro do recipiente, como visto na figura 8.

Figura 8 – Tubete com cotésias



Fonte: (JORNAL CANA, 2023)

Para se obter uma aproximação para o valor da massa de um tubete com cotésias, relaciona-se o mesmo com a massa de uma lata de alumínio vazia. Por meio de pesquisas realizadas na internet, foi visto que tal valor é de 14,5 g (TREINAMENTO24, 2022). Também, é considerado a massa de uma cotésia sendo a massa de uma formiga. É visto, que a massa de uma formiga é aproximadamente 3 mg (MEGA CURIOSO, 2013). Nesse sentido, considerando que se tenha um número médio de 200 cotésias por tubete, tem-se uma massa final (Tubete com cotésias) de 15,1 g em cada recipiente.

Como o intuito do projeto é somente uma prova conceitual, é definida uma carga de 21 tubetes a serem transportados pelo dispositivo de alijamento. Dessa forma, a massa total a ser transportada é de 317,1 g. Subtraindo esta da capacidade de carga do VANT, 650 g, conclui-se que o dispositivo de alijamento deve ter no máximo uma massa de 332,9 g.

## 2.3 Tempo e distância entre os lançamentos

De acordo com o manual do Phantom 3, o quadricóptero pode chegar a uma velocidade máxima de 57 km/h. Para que o equipamento não trabalhe em condições extremas, considera-se uma velocidade de operação de 35 km/h.

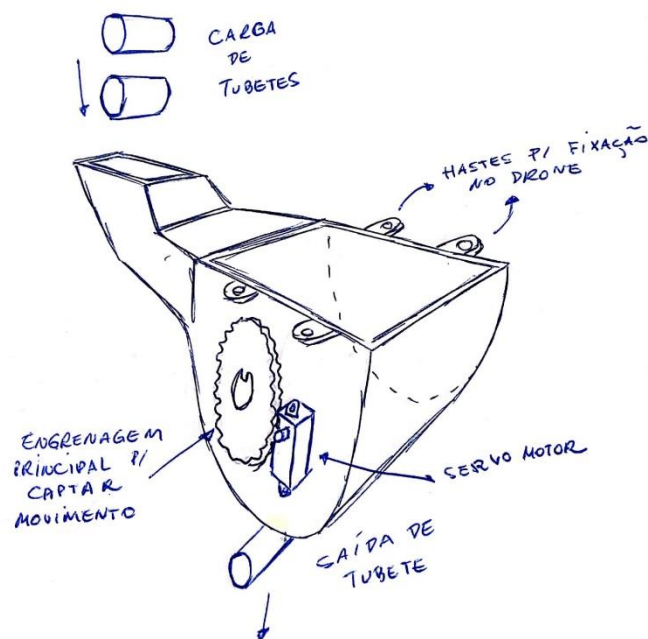
Também, foi definida uma distância de 25 metros para o lançamento consecutivo de tubetes, em que a cada giro de 360° da engrenagem principal de todo o sistema, são liberadas 5 unidades. Assim, a partir da velocidade e distância entre lançamentos mencionados, tem-se um tempo de 2,57 s entre cada lançamento.

Neste contexto, para lançar os 21 tubetes, o dispositivo leva 53,97 segundos e 12,85 segundos para lançar os 5 tubetes referente a uma volta completa de 360° do sistema.

## 2.4 Croqui do dispositivo

Para iniciar o protótipo, foi feito um esboço do equipamento, mostrado na figura 9.

Figura 9 – Esboço inicial do dispositivo de alijamento

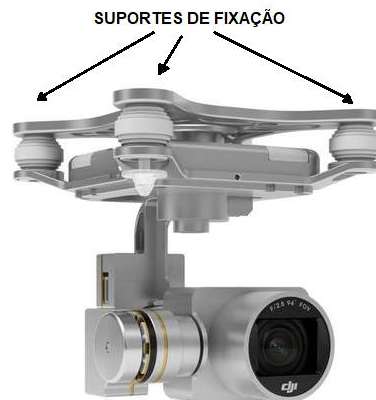


Fonte: Autor (2022)

Para a fixação do dispositivo ao VANT, serão utilizados os mesmos suportes onde a câmera é fixada, como exibido na figura 10, já que esta será removida.



Figura 10 – Câmera do DJI Phantom 3



Fonte: editado de TUDO SOBRE PRODUTOS (2022)

A carga de tubetes, é realizada por meio da parte superior do equipamento. Estas, são adicionadas horizontalmente e com ambas as faces circulares perpendicular ao eixo principal do dispositivo.

Um servomotor é utilizado para transferir movimento ao projeto. Este, deve levar o tubete até sua saída e, também, fura-los, permitindo que as cotésias saiam quando aquele cair na plantação. Seu acionamento pode ser feito por meio de uma placa Arduino.

## 2.5 Dimensionamento da engrenagem do mecanismo

Servomotor utilizado: GOTECK GS-9018 Modelo RC Micro Escova Servo 9g 1,5 kg. Este, possui uma velocidade de  $0,12 \text{ s} / 60^\circ$  ( $8,727 \text{ rad/s}$ ). Na figura 11 é exibido uma imagem do servomotor.

Na tabela 3, são exibidos os dados de operação para o alijamento e definições do servomotor.

Figura 11 – Servomotor utilizado



Fonte: (EBAY, 2022)

Tabela 3 – Dados para o projeto

Parâmetro	Descrição	Valor	Unidade
$V_0$	Velocidade de operação	35	km/ h
$D_T$	Distância de lançamento entre tubetes	25	m
$r_s$	Raio primitivo da engrenagem do servomotor	1,87	mm
$t$	Tempo entre 1 lançamento consecutivo	2,57	s
$t_T$	Tempo de uma volta completa da engrenagem principal (360°)	12,85	s
$\omega_s$	Velocidade angular do servomotor	8,727	rad/ s

Fonte: Autor (2022)

Para que o dispositivo cumpra as condições pré-estabelecidas, deve-se calcular a velocidade angular da engrenagem principal que dará movimento a todo sistema ( $\omega_p$ ). Para isso, sabe-se que o tempo para uma volta completa (360°) da engrenagem principal do sistema é  $t_T = 12,85$  s. Assim, de acordo com o livro de Halliday e Resnick (2012), é possível determinar  $\omega_p$  por meio da equação (1).

$$\omega_p = \frac{2\pi}{t_T} \quad (1)$$

Para o dimensionamento da engrenagem, se utiliza como base o livro de Provenza (1960).

A relação de engrenagens pinhão-coroa é dada pela equação (2):

$$\omega_s r_s = \omega_p r_p \quad (2)$$

sendo  $\omega_p$  a velocidade angular da engrenagem principal e  $r_p$  o raio primitivo da engrenagem principal. O número de Dentes da engrenagem principal é dado pela equação (3):

$$Z_p = \frac{D_{p_p}}{m} \quad (3)$$

sendo  $m$  o módulo e  $D_{p_p}$  o Diâmetro primitivo da engrenagem principal. A partir da engrenagem do servomotor, tem-se que o módulo das engrenagens é:

$$m = \frac{D_{E_s}}{Z_s + 2} \quad (4)$$

sendo  $D_{E_s}$  o diâmetro externo da engrenagem do servomotor e  $Z_s$  o número de dentes da engrenagem do servomotor. O diâmetro externo da engrenagem principal é dado pela equação (5):

$$D_{E_p} = m(Z_p + 2) \quad (5)$$

O diâmetro base da engrenagem principal é dado pela equação (6):

$$D_{B_p} = D_{p_p} \cos(\theta) \quad (6)$$

sendo  $\theta$  o ângulo de pressão (usualmente  $20^\circ$ ). O diâmetro interno da engrenagem principal é dado pela equação (7):

$$D_{i_p} = m(Z_p - 2,334) \quad (7)$$

O ângulo do dente da engrenagem principal é dado pela equação (8):

$$\alpha = \frac{90}{Z_p} \quad (8)$$

O raio do flanco de coroa dos dentes da engrenagem é dado pela fórmula (9):

$$r = f m \quad (9)$$

sendo  $f$  um fator de correção dependente do número de dentes  $e$ , adimensional. O raio do flanco de raiz dos dentes da engrenagem é dado pela fórmula (10):

$$r_1 = r f' \quad (10)$$

sendo  $f'$  um fator de correção dependente do número de dentes  $e$ , adimensional. Para determinar  $f$  e  $f'$ , analisa-se os dados da tabela 4.

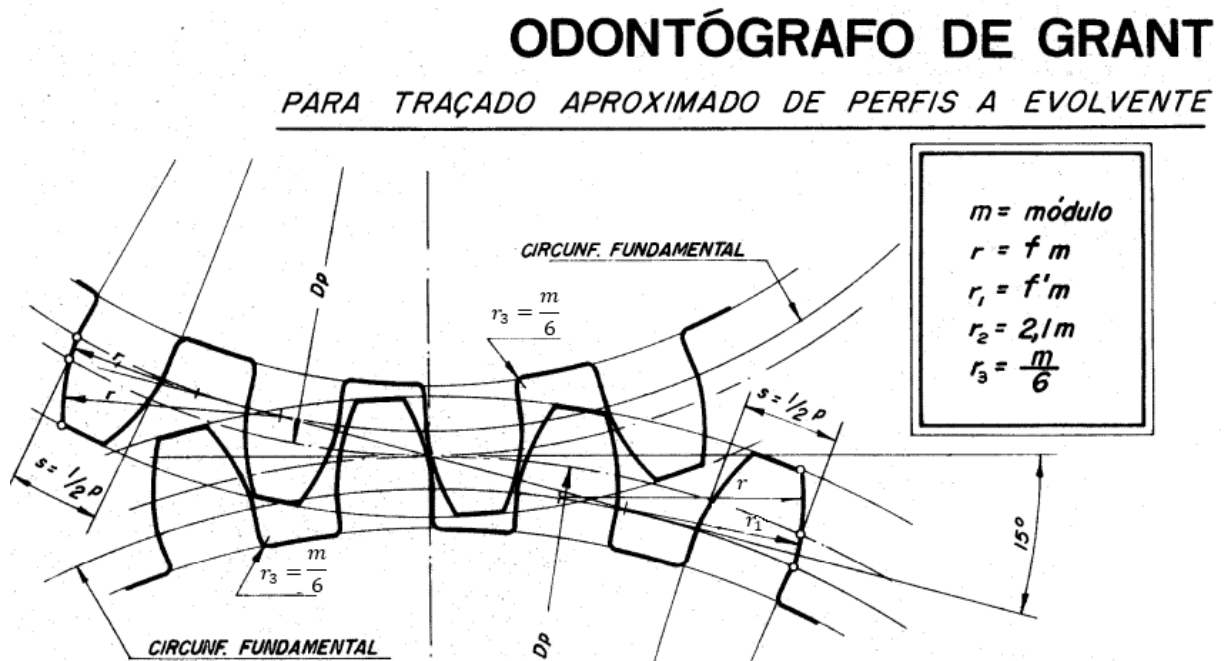
Tabela 4 – Fatores de correção  $f$  e  $f'$

Nº DE DENTES Z	COEFICIENTES	
	f	f'
8	2,1	0,45
10	2,28	0,69
36	4,45	3,23
37 - 40	4,20	
41 - 45	4,63	
46 - 51	5,06	
52 - 60	5,74	
61 - 70	6,52	
71 - 90	7,72	
91 - 120	7,78	
121 - 180	13,38	
181 - 360	21,62	

Fonte: DESENHISTA DE MÁQUINAS (1960)

Para um melhor entendimento do cálculo dos parâmetros utilizados, é demonstrado um esquema de projeto de engrenagem na figura 12.

Figura 12 – Odontógrafo de Grant



Fonte: DESENHISTA DE MÁQUINAS (1960)

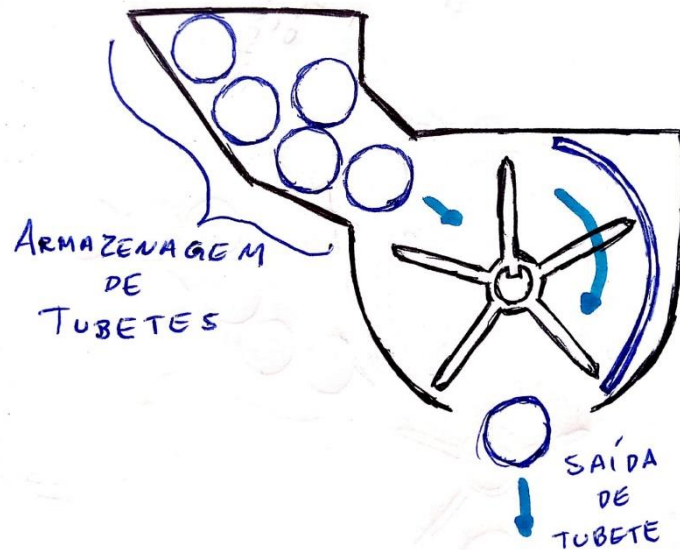
## 2.6 Dispositivo de armazenamento e furação dos tubetes

Deve-se avaliar uma possível estrutura para o equipamento, levando em conta o desenvolvimento de um sistema para realizar a movimentação e furação dos tubetes de cotésia.

### 2.6.1 Transporte de tubetes

Para realizar o transporte de tubetes, é elaborado um sistema semelhante ao da roda d'água, em que a partir de seu movimento rotacional, as capsulas caem em seus compartimentos, sendo levadas até a saída do dispositivo. Para armazenagem e direcionamento dos tubetes, foi projetado um sistema de bocal, semelhante a um triturador forrageiro. Para melhor entendimento do sistema, um desenho esquemático é mostrado na figura 13. O sistema de rotação observado é acoplado ao eixo da engrenagem principal. Dessa forma, visto que esta foi projetada levando em conta as condições iniciais, os tubetes serão liberados exatamente no tempo proposto.

Figura 13 – Esboço do sistema de movimentação dos tubetes

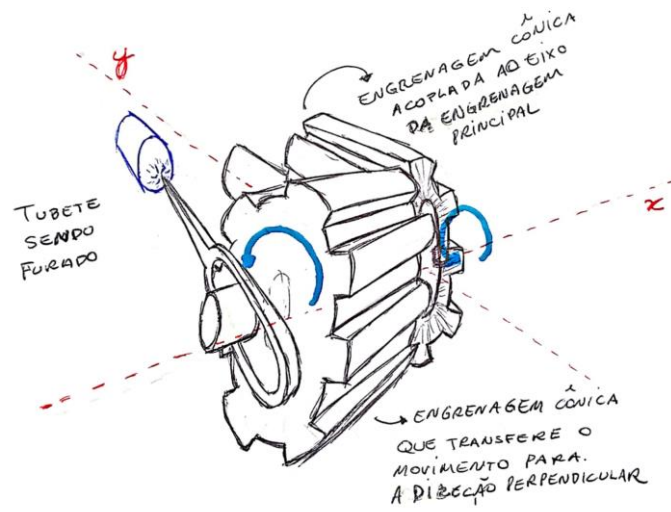


Fonte: Autor (2022)

### 2.6.2 Furação dos tubetes

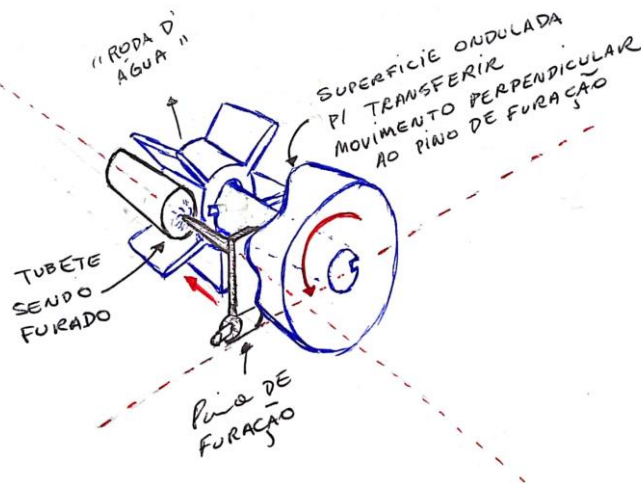
É necessário elaborar um sistema que, também, capte a rotação do servomotor para realizar a furação dos tubetes no momento necessário. Inicialmente, foi pensado em um conjunto de engrenagens cônicas, assim como demonstra a figura 14. No entanto, para redução de massa total e facilidade nos cálculos de transferência de movimentos, optou-se pelo desenvolvimento de outro sistema. Um esboço esquemático da configuração é demonstrado na figura 15.

Figura 14 – Sistema de engrenagens cônicas para furação dos tubetes



Fonte: Autor (2022)

Figura 15 – Sistema de superfície radial ondulada para furação dos tubetes



Fonte: Autor (2022)

### **3 RESULTADOS**

Para iniciar o projeto, foram feitas pesquisas visando os dispositivos de alijamento já existentes no mercado. A partir de tal, foi notado que o conjunto VANT dispositivo possuem um valor elevado de aquisição. Nesse sentido, seguiu-se a ideia de projetar um mecanismo capaz de realizar a mesma função com um baixo custo, e, acoplável em um equipamento com preço inferior aos avaliados inicialmente.

Utilizou-se para o trabalho o DJI Phantom 3. Assim, tendo a necessidade de seus formatos e dimensões, realizou-se pesquisas na internet na tentativa de encontrar sites com tais informações, ou até mesmo, os manuais do equipamento. Em meio ao estudo, foi adquirido um modelo 3D do VANT em questão, utilizando-o no software CAD SolidWorks, para posteriormente projetar o dispositivo de alijamento.

Nesse sentido, a partir dos dados coletados, foi possível a elaboração de um projeto 3D do mecanismo. Estes, foram a base de todo o plano de trabalho, pois, possuindo todas as informações necessárias do DJI Phantom 3, tornou-se possível iniciar os desenhos do protótipo e concluir o planejamento detalhado em CAD.

Na tabela 5 são exibidos os resultados dos valores obtidos pelas fórmulas de relações de engrenagem, da sessão anterior.



Tabela 5 – Valores obtidos pelas fórmulas

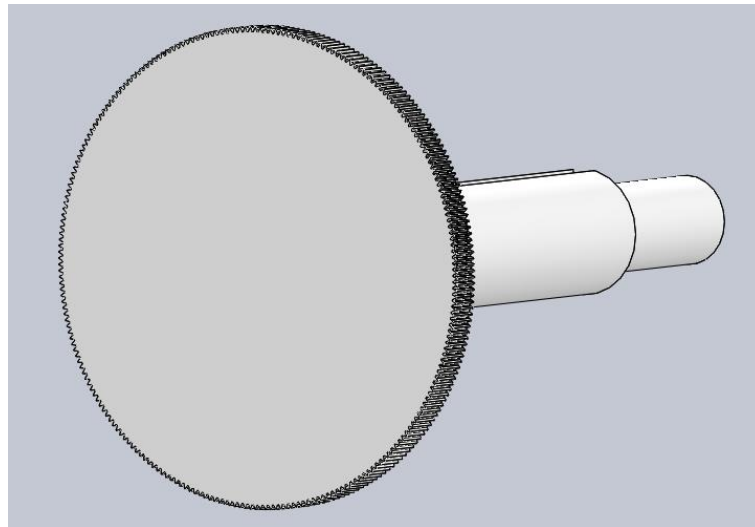
Parâmetro	Descrição	Valor	Unidade
$\omega_p$	Velocidade angular da engrenagem principal	0,49	rad/s
$r_p$	Raio primitivo da engrenagem principal	33,30	mm
$D_p$	Diâmetro primitivo da engrenagem principal	66,60	mm
$Z_s$	Número de dentes da engrenagem do servomotor	12	
$Z_p$	Número de dentes da engrenagem principal	214	
$m$	Módulo	0,31	
$D_{EP}$	Diâmetro externo da engrenagem principal	66,96	mm
$D_{BP}$	Diâmetro base da engrenagem principal	62,58	mm
$D_{IP}$	Diâmetro interno da engrenagem principal	65,62	mm
$f$	Fator de correção	21,62	
$r$	Raio do flanco de coroa da engrenagem principal	6,72	mm
$f'$	Fator de correção	21,62	
$r_1$	Raio do flanco de raiz da engrenagem principal	6,72	mm
$\alpha$	Ângulo do dente da engrenagem principal	0,42	°

Fonte: Autor (2023)

### 3.1 Projeto da engrenagem do mecanismo

Na figura 16 observa-se o desenho 3D da engrenagem principal que movimentará todo o sistema para realizar o alijamento. Esta foi projetada a partir das definições do servomotor utilizado, visto que irá captar seu movimento e transferir para todo o sistema de alijamento. Em seu material de confecção, foi adotado o plástico ABS, já que será confeccionada em impressão 3D.

Figura 16 – Desenho 3D da engrenagem principal

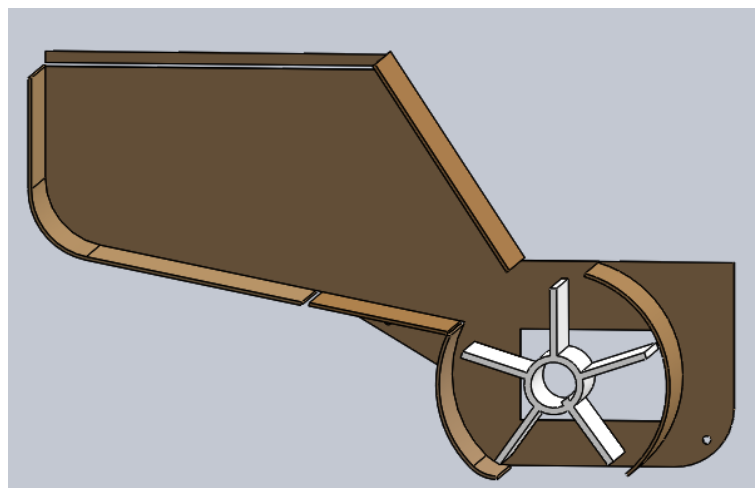


Fonte: Autor (2023)

### 3.2 Estrutura de transporte de tubetes

Na figura 17 é possível observar o desenho em CAD da estrutura de armazenagem e alijamento de tubetes. Para o material da estrutura, optou-se por utilizar a madeira balsa. Esta, possui uma baixa densidade (entre 100 – 200 kg/m<sup>3</sup>) e uma alta resistência, sendo comumente utilizada na construção de aeromodelos. Na roda central, também será utilizado o plástico ABS.

Figura 17 – Estrutura do dispositivo de alijamento

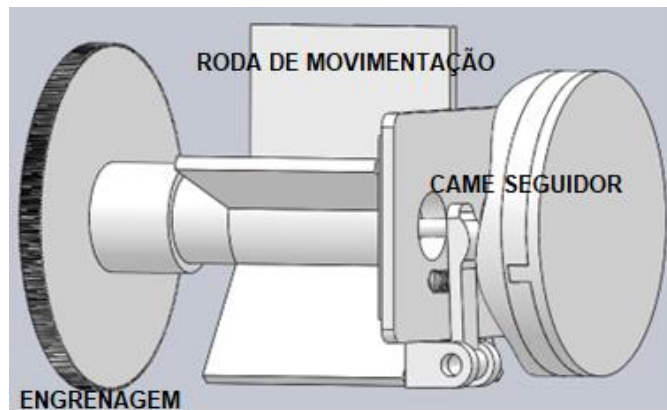


Fonte: Autor (2023)

### 3.3 Projeto do sistema de furação dos tubetes

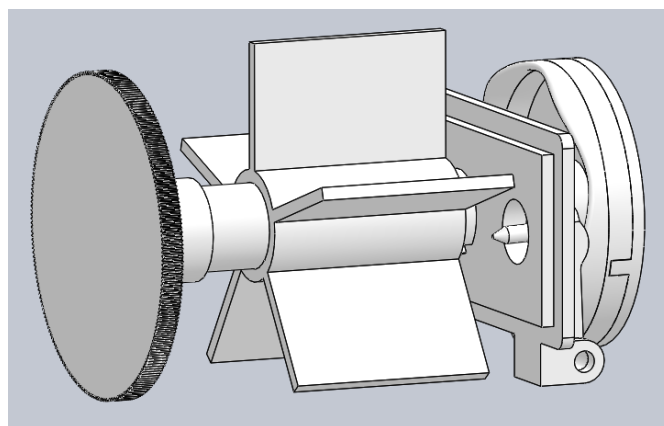
Nas figuras 18 e 19, é possível notar que para a furação dos tubetes, foi adotado uma configuração de came seguidor. Este, é composto por um pino, que é forçado contra o sentido de furação, por uma mola. Também, há um pequeno cilindro com uma das extremidades de suas laterais, em formato ondulado (came) que se mantém em contato com o pino (seguidor). Dessa forma, nos “picos” da ondulação do cilindro, o pino é forçado para dentro, furando o tubete. Quando as “depressões” do cilindro passam pelo pino, devido a força da mola, este é novamente direcionado para fora. Assim, como todas as depressões e vales foram sincronizados com o movimento rotacional da roda central, os tubetes são furados exatamente no momento desejado.

Figura 18 – Sistema de furação dos tubetes (vista 1)



Fonte: Autor (2023)

Figura 19 – Sistema de furação dos tubetes (vista 2)

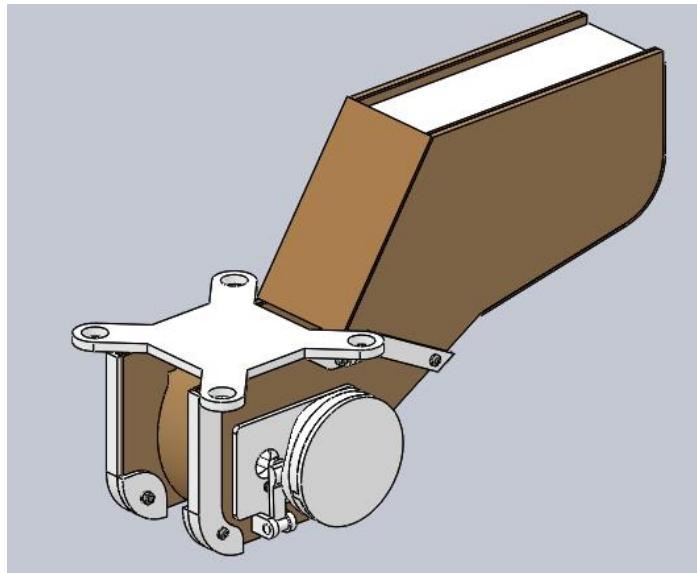


Fonte: Autor (2023)

### 3.5 Montagem completa do dispositivo de alijamento

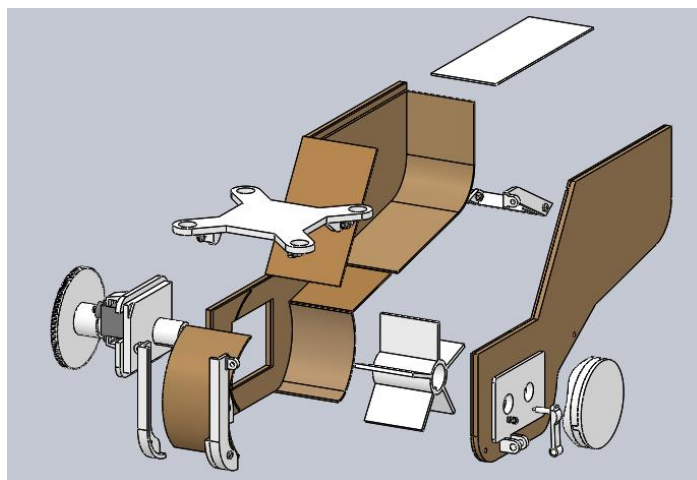
Tem-se a montagem completa e a vista explodida do equipamento nas figuras 20 e 21. Todos os elementos em cor branca que não foram mencionados, serão construídos em ABS, confeccionados por impressão 3D. Alguns parafusos, porcas e arruelas também foram adicionados ao conjunto. A partir do SolidWorks, foi visto que o dispositivo vazio (sem tubetes) está com uma massa de 301,9 gramas, aproximadamente. No apêndice A, tem-se uma vista explodida do dispositivo com a nomeação dos seus componentes.

Figura 20 – Montagem completa



Fonte: Autor (2023)

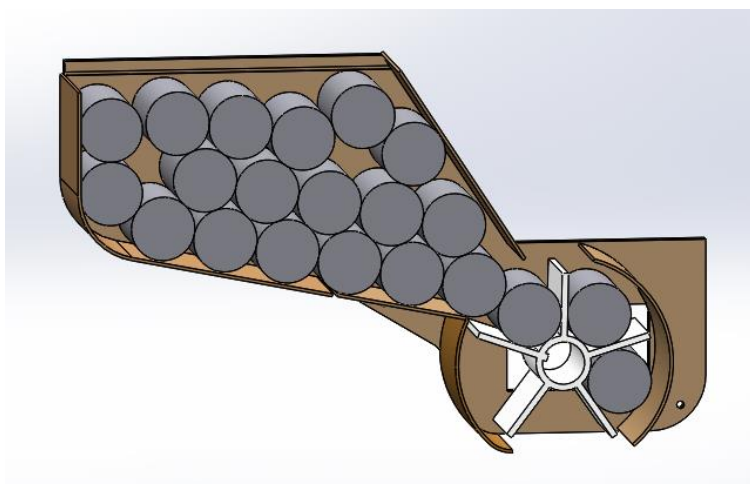
Figura 21 - Vista explodida do dispositivo



Fonte: Autor (2022)

A partir do SolidWorks, como demonstrado na figura 22, foi observado que podem ser inseridos 21 unidades. Estes, tem o formato de um cilindro, com 30 mm de diâmetro e altura de 48 mm. Assim, o equipamento com carga máxima, possui uma massa de, aproximadamente, 619 g (valor obtido pelo CAD).

Figura 22 – Quantidade máxima de tubetes



Fonte: Autor (2023)

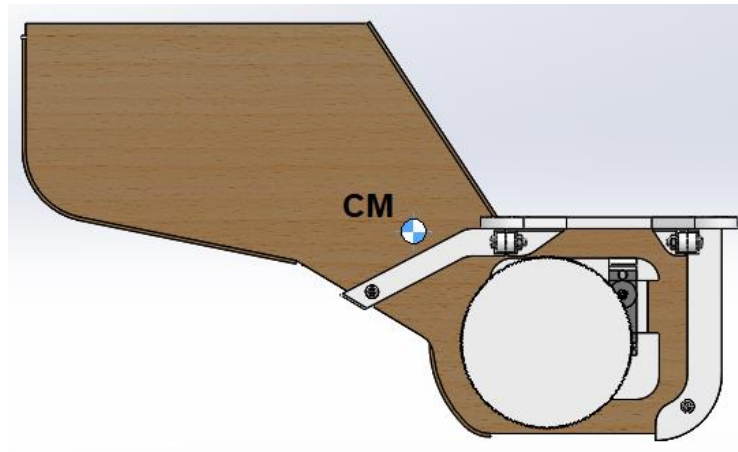
Por fim, sob todos os dados exibidos, é possível observar que o trabalho teve um resultado satisfatório em seu projeto em CAD. Vê-se que o mecanismo apresentou sua funcionalidade com êxito, possuindo em sua estrutura um sistema que transporta os tubetes da região de armazenagem, até sua liberação. Também, é visto que o equipamento possui toda sua estrutura funcional, sem a presença de possíveis espaços desnecessários.

Comparando-o com os dispositivos presentes no mercado atualmente, nota-se que o presente projeto possui diferenças estruturais significativas. Este, possui em sua região de armazenamento um formato de funil, semelhante a um triturador forrageiro. Aquele, geralmente é visto com uma estrutura em formato de semicircunferência ou triangular, como visto na figura 4. Também, vale destacar que o equipamento projetado possui um número inferior de tubetes a serem transportados, quando comparado aos equipamentos presentes no mercado, tendo de ser carregado uma maior parte de vezes que o dispositivo convencional.

Nas figuras 23, 24 e 25 é exibido a posição do centro de massa (CM) obtido no dispositivo de alijamento, em que as 21 unidades de tubetes estão adicionadas. Nota-se que o CM está localizado em boa posição, onde não se encontra em regiões externas do equipamento, o que poderia acarretar em um possível momento gerado pelo desbalanço de massa.

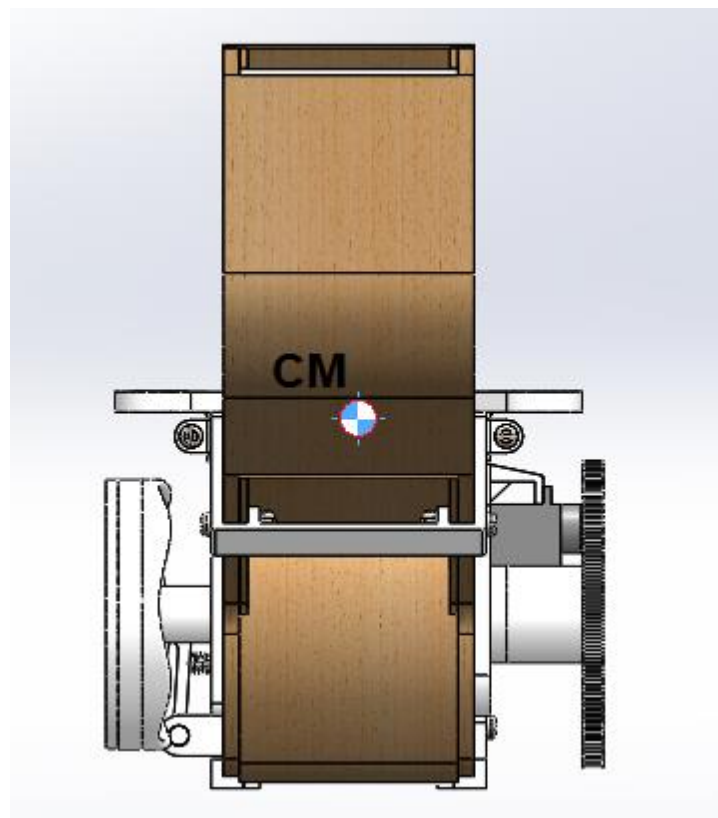
Nas figuras 26, 27 e 28 é demonstrado o dispositivo acoplado ao drone DJI Phantom 3.

Figura 23 – CM (vista 1)



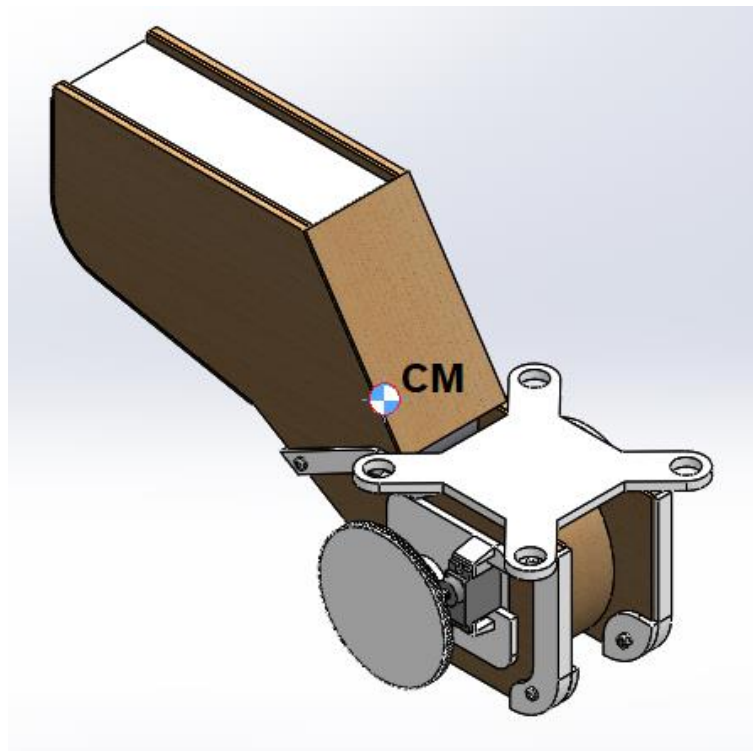
Fonte: Autor (2023)

Figura 24 – CM (vista 2)



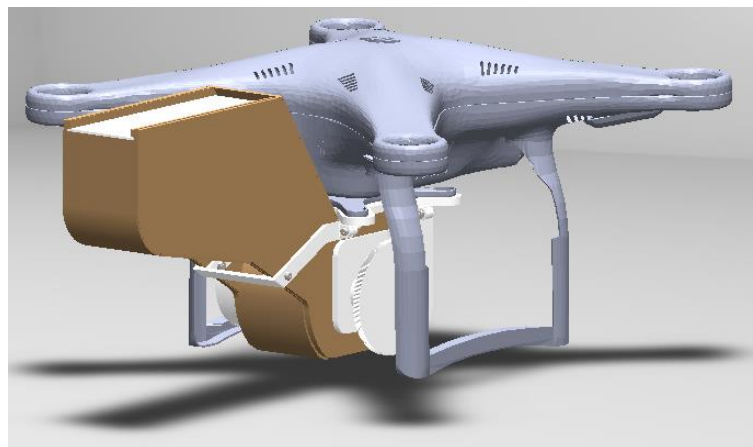
Fonte: Autor (2023)

Figura 25 – CM (vista 3)



Fonte: Autor (2023)

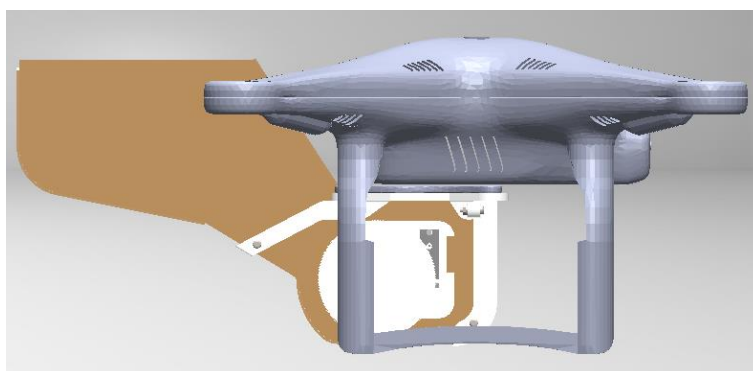
Figura 26 – Dispositivo de alijamento acoplado ao drone (vista 1)



Fonte: Autor (2023)

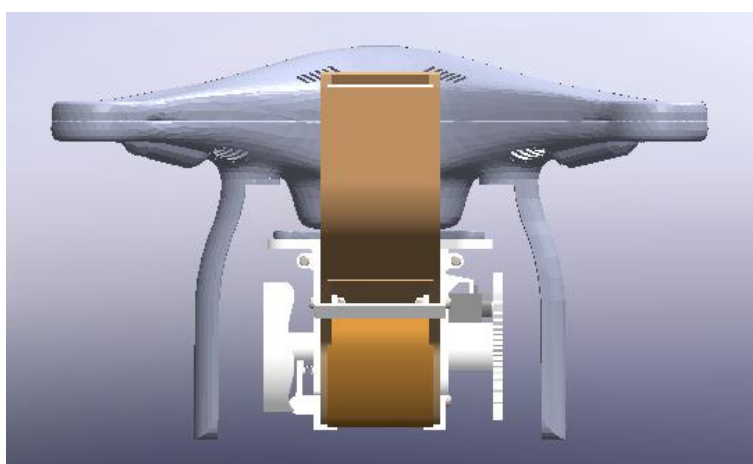
Na tabela 6, é exibido o valor estimado dos materiais necessários para confecção do equipamento de alijamento de cotésia.

Figura 27 – Dispositivo de alijamento acoplado ao drone (vista 2)



Fonte: Autor (2023)

Figura 28 – Dispositivo de alijamento acoplado ao drone (vista 3)



Fonte: Autor (2023)

Tabela 6 – Preço estimado do dispositivo projetado

IDENTIFICAÇÃO	VALOR (R\$)
Dji Phantom 3	6899,00
Chapas de Balsa 2 mm (6 unidades)	269,90
Filamento de Plástico ABS (1 kg)	49,90
Parafusos, porcas e arruelas	10,00
<b>TOTAL</b>	<b>7228,80</b>

Fonte: Autor (2023)



## 4 CONCLUSÃO

Ao iniciar o trabalho de pesquisa, constatou-se que na atualidade os VANTS são utilizados para diversos trabalhos, afetando diretamente a economia do meio, principalmente para o agronegócio. Diante do fato, evidencia-se uma grande importância no projeto abordado, onde o estudo teve como objetivo geral a elaboração de um dispositivo de alijamento de cotésia com um custo muito mais reduzido, quando comparado aos equipamentos presentes no mercado. Tomando como base o VANT M600C, específico para o alijamento de cotésia, tem-se um preço de R\$ 99.000. Já para o dispositivo projeto, como visto na tabela 6, tem-se um preço em torno de R\$ 7.000. Assim, é possível notar que a finalidade foi alcançada, em que foi possível projetar um instrumento que pode ser acoplado em drones convencionais, com materiais alternativos, garantindo eficiência e baixo custo na realização da tarefa. Ademais, tem-se que os objetivos específicos, em que o dispositivo deve atender os requisitos iniciais de projeto, foram concluídos.

Para construção do trabalho, foram coletadas informações do manual e sites de venda do DJI Phantom 3. Também, definiu-se condições iniciais para elaboração do projeto, como quantidade de tubetes e tempo de operação. Por conseguinte, foi necessário definir um modelo de servomotor, tomando sua velocidade de trabalho. Quanto ao VANT, foi obtido via download de internet, um modelo 3D do mesmo, para adquirir dados de suas dimensões. A partir dos dados, foi realizado o cálculo de relações da engrenagem do servomotor e a engrenagem que capta seu movimento para transferir ao sistema. Após, foram elaborados sistemas de transporte e furação de tubetes. Para conclusão da ideia do projeto, foram realizados desenhos 3D de todos os componentes, bem como a montagem completa do mecanismo.

Diante da metodologia utilizada, foi possível analisar que houve dificuldade para obter formatos e dimensões corretas do VANT, para assim realizar um dispositivo que acople perfeitamente a este. Não foi possível verificar com certeza de que as dimensões do modelo baixado coincidiam com o drone físico. Para um projeto mais claro, seria necessário adquirir o VANT, para trabalhar com as dimensões em bancada. Também, outro aspecto que viria acrescentar muito no projeto é a construção física do dispositivo. Com isso, seria possível visualizar interferências na movimentação do processo, o que não ocorre no projeto em CAD.

## REFERÊNCIAS

EBAY. DJI Phantom 3 Professional Drone - White. Disponível em: <https://www.ebay.co.uk/itm/192139309906>. Acesso em: 16 jan. 2023.

AEROMODELOBRASIL. Drones: DJI Phantom 3 Professional. Disponível em: <https://aeromodelobrasil.com/drones/dji-phantom-3/professional/>. Acesso em: 29 mar. 2022.

AINFO EMBRAPA. Uso de VANT para amostragem do percevejo-marrom em lavouras de soja. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212490/1/CBdocument.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

Shigley, J.E., Mischke, C.R. e Budynas, R.G. Elementos de Máquinas. 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

CANALRURAL. Soja: Será que um drone pulverizador funciona mesmo? Entenda. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/projeto-soja-brasil/soja-sera-que-um-drone-pulverizador-funciona-mesmo-entenda-2/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

DALBOR, Erwin. 5 usos do drone na agricultura. Grupo DR1, s.d. Disponível em: <https://blog.grupodr1.com.br/5-usos-do-drone-na-agricultura/#:~:text=O%20Drone%20proporciona%20imagens%20a%C3%A9reas,para%20a%20agricultura%20de%20precis%C3%A3o..> Acesso em: 22 mar. 2022.

Revista Campo e Negócios. (s.d.). Liberação de macrobiológicos via drone. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/liberacao-de-macrobioologicos-via-drone/>. Acesso em 13 de março de 2022.

PROVENZA, Francesco. Desenhista de Máquinas. São Paulo: F. Provenza, 1960.

NORTON, Robert L. Projeto de Máquinas. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

DIRETO, Plantio. Vantagens e desvantagens do uso de drones na agricultura. Disponível em: <https://www.plantiodireto.com.br/artigos/36#:~:text=As%20aeronaves%20normalmente%20utilizadas%20para,o%20risco%20de%20acidente%20fatal..> Acesso em: 15 mar. 2022.

DRONE FILMAGEM AÉREA. Agricultura e pecuária. Disponível em: <https://www.dronefilmagemarea.com/agricultura-e-pecuaria/#:~:text=%C3%89%20um%20dos%20usos%20mais,presen%C3%A7a%20de%20fungs%2C%20por%20exemplo..> Acesso em: 22 mar. 2022.

ELEVAGRO. Controle biológico: conceito, objetivos e métodos. Disponível em: <https://elevagro.com/materiais-didaticos/controle-biologico-conceito>. Acesso em: 15 mar. 2022.

ERG. Levantamento aéreo não tripulado (VANT). Disponível em: <https://www.ergbh.com.br/levantamento-aereo-nao-tripulado-vant/>. Acesso em: 14 mar. 2022.

FATEC LOG. Utilização de drones para atividades agrícolas. São Paulo, jun. 2010. Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/201>. Acesso em: 15 mar. 2022.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MOLIN, José Paulo; AMARAL, Lucas Rios; COLAÇO, André Freitas. Agricultura de precisão. 1. ed. São Paulo, 2009.

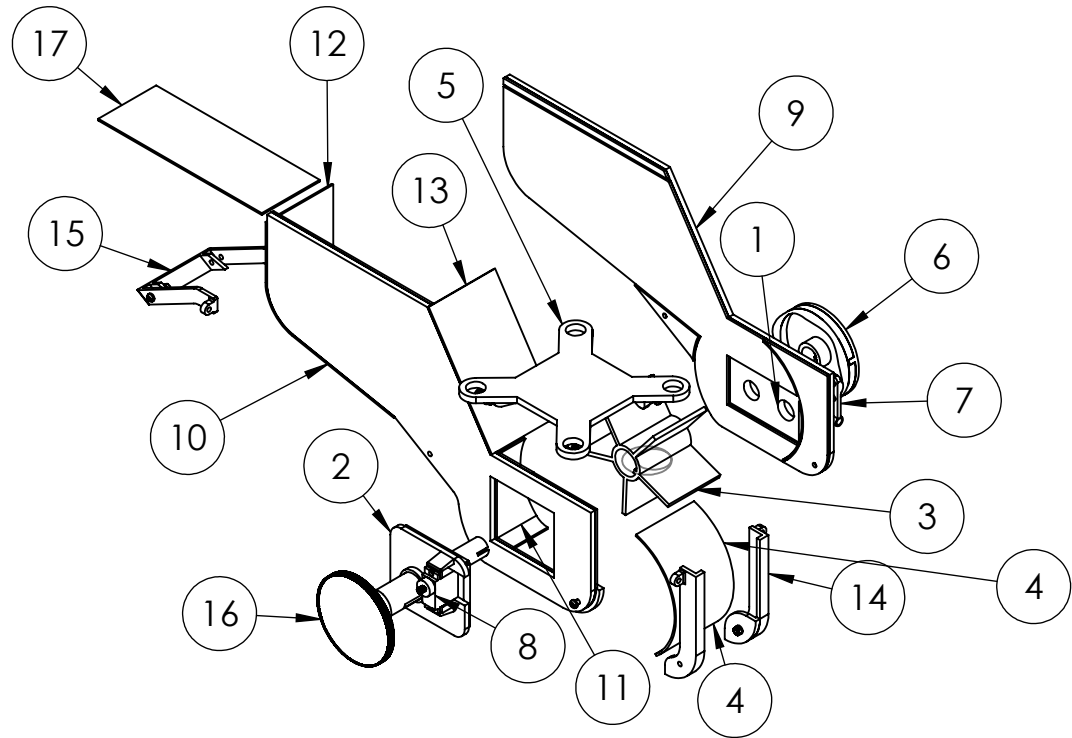
TREINAMENTO24. s.d. "Quantas gramas tem uma latinha?" <https://treinamento24.com/library/lecture/read/238524-quantas-gramas-tem-uma-latinha>. Acesso em 10 de março de 2022.

TUDOSOBREPRODUTOS. s.d. "Tudo sobre Drone DJI Phantom Standard." <https://tudosobreprodutos.com.br/tudo-sobre-drone-dji-phantom-standard#ignore>. Acesso em 24 de março de 2022.

DRONE VISUAL. A agricultura como você nunca viu: controle biológico e pulverização com drones. Disponível em: <https://www.dronevisual.com/post/a-agricultura-como-voc%C3%AA-nunca-viu-control%C3%B3gico-e-pulveriza%C3%A7%C3%A3o-com-drones>. Acesso em: 25 abril de 2023.

SILVA, E. B. da; BUENO, V. H. P. Controle Biológico de Pragas: Produção Massal e Controle de Qualidade de Inimigos. 2. ed. Lavras: UFLA, 2012.

## APÊNDICE A



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.
1	Mancal direito	1
2	Mancal esquerdo	1
3	roda de transporte de tubetes	1
4	Suporte para transporte de tubetes	1
5	Suporte para fixação no VANT	1
6	Roda guia de furação (came)	1
7	Pino de furação (seguidor)	1
8	Servomotor	1
9	Lateral direita	1
10	Lateral esquerda	1
11	Lateral 1	1
12	Lateral 2	1
13	Lateral 3	1
14	Suporte traseiro	2
15	Suporte frontal	1
16	Engrenagem principal	1
17	Tampa	1