

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO PAULO DE SOUZA

AVALIAÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA
PULVERIZADORES CARRETA, AUTOPROPELIDO E DRONE

JANDAIA DO SUL

2022

JOÃO PAULO DE SOUZA

AVALIAÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA
PULVERIZADORES CARRETA, AUTOPROPELIDO E DRONE

Trabalho de conclusão de curso
apresentado com o objetivo de obtenção
parcial do título de Engenheiro Agrícola,
Graduação em Engenharia Agrícola,
Campus de Jandaia do Sul, Universidade
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo José da
Silva.

JANDAIA DO SUL

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA JANDAIA DO SUL

Souza, João Paulo de
Avaliação do custo operacional de tecnologias para
pulverizadores carreta, autopropelido e drone. / João Paulo de
Souza. – Jandaia do Sul, 2022.
1 recurso on-line : PDF.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná,
Campus Jandaia do Sul, Graduação em Engenharia Agrícola.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo José da Silva.

1. Drone de pulverização. 2. Autopropelido. 3. Custo operacional
de máquina. I. Silva, Marcelo José da. II. Universidade Federal do
Paraná. III. Título.

CDD: 631

Bibliotecário: César A. Galvão F. Conde - CRB-9/1747



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº **1/2022/UFPR/R/JA/CCEAG**
PROCESSO Nº **23075.060563/2022-01**
INTERESSADO: **JOÃO PAULO DE SOUZA, COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA PULVERIZADORES CARRETA, AUTOPROPELIDO E DRONE

AUTOR: JOÃO PAULO DE SOUZA (GRR20163835)

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE BACHAREL EM ENGENHARIA AGRÍCOLA, APROVADO PELA SEGUINTE BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo José da Silva (Orientador)

Prof. Dr. William Rodrigues dos Santos

Prof. Dr. Landir Saviniec



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO JOSE DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/09/2022, às 16:17, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **WILLIAM RODRIGUES DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/09/2022, às 16:17, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **LANDIR SAVINIEC, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/09/2022, às 16:20, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4919835** e o código CRC **C8518AFE**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida, por ter permitido que eu tivesse saúde, força, e determinação nos momentos difíceis de minha vida.

Agradeço a Universidade Federal do Paraná – Campus Jandaia do Sul pela oportunidade de realização deste Curso, também a todos professores e técnicos do campus que de certa forma impactou na minha formação.

Agradeço a meu pai João de Souza, que sempre foi um exemplo de honestidade. Agradeço minha mãe Sandra Aparecida Finotti de Souza e minha irmã Bruna de Souza que sempre me incentivaram nessa jornada, compreenderam a minha ausência em alguns momentos, por motivos de dedicação as atividades acadêmicas.

Agradeço os meus colegas de curso que conviveram comigo ao longo da graduação, que sempre me incentivaram, e me apoiaram no decorrer da graduação.

Agradeço meu orientador, o Professor Marcelo José da Silva, que orientou o trabalho com paciência e dedicação, e sempre disponível para compartilhar conhecimento em todas as horas que tive dúvidas para a projeção deste trabalho.

*“Obstáculos são aquelas coisas assustadoras que vemos quando desviamos o foco do
nosso objetivo.”*

Henry Ford.

RESUMO

A agricultura mecanizada proporcionou um aumento significativo da produção agrícola nas últimas décadas. Entretanto, a mecanização introduziu uma série de operações mecanizadas de alto custo operacional. Dentre elas a pulverização é uma das operações mecanizadas que mais impactam no custo de produção agrícola. A necessidade desta atividade na agricultura é para o controle do alvo biológico (pragas, fitopatógenos ou plantas daninhas) que se manifestam no desenvolvimento da cultura. A partir das principais tecnologias para a pulverização disponíveis no mercado são: pulverizador de arrasto, autopropelido e drone. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi fazer um estudo comparativo do custo benefício das operações desses três sistemas de pulverização levando em consideração os custos fixos e variáveis. Os custos fixos considerados foram a depreciação, alojamento, seguro e juros de rendimento do capital. Todos considerados a partir da compra do equipamento. Já os custos variáveis estimados foram compostos pela mão de obra, consumo energético e manutenção. Entre os resultados obtidos, a tecnologia que apresentou uma melhor capacidade operacional foi o autopropelido ($27,3 \text{ ha h}^{-1}$), sendo mais apto para aplicações em grandes áreas. Porém, essa tecnologia possui um maior custo de aquisição quando comparado com o pulverizador de arrasto ou drone. O drone apresentou o menor custo operacional ($41,25 \text{ R\$ ha}^{-1}$). Além disso, o drone pulverizador apresentou uma capacidade operacional análoga ao resultado apresentado pelo pulverizador de arrasto ($8,75$ e $9,45 \text{ ha h}^{-1}$, respectivamente). Sendo assim, o drone pulverizador pode pulverizar um espaço semelhantemente ao pulverizador de arrasto, sem perdas significativas no ritmo operacional.

Palavras-chave: Drone de pulverização. Autopropelido. Custo operacional de máquina.

ABSTRACT

Mechanized agriculture has provided a significant increase in agricultural production in recent decades. However, mechanization has introduced a series of mechanized operations with high operating costs. Among them, spraying is one of the mechanized operations that most impact the cost of agricultural production. The need for this activity in agriculture is to control the biological target (pests, phytopathogens or weeds) that manifest in the development of the crop. From the main technologies for spraying available on the market are: trailed sprayer, self-propelled and drone. Therefore, the objective of this work was to make a comparative study of the cost-benefit of the operations of these three spraying systems, taking into account the fixed and variable costs. The fixed costs considered were depreciation, accommodation, insurance and interest on capital income. All considered from the purchase of equipment. The estimated variable costs were composed of labor, energy consumption and maintenance. Among the results obtained, the technology that presented the best operational capacity was the self-propelled one (27.3 ha h^{-1}), being more suitable for applications in large areas. However, this technology has a higher acquisition cost when compared to the drag sprayer or drone. The drone had the lowest operating cost ($41.25 \text{ BRL ha}^{-1}$). In addition, the spray drone presented an operational capacity similar to the result presented by the trailing sprayer (8.75 and 9.45 ha h^{-1} , respectively). Therefore, the spray drone can spray a space similarly to the trailing sprayer, without significant losses in operational rhythm.

Keywords: Spray drone. self-propelled. Machine operating cost.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESTRUTURA BÁSICA A PULVERIZAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS. A. PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO. B. PULVERIZADOR DE ARRASTO. C. DRONE PULVERIZADOR.....	20
---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CUSTO AQUISITIVO DE TECNOLOGIAS PARA PULVERIZAÇÃO.....	28
TABELA 2 – CUSTO FIXOS E VARIÁVEIS PARA EQUIPAMENTOS DE PULVERIZAÇÃO	30
TABELA 3 – CUSTO OPERACIONAL POR HECTARE	32

LISTA DE SIGLAS

A – Alojamento
Cco – Capacidade de campo operacional
Cf – Custo fixos
Ch – Consumo horário da maquina
C – Custo com energia
Cmb – Custo médio de cada bateria
Cm – Custo manutenção
Cv – Custo variáveis
Co – Custo operacional
CHT – Custo horário total
Co – Custo operacional por hectares
Dm – Demanda operacional
De – Depreciação
Do – Demanda operacional
Es – Encargos sociais
Ef – Eficiência operacional
Fa – Fator alojamento
GPS – Sistema de posicionamento global
Ha – Hectares
I – Taxa de juros anual sobre o capital
J – Juros
L – Largura de trabalho
Mo – Custo mão de obra
Ncb – Número de ciclos de cada bateria
Nh – Horas trabalhadas pelo operador durante o ano
PIB – Produto interno bruto
R – Taxa de manutenção
S – Seguro agrícola
Sm – Salário mensal
Tvc – Tempo de voo do drone por ciclo de bateria

U – Número de horas trabalhadas

VANT's – Veículos aéreos não tripulados

Vi – Valor inicial de aquisição

Vr – Valor de venda

Vu – Vida útil

Vc – Valor combustível

V – Velocidade de trabalho

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	OBJETIVOS	15
2.1.	OBJETIVOS GERAL	15
2.2.	OBJETIVO ESPECÍFICOS	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1.	PULVERIZAÇÃO	15
3.2.	TECNOLOGIAS PARA PULVERIZAÇÃO	16
3.3.	CAPACIDADE OPERACIONAL NA MECANIZAÇÃO	18
3.4.	CUSTOS OPERACIONAIS DE MECANIZAÇÃO	18
4.	METODOLOGIA	19
4.1.	SISTEMAS PARA A PULVERIZAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS	19
4.2.	CUSTOS FIXOS	20
4.3.	CUSTOS VARIÁVEIS	23
4.4.	CUSTOS OPERACIONAIS DE MÁQUINAS.....	26
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6.	CONCLUSÃO	32
7.	REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o agronegócio é um dos principais setores da economia mundial, levando isso em consideração, as melhorias para esse setor só tendem a aumentar, principalmente no campo. A atribuição de tecnologia em máquinas agrícolas vem exigindo novos investimentos. Para obter um melhor rendimento operacional, os equipamentos necessitam de um maior grau de confiabilidade na tecnologia, economia de combustível, acessibilidade para aquisição, menor manutenção.

No período de desenvolvimento da planta no campo, a pulverização é uma das principais operações agrícolas nos processos da mecanização para obtenção de melhores resultados produtivos. A tecnologia de pulverização consiste na aplicação de produtos fitossanitários por um equipamento adequado, para que o controle do alvo biológico (praga, fitopatógeno ou planta daninha) seja feito com eficiência, economia e segurança, tornando assim, uma das principais operações realizadas em campo no decorrer de todo o desenvolvimento da lavoura.

Entre as operações como semeadura, pulverização e colheita realizadas por máquinas agrícolas em campo a pulverização acaba sendo a mais utilizada entre os processos da mecanização agrícola. Na seleção das máquinas agrícolas devem ser observados alguns pontos principais para sua aquisição, como o mercado de máquinas agrícolas, a demanda operacional (hectares por hora) que o equipamento será destinado para execução do serviço, a mão de obra qualificada, capacidade operacional (hectares por hora) e os custos operacionais (reais por hectare).

Um dos principais fatores que devem ser considerados na aquisição de maquinários agrícolas são os custos fixos e variáveis dos equipamentos. Os custos fixos são atributos como a depreciação, alojamento, seguro, juros de rendimento do capital; estes custos devem ser considerados a partir da compra do equipamento. Esses custos variáveis podem ser compostos pela mão de obra, consumo energético e manutenção que são atribuídos ao maquinário durante a jornada de trabalho.

Entre as principais tecnologias de pulverização no mercado as mais usuais podem ser consideradas como o autopropelido, e pulverizador de arrasto. O autopropelido garante uma melhor capacidade operacional em áreas com terrenos menos acidentados, em relação ao pulverizador de arrasto. Já o drone de pulverização é uma alternativa tecnológica para o controle

fitossanitário. Mesmo o equipamento disponibilizando uma quantidade menor de calda por hectares, o vórtex criado pelas hélices da aeronave cria condições perfeitas de pulverização, padronizando a aplicação em todas as camadas inferior, media e superior da cultura. Sendo assim, o drone pode pulverizar um espaço semelhantemente ao pulverizador de arrasto, sem perdas significativas no ritmo operacional.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAL

A partir das principais tecnologias para a pulverização disponíveis no mercado, o objetivo geral desse trabalho foi realizar uma avaliação do custo operacional de mecanização para a aplicação de defensivos utilizando pulverizador de arrasto, autopropelido e drone.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Levantar os custos fixos dos equipamentos de pulverização;
- Levantar os custos variáveis dos equipamentos de pulverização;
- Avaliar a capacidade operacional efetiva dos conjuntos;
- Avaliar o custo operacional dos três sistemas de pulverização.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PULVERIZAÇÃO

Os pulverizadores foram máquinas inventadas entre 1867 e 1900 com o propósito de aumento de produtividade das plantações, isso aconteceu devida a grande migração do homem para o campo, e acabou se tornando uma ferramenta fundamental durante o decorrer de todo o desenvolvimento da cultura. Aliás, a pulverização é fundamental para o controle de pragas, plantas daninhas, fungos, e insetos com uma alta precisão (CHAIM 1999) .

Segundo Mello (2019) dentro do agronegócio moderno a aquisição de máquinas agrícolas acaba se tornando uma tarefa importante para o agricultor onde se encontra uma grande diversidade de máquinas pulverizadoras, projetadas com o foco de atender múltiplas áreas de aplicação. Devido alto padrão de qualidade que o investimento pode retornar dentro da propriedade, a tecnologia embutida nessas máquinas pode proporcionar melhoria na produção final, viabilizando uma maior produtividade no campo.

O desenvolvimento econômico mundial está atrelado ao agronegócio, e atualmente está sendo um dos setores mais dinâmicos e inovador dentro da cadeia produtiva mundial, sendo o principal contribuinte para o Produto Interno Bruto “PIB” (CAVALHEIRO 2018). Segundo Mello (2019) dentro da mecanização agrícola o cenário aquisitivo de novos implementos em uma propriedade pode estar associado em até 40% de toda a produção final de grãos, o autor acredita que a tomada de decisão em comprar um novo implemento deve ser planejado, a fim de que o investimento tenha potencial em suprir todas as necessidades do campo.

Entre os trabalhos operacionais realizados no campo encontramos normalmente o uso de uma agricultura de precisão que introduz a tecnologia no campo, e oferece um melhor manejo e controle da variabilidade de áreas agrícolas ao agricultor. A operação de máquinas agrícolas dentro de uma área pode ocorrer desde o plantio até a colheita acoplando o uso de sistemas de GPS, produzindo deste modo mapas planialtimétricos da área que podem ser atribuídos em todo seu delineamento, e facilitando os processos de semeadura, pulverização e colheita (CAREGNATO 2021).

Para Oliveira (2020) um grande desafio na fase de pulverização de uma cultura está no desempenho operacional dos pulverizadores agrícolas, a partir do momento que o investimento em campo possui uma largura efetiva de trabalho mais eficiente, porém os custos aquisitivos deste equipamento acabam sendo elevados devido ao seu tamanho e suas tecnologias embarcadas. O autor ainda acredita que veículos aéreos não tripulados (VANTs) podem ser mais eficientes em pulverização de culturas agrícolas, e podem proporcionar um melhor custo-benefício em comparação com as outras tecnologias da categoria.

3.2. TECNOLOGIAS PARA PULVERIZAÇÃO

Entre as tecnologias presentes para pulverização, hoje a mais utilizada é terrestre. Atualmente encontramos no mercado uma grande diversidade de pulverizadores de arrasto e

autopropelidos. Os equipamentos possuem diferentes capacidades de aplicação (hectares por hora). A pulverização aérea utilizando aviões agrícolas se torna menos comum, porém é uma boa alternativa para áreas maiores. Já as pulverizações com veículos aéreos não tripulados, os drones, vem tomando um espaço neste setor, principalmente para o controle fitossanitário em áreas pequenas e médias tornando um grande concorrente das tecnologias de pulverização existentes.

Neste sentido, Becker (2021) afirma que o controle e automação pode ser empregada na pulverização como um conjunto de processos operacionais que podem ser executados e controlados por dispositivos eletrônicos, se tornando um processo útil para comandos como de repetição. Além disso, pode auxiliar em execuções de aplicações de agroquímicos em áreas mais localizadas, otimizando os custos de produção e de insumos.

Entre as tecnologias de pulverização terrestre, as mais utilizadas são os autopropelidos, e os pulverizadores de arrasto. Segundo Menezes (2007), os autopropelidos possuem largura efetiva de trabalho de 15 a 48 metros, e um volume de calda no tanque de 2500 a 4000 litros, podendo operar a velocidades de 15 a 30 km h⁻¹. Tal tecnologia de pulverização terrestre é altamente eficiente.

Os pulverizadores de arrasto necessitam de um trator para o tracionamento no campo, e acoplamento da tomada de potência para o acionamento hidráulico do equipamento. Segundo dado de catálogo da jacto¹ a largura efetiva de trabalho pode variar de 16 a 24 metros, o volume de calda fica na faixa de 2000 a 3000 litros, com velocidade de operação (9 a 15 km h⁻¹) sendo menor em comparação ao autopropelido.

Em busca de novas tecnologias para pulverização, a utilização de veículos aéreo não tripulados vem ganhando espaço, mais conhecido como drones ou VANTs, esses equipamentos agrícolas oferecem uma melhor qualidade devido a economia de água em suas aplicações, e, além disso, o sistema de deposição do agroquímico é considerado mais preciso devido a turbulência das hélices, que causa um vórtex. O fluxo de ar e produto tem maior capacidade de penetração na lavoura estabelecida. Ademais, a tecnologia proporciona uma gestão inteligente dos recursos. O monitor do equipamento possibilita o monitoramento e armazenamento de todas as métricas das operações durante as safras (SLONGO 2019). Segundo dados de catálogos da DJI os drones podem possuir reservatório de calda de 10 a 30 litros², sua largura efetiva de

¹ <https://jacto.com/brasil>

² <https://www.dji.com/br>

trabalho varia em torno de 4 a 9 metros, e podem ser operados a uma velocidade de 20 a 30 km h⁻¹.

3.3. CAPACIDADE OPERACIONAL NA MECANIZAÇÃO

Em campo, uma das metas a serem cumpridas é a otimização do tempo gasto na realização de serviços; a demanda operacional (Dm) tem o propósito de estimar o tempo necessário para a execução de operações agrícolas, seguindo o tamanho da área a ser trabalhada, pela janela de tempo de execução de serviço, se tornando uma metodologia importante para dimensionamento de maquinários destinados a atender as necessidades em campo (CORNAGO 2020).

A capacidade de campo efetiva considera a quantidade de serviço realizada pela máquina em um período de horas trabalhadas, sem considerações de paradas técnicas (PIO 2013). Entretanto para Vuaden (2019), a capacidade de campo operacional (Cco) é uma expressão matemática definida para mensurar a capacidade da máquina observada em condições reais de operação. Pode ser definida pela área real trabalhada em função do tempo real de execução do serviço, considerando os tempos perdidos em manobras, preparos da máquina, regulagens e abastecimento, tempos gastos com manutenções e entre outros imprevistos que acontecem em campo.

3.4. CUSTOS OPERACIONAIS DE MECANIZAÇÃO

Os custos de operação na mecanização agrícola podem ser considerados fixos e variáveis. Os custos fixos não se alteram com a utilização da máquina, já os custos variáveis são definidos pelo uso da máquina em toda sua vida útil. Deste modo a estimativa de custos totais na mecanização podem ser compostos pelos custos fixos e custos variáveis (PEREIRA 2015).

Neste sentido, Bassani (2021) afirma que os custos fixos são considerados a partir do momento de aquisição da máquina, são custos invisíveis, mas devem ser considerados em função do valor inicial do investimento, podem ser compostos da depreciação relacionada com a vida útil dos equipamentos por anos de trabalho, juros de rendimento do valor do

equipamento, fator de alojamento onde deve ser considerado uma edificação rural para guardar o equipamento reduzindo sua depreciação e seguro agrícola.

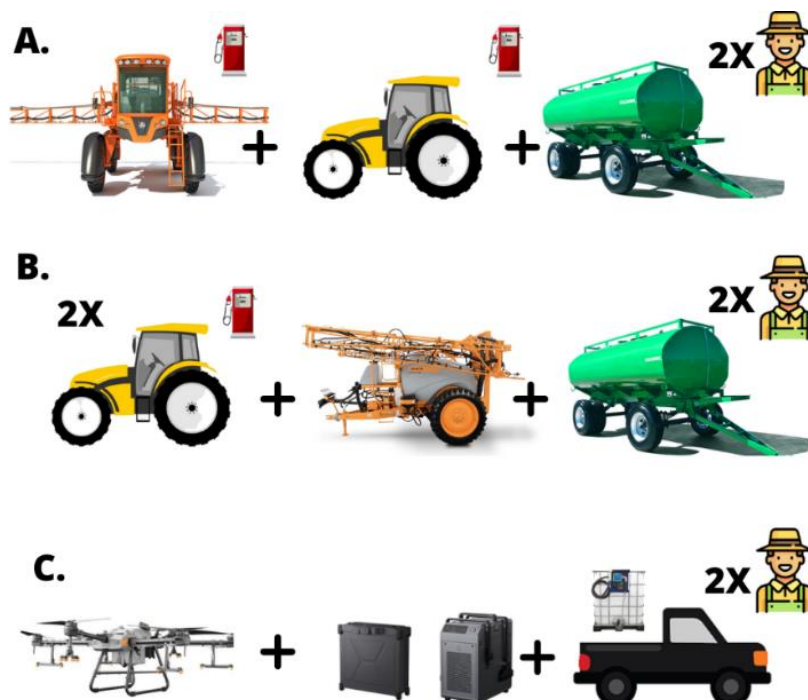
Já os custos variáveis são atribuídos com o tempo de uso do equipamento em decorrer de toda a sua vida útil. Os principais atributos relacionados com os custos variáveis são o consumo de combustível, as manutenções preventivas, e salário do operador, os encargos sociais, férias decimo terceiro e benefícios (PEREIRA 2015).

4. METODOLOGIA

4.1. SISTEMAS PARA A PULVERIZAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS

Os custos de pulverização mecanizada foram tomados a partir de três modelos para aplicação de produtos fitossanitários (FIGURA 1). Para operações com o pulverizador autopropelido normalmente são necessários um conjunto trator + tanque de calda (FIGURA 1A); além da mão de obra para os equipamentos. O valor médio estimado para o salário de um operador de autopropelido foi R\$ 7.000,00. Já o operador para o trator foi considerado um salário médio de R\$ 2.500,00. Já para operações com pulverizadores do tipo carreta normalmente é atribuído um trator para tração do equipamento, além de um conjunto trator + tanque de calda (FIGURA 1B). A mão de obra para operar o trator nessa situação pode ser considerada na estimativa de R\$ 2.500,00. Para realização das operações é necessário também o combustível diesel para os conjuntos (FIGURAS 1A e 1B). Em operações com drones foram atribuídos uma caminhonete utilitária, para transporte das baterias e carregador + um tanque gradeado para calda (FIGURA 1C). Nessa situação a remuneração do piloto de drone foi estimado em média de R\$ 7.000,00. Já o salário do auxiliar foi estimado em R\$ 2.500,00.

FIGURA 1: SISTEMAS PARA PULVERIZAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS. A) PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO. B) PULVERIZADOR DE ARRASTO. C) DRONE PULVERIZADOR.



FONTE: O AUTOR (2022)

4.2. CUSTOS FIXOS

Os custos iniciais para autopropelido foram obtidos para máquinas de 30 metros de largura de barra. O valor de referência (média) foi definido em função da cotação de três autopropelidos. Após a definição do orçamento do equipamento foi considerado um conjunto de máquinas agrícolas associadas em função da pulverização do equipamento.

Para os pulverizadores de arrasto foram orçados dois implementos de 18 e 24 metros de barra. Além disso, o valor de três tratores cabinados (110cv) foram cotados para arrasto do pulverizador. Após a definição de orçamento, um valor de referência (média) foi adotado em função dos pulverizadores e tratores.

Para estimativa dos custos aquisitivos para o drone foram considerados três preços de mercado. Como o consumo de calda do drone é relativamente menor, um tanque gradeado foi considerado para o abastecimento no campo. Além disso, foi considerado também um veículo para transporte de todos os componentes necessários da tecnologia, atribuindo uma caminhonete utilitária para locomoção. Os valores iniciais obtidos para os drones, caminhonetes

utilitárias e tanques gradeados foram utilizados como referência para a estimativa (uma média) do valor de aquisição dos equipamentos.

Entre os custos fixos de uma máquina agrícola é significativa a depreciação. A Depreciação (De, Equação 1) representa a diferença do valor da aquisição (Vi, Equação 1) dividido ao longo do tempo de uso do equipamento (Vu, Equação 1). Analisando dados tabelados para custo de mecanização a estimativas de valores de revenda (Vr, Equação 1), ficou em torno de 30% do seu valor inicial³. A vida útil média para equipamentos de pulverização é em torno de 10 anos (ASABE 2011). Sendo assim a depreciação pode ser definida por:

$$De = \frac{Vi - Vr}{Vu} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

De = Depreciação (R\$ h⁻¹)

Vi = Valor inicial de aquisição (R\$)

Vr = Valor de venda (R\$)

Vu = Vida útil (h⁻¹)

Toda aquisição de equipamentos agrícolas depende de um capital inicial. Nos custos fixos, o valor foi associado com uma taxa de juros (J, Equação 2). Essa variável depende de valor médio que considera a aquisição (Vi) e revenda (Vr). O resultado foi relacionado com o número de horas trabalhadas anuais (U, Equação 2). De acordo com dados bancários de 2022 a taxa de juros anual (I, Equação 2) da moeda nacional em valores aplicados acima de 300 mil reais em uma caderneta de poupança ouro está em torno de 6,75%⁴. O custo horário de juros pode ser definido por:

$$J = \left(\frac{0.5 * (Vi + Vr)}{U} \right) * I \quad \text{Equação 2}$$

onde:

J = Juros (R\$ h⁻¹)

Vi = Valor inicial de aquisição (R\$)

Vr = Valor de venda (R\$)

³ <https://fundacaoabc.org/>

⁴ <https://www.bb.com.br/>

U = Número de horas trabalhadas durante o ano (h)

I = Taxa de juros anual sobre o capital (%)

Todo equipamento adquirido depende de um alojamento dentro da propriedade (A, Equação 3). Considerando a construção de uma edificação rural podemos definir o custo da obra em função do valor inicial do equipamento (Vi), segundo a (ASABE 2011) o percentual atribuído no fator de alojamento (Fa, Equação 3) de uma máquina agrícola está estimado em 1% do valor inicial (Vi). Deste modo, o custo horário com alojamento definido por:

$$A = \frac{Vi * Fa}{U} \quad \text{Equação 3}$$

onde:

A = Alojamento (R\$ h⁻¹)

Vi = Valor inicial de aquisição (R\$)

Fa = fator de alojamento (%)

U = Número de horas trabalhadas durante o ano (h)

O seguro agrícola de maquinários é um forte aliado para proteger o investimento, reduzindo riscos de perda monetária para o agricultor, fornecendo segurança na utilização do equipamento. O seguro agrícola (S, Equação 4) pode ser estimado a partir do valor inicial do equipamento (Vi). O índice anual (P, Equação 4) foi de 1,2% de acordo com os valores praticados pelas seguradoras⁵. O custo horário de seguro agrícola foi determinado pela Equação 4.

$$S = \frac{Vi * P}{U} \quad \text{Equação 4}$$

em que:

S = Seguro agrícola (R\$ h⁻¹)

Vi = Valor inicial de aquisição (R\$)

P = Percentual do seguro agrícola (%)

U = Número de horas trabalhadas durante o ano (h)

⁵ <https://www.allianz.com.br/>

Os custos fixos (Cf, Equação 5) são compostos pelos fatores de depreciação (De), juros (J), alojamento (A) e seguro agrícola (S).

$$Cf = De + J + A + S \quad \text{Equação 5}$$

onde:

Cf = Custos fixos (R\$ h⁻¹)

De = Depreciação (R\$ h⁻¹)

J = Juros (R\$ h⁻¹)

A = Alojamento (R\$ h⁻¹)

S = Seguro agrícola (R\$ h⁻¹)

4.3. CUSTOS VARIÁVEIS

Além dos custos fixos, um levantamento dos custos variáveis (Cv) é necessário. Os custos variáveis são estimados em função da frequência de uso da máquina. Dentro dos principais custos variáveis temos o custo com energia (C, Equação 6). Seguindo dados tabelados para consumo médio de autopropelidos⁶, o consumo da máquina está em torno de 26 L h⁻¹. Já para tratores de potência aproximada de 110 cv⁷ o consumo pode ser em torno de 11 L h⁻¹. No custo com combustível (Ch, Equação 6), o valor do litro de óleo diesel (Vc, Equação 6) foi definido em 6,28 R\$ L⁻¹. A referência de preço foi tomada na data 01/09/2022 pela tabela de preços de combustível da cooperativa COCARI unidade Bom Sucesso - PR. Desse modo, o custo horário com combustível (C) foi calculado por:

$$C = Vc * Ch \quad \text{Equação 6}$$

onde:

C = Custo com energia (R\$ h⁻¹)

Vc = Valor combustível (R\$ L⁻¹)

Ch = Consumo horário da máquina (L h⁻¹)

⁶ <https://fundacaoabc.org/>

⁷ <https://www.cocari.com.br/>

Para o cálculo de custo energético para o drone (C, Equação 7) foi considerado o tempo de voo de cada ciclo da bateria (Tvc, Equação 7), os custos iniciais na aquisição da bateria (Cmb, Equação 7) e também o número de ciclos recarregáveis de cada bateria (Ncb, Equação 7) obtido através de catálogo DJI,⁸. Desse modo o custo com energia (C) foi calculado por:

$$C = \frac{60 * Cmb}{Tvc * Ncb} \quad \text{Equação 7}$$

onde:

C = Custo com energia (R\$ h⁻¹)

Tvc = Tempo de voo do drone por ciclo de bateria (min)

Cmb = Custo médio de cada bateria (R\$)

Ncb = Número de ciclos de cada bateria

O custo com manutenção (Cm, Equação 8) de uma máquina agrícola pode ser estimado pelo valor inicial do equipamento (Vi) multiplicado pela taxa de manutenção (R, Equação 8) que segundo a (ASABE 2011) é em torno de 85% do valor do equipamento durante toda sua vida útil. O resultado é relacionado a quantidade de horas trabalhadas (U) ao longo da vida útil (Vu). Deste modo, o custo horário com manutenção (Cm) foi calculado por:

$$Cm = \frac{Vi * R}{Vu * U} \quad \text{Equação 8}$$

onde:

Cm = Custo manutenção (R\$ h⁻¹)

Vi = Valor inicial de aquisição (R\$)

R = Taxa manutenção (%)

Vu = Vida útil (anos)

U = Número de horas trabalhadas durante o ano (h)

O custo horário com mão de obra (Mo, Equação 9) é calculado a partir dos salários recebidos (Sm), mais o décimo terceiro salário. Além disso, os encargos sociais também foram

⁸ <https://www.dji.com/br>

considerados (Es equação 9). Os atributos comuns para operador de maquinas agrícolas e considerado um valor percentual de aproximadamente 68%⁹. Ambos, custos foram divididos pelo número de horas trabalhadas pelo operador durante o decorrer do ano (Nh, Equação 9). Desse modo, o custo horário com Mão de obra (Mo) foi calculado por:

$$Mo = \frac{13(Sm * Es)Sm}{Nh} \quad \text{Equação 9}$$

onde:

Mo = Custo mão de obra (R\$ h⁻¹)

Sm = Salário mensal (R\$)

Es = Encargos sociais (%)

Nh = Horas trabalhadas pelo operador durante o ano (h)

Os custos variáveis totais (Cv Equação 10) são calculados a partir da soma dos custos com energia (C), manutenção (Cm) e mão de obra (Mo). Desse modo, o custo variável total (Cv) foi definido por:

$$Cv = C + Cm + Mo \quad \text{Equação 10}$$

onde:

Ct = Custo variáveis totais (R\$ h⁻¹)

C = Custo com energia (R\$ h⁻¹)

Cm = Custo manutenção (R\$ h⁻¹)

Mo = Custo mão de obra (R\$ h⁻¹)

O custo horário total do equipamento (CHT, Equação 11) contabiliza todos os custos fixos (Cf) e os custos variáveis (Cv), podendo ser definido por:

$$CHT = Cf + Cv \quad \text{Equação 11}$$

onde:

CHT = Custo horário total (R\$ h⁻¹)

⁹ <https://www.gov.br/inss/pt-br>

C_f = Custos fixos (R\$ h⁻¹)

C_v = Custo variáveis (R\$ h⁻¹)

4.4. CUSTOS OPERACIONAIS DE MÁQUINAS

O levantamento de custo operacional (R\$ ha⁻¹) de uma máquina agrícola também depende da capacidade de campo, que representa o rendimento do trabalho da máquina em função do tempo (hectares por hora). A capacidade de campo operacional (C_{co} , Equação 12) pode ser definida através da largura de trabalho (L , Equação 12), velocidade de execução do trabalho (V , Equação 12) e a eficiência operacional (E_f , Equação 12). A eficiência operacional considera os intervalos de paradas para abastecimento, manutenção, almoço do operador. Aqui, a eficiência foi estimada em 70% (ASABE 2011). Deste modo, a capacidade de campo operacional (C_{co}) foi definida como:

$$C_{co} = \frac{L * V * E_f}{10} \quad \text{Equação 12}$$

onde:

C_{co} = Capacidade de campo operacional (ha h⁻¹)

L = Largura de trabalho (m)

V = Velocidade de trabalho (km h⁻¹)

E_f = Eficiência operacional (%)

Para levantamento dos custos operacionais (C_o , Equação 13), o custo horário total de máquina (CHT) é relacionado com a capacidade de campo operacional (C_{co}). Deste modo, o custo operacional (C_o) foi calculado por:

$$C_o = \frac{CHT}{C_{co}} \quad \text{Equação 13}$$

em que:

C_o = Custo operacional (R\$ ha⁻¹)

CHT = Custo horário total (R\$ h⁻¹)

C_{co} = Capacidade de campo operacional (ha h⁻¹)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores para os conjuntos foram cotados através de concessionárias de máquinas agrícolas. O conjunto do drone apresentou um menor custo de aquisição. Entre as tecnologias apresentadas, segundo Cunha (2021), o uso de veículos não tripulados para aplicação de produtos fitossanitários tem crescido, entretanto dentro da metodologia de pulverização dos VANTs alguns fatores como a velocidade do vento interferem na qualidade da pulverização. Porém, o equipamento possui vantagens em relação ao pulverizador de arrasto ou autopropelido. Apesar do tamanho inferior do drone em comparação com as outras duas tecnologias analisadas, o drone possui vantagens em aplicações em áreas relativamente pequenas, de terrenos com topografia irregular. Além disso, a pulverização aérea não produz as perdas por amassamento na cultura causadas pelas rodas dos pulverizadores comuns.

Os valores de aquisição inicial dos conjuntos de pulverização são apresentados na TABELA 1. O autopropelido (R\$ 2.112.000,00) alcança quase o dobro do valor de aquisição inicial do conjunto de pulverizador de arrasto (R\$ 1.207.000,00). Esse resultado demonstra a razão da preferência dos pequenos e médios agricultores pelo uso do pulverizador de barra do tipo carreta; porém as tecnologias de pulverização terrestre possuem valor de aquisição inicial muito mais elevado que o conjunto do drone pulverizador (R\$ 290.020,00). Neste caso o valor inicial de aquisição do conjunto de pulverização de veículos não tripulados em relação ao autopropelido ficou em torno de sete vezes menor (TABELA 1).

TABELA 1. CUSTO AQUISITIVO DE TECNOLOGIAS PARA PULVERIZAÇÃO

Autopropelido	Valor inicial (Vi, R\$)	Trator	Valor inicial (Vi, R\$)	Tanque	Valor inicial (Vi, R\$)
MF 9330	R\$1.600.000,00	MF 4410	R\$390.000,00	Facchini 12500lt	R\$ 80.000,00
M 4025	R\$1.725.000,00	TL 5.100	R\$360.000,00	Facchini 15000lt	R\$ 89.000,00
Uniport 2530	R\$1.520.000,00	6100j	R\$ 495.000,00	Incomagri 12000lt	R\$ 77.000,00
Valor médio adotado (R\$)	R\$1.615.000,00	-	R\$ 415.000,00	-	R\$82.000,00
Autopropelido + Trator + Tanque			R\$ 2.112.000,00		
Pulverizador de arrasto	Valor inicial (Vi, R\$)	Trator	Valor inicial (Vi, R\$)	Tanque	Valor inicial (Vi R\$)
Advance 3000 AM24	R\$395.000,00	MF 4410	R\$390.000,00	Facchini 12500lt	R\$ 80.000,00
Columbia Cross 2000	R\$195.000,00	TL 5.100	R\$360.000,00	Facchini 15000lt	R\$ 89.000,00
-	-	6100j	R\$ 495.000,00	Incomagri 12000lt	R\$ 77.000,00
Valor médio adotado (R\$)	R\$295.000,00	-	2x (R\$ 415.000,00)	-	R\$82.000,00
2 Tratores + Pulverizador +Tanque			R\$ 1.207.000,00		
Drone	Valor inicial (Vi, R\$)	Caminhonete utilitária	Valor inicial (Vi, R\$)	Tanque	Valor inicial (Vi, R\$)
T30	R\$197.910,00	Strada	R\$100.470,00	Tipo Gradeado 1000lt	R\$3.129,00
T30	R\$175.000,00	Saveiro	R\$88.470,00	Tipo Gradeado 1000lt	R\$1.600,00
T30	R\$206.500,00	-	-	Tipo Gradeado 1000lt	R\$2.380,92
Valor médio adotado (R\$)	R\$193.150,00	-	R\$94.500,00	-	R\$2.370,00
Drone + caminhonete +Tanque			R\$ 290.020,00		

FONTE: AUTOR (2022).

Os custos operacionais por hora ($\text{R\$ h}^{-1}$) para os conjuntos analisados resultaram sobre a tecnologia de pulverização mais os implementos auxiliares que são atribuídos para a execução do serviço em campo. Para o conjunto autopropelido, o custo ficou em $1.270,14 \text{ R\$ h}^{-1}$; já para o conjunto pulverizador de arrasto foi de $724,56 \text{ R\$ h}^{-1}$. No caso do conjunto de drone pulverizador, o custo foi de $361,01 \text{ R\$ h}^{-1}$, sendo apresentados na TABELA 3.

Entre os custos analisados na pesquisa podemos verificar que o conjunto de equipamentos para o drone apresentou um custo fixo menor em comparação com as outras tecnologias analisadas no trabalho (TABELA 2). Os custos fixos compostos pela depreciação, fator de alojamento, seguro agrícola e juros de rendimento anual, são condições que dependem do preço inicial de aquisição do equipamento. O conjunto do drone obteve um resultado de custos fixos de apenas 15% em relação ao conjunto do autopropelido, e comparando com o conjunto do pulverizador de carreta, o valor ficou em torno de 26 %.

Outra análise fundamental são os custos variáveis onde são considerados os custos com combustível, manutenção e mão de obra. Esses custos são decorrentes do uso do equipamento ao longo da sua vida útil. A tecnologia aérea de veículos não tripulados nesse quesito apresentou melhores resultados em comparação aos demais conjuntos. O custo variável do drone foi em torno de $223 \text{ R\$ h}^{-1}$, o valor equivale a 41% do custo com o conjunto do autopropelido.

TABELA 2. CUSTO FIXOS E VARIÁVEIS PARA EQUIPAMENTOS DE PULVERIZAÇÃO

-	Vi	Vu	De	J	A	S	Cf	C	Cm	Mo	Cv	Ct
	(R\$)	(h ⁻¹)	(R\$ h ⁻¹)	(R\$ h ⁻¹)	(R\$ h ⁻¹)	(R\$ h ⁻¹)	(R\$ h ⁻¹)	(R\$ h ⁻¹)	(R\$ h ⁻¹)	(R\$ h ⁻¹)	(R\$ h ⁻¹)	(R\$ h ⁻¹)
Autopropelido	1.615.000,00	5000	226,10	141,72	32,30	38,76	438,88	167,31	274,55	74,17	516,03	954,91
Pulverizador de arrasto	295.000,00	5000	41,30	25,89	5,90	7,08	80,17	-	50,15	-	50,15	130,32
Trator	415.000,00	5000	58,10	36,42	8,30	9,96	112,78	69,19	70,55	26,49	166,23	279,01
Tanque	82.000,00	5000	11,48	7,20	1,64	1,97	22,28	-	13,94	-	13,94	36,22
Tanque Gradeado	2.370,00	5000	0,33	0,21	0,04	-	0,58	-	0,40	-	0,40	0,98
Drone	193.150,00	5000	27,04	16,95	3,86	4,64	52,49	90,00	32,84	100,66	223,50	275,99
Camionete utilitária	94.500,00	5000	10,96	9,06	1,89	9,45	31,36	42,42	10,68	-	52,68	84,04

FONTE: AUTOR (2022).

NOTA: *Para valor de sucata de caminhonete foi adotado uma porcentagem em relação a tabela Fipe do veículo. ** Para vida útil da caminhonete foi adotado um período de uso de 10 anos. ***Para caminhonete de transporte do drone e seus componentes, a determinação dos custos totais foram considerados, uma quilometragem média anual, de 50000 km, e manutenções preventivas e periódicas e trocas de pneus anuais.

O custo operacional por hectares (TABELA 3) de um conjunto mecanizado é importante no momento da aquisição dos conjuntos de pulverização, aqui, o custo operacional contribuiu na análise da viabilidade das três diferentes tecnologias para controle fitossanitário.

A capacidade de campo operacional (C_{co}) para o autopropelido 27,3 ha h⁻¹ foi praticamente três vezes maior que a capacidade operacional do pulverizador de arrasto 9,45 ha h⁻¹ ou drone 8,75 ha h⁻¹. Sendo assim, o ritmo operacional diário para autopropelido é maior (136,5 ha em 5 horas de operação). Analisando o custo operacional (C_o), o drone apresentou um custo de 361,01 R\$ ha⁻¹, sendo 51 % do valor do custo do conjunto com pulverizador de arrasto. O custo operacional para o conjunto do drone também ficou significativamente abaixo da estimativa do conjunto autopropelido (90% menor).

O drone pulverizador e o pulverizador de barra do tipo carreta apresentaram um ritmo operacional semelhante. O drone pulverizador possui um custo operacional duas vezes menor em relação ao custo operacional do pulverizador de carreta. Além disso, segundo Villas (2021), o drone apresenta uma melhor qualidade de pulverização em comparação a operações tratorizada, mesmo o equipamento disponibilizando uma quantidade menor de calda por hectares, o vórtex criado pelas hélices da aeronave cria condições perfeitas de pulverização, padronizando a aplicação em todas as camadas inferior, média e superior da cultura, e ainda a aplicação aérea não compacta o solo.

De acordo com Arthur (2021), as velocidades de operação em áreas agrícolas estão vinculadas a topografia do solo que o equipamento realiza trabalho. Em solos de condições de relevo mais acidentado as velocidades atribuídas para realização do serviço geralmente são menores em relação as especificações de operação descritas em catálogo. Em geral, o autopropelido, consegue atingir melhores níveis de rendimento operacional em áreas maiores, operando em terrenos menos acidentadas. Em propriedades médias e pequenas, o pulverizador de arrasto e drone pulverizador podem ser destinados para suprir as demandas de pulverização.

TABELA 3. CUSTO OPERACIONAL POR HECTARE

	L(m)	V (km h ⁻¹)	Ef (%)	Cco (ha h ⁻¹)	CHT (R\$ h ⁻¹)	Co (R\$ ha ⁻¹)
Autopropelido + Trator +Tanque	30	13	70	27,3	1.270,14	46,99
2 Tratores + Pulverizador +Tanque	18	7,5	70	9,45	724,56	76,67
Drone + Caminhonete + Tanque	5	25	70	8,75	361,01	41,25

FONTE: AUTOR (2022).

6. CONCLUSÃO

Em análise das três alternativas tecnológicas para a aplicação dos defensivos, o autopropelido apresentou a maior capacidade de campo operacional (27,3 ha h⁻¹). Contudo, o custo de aquisição inicial do conjunto foi mais elevado. O conjunto do drone apresentou o menor custo operacional (41,25 R\$ ha⁻¹ o drone, versus 46,99 o autopropelido e 41,25 R\$ ha⁻¹ o drone versus 76,67 R\$ ha⁻¹ o pulverizador de arrasto). Além disso, o drone pulverizador apresentou uma capacidade de campo análoga ao resultado apresentado pelo pulverizador de arrasto (8,75 e 9,45 ha h⁻¹, respectivamente). Sendo assim, o drone pulverizador pode ocupar um espaço semelhantemente equivalente ao pulverizador de arrasto, sem perdas significativas no ritmo operacional. Ademais, o drone pulverizador apresentou um custo de aquisição inicial inferior, quando comparado com o conjunto para o pulverizador de arrasto (R\$ 290.020,00 versus R\$ 1.207.000,00) ou autopropelido (R\$ 290.020,00 versus R\$ 2.112.000,00).

7. REFERÊNCIAS

ARTHUR, O.; MARTINS, A.; AFONSO, B.; MURATA, T. **MATOLOGIA Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas.**

BASSANI ORIENTADOR, R.; MARCIO ALVES DE SOUZA, C. **ANÁLISE ECONÔMICA DA OPERAÇÃO DE PREPARO DE SOLO PARA A CULTURA DO ARROZ USANDO DOIS CONJUNTOS TRATOR-GRADE.**

DA CUNHA, J. P. A. R.; DE ALVARENGA, C. B.; RINALDI, P. C. N.; MARQUES, M. G.; ZAMPIROLI, R. Use Of Remotely Piloted Aircrafts For The Application Of Plant Protection Products. **Engenharia Agrícola**, 2021. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola.

HENRIQUE CAREGNATO, L.; FELIPE DA SILVA ALVES, L.; DA SILVA SAMPAIO, V. **REVISTA SCIENTIA ALPHA Revista Científica Multidisciplinar da Faculdade Alfa Umuarama AGRICULTURA DE PRECISÃO: UM ESTUDO SOBRE FERRAMENTAS E TÉCNICAS INOVADORAS NO AGRONEGÓCIO.**

JAGUARIÚNA, A. C. **HISTÓRIA DA PULVERIZAÇÃO.**

JOSÉ, N.; JUNIOR, V. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL FACULDADE DE AGRONOMIA CURSO DE AGRONOMIA AGR99006-DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.**

MELLO, M. F.; SCHLOSSER, J. F.; CERVO, H. Z. a Tomada De Decisão Baseada Em Atributos Que Influenciam a Compra De Máquinas Agrícolas. **Saber Humano: Revista Científica da Faculdade Antonio Meneghetti**, v. 9, n. 15, p. 149–168, 2019.

MENEZES, D.; DA, D.; MARTINS, S. **AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE PULVERIZAÇÃO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS 1.**

OLIVEIRA, A. J. DE; SILVA, G. F. DA; SILVA, G. R. DA; et al. POTENCIALIDADES DA UTILIZAÇÃO DE DRONES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO / DRONES POTENTIALITY USE IN PRECISION AGRICULTURE. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64140–64149, 2020. Brazilian Journal of Development.

PEREIRA DA SILVA CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI ENG AGRON MURILO APARECIDO VOLTARELLI ENG AGRON TIAGO DE OLIVEIRA TAVARES, R. **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS CAMPUS DE JABOTICABAL.

PIO, L. ESTUDO DE SIMULAÇÃO DE CAPACIDADE OPERACIONAL DE EQUIPAMENTOS DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS FITOSSANITÁRIOS. 2013.

S T A N D A R D ASAE D497.7 MAR2011 Agricultural Machinery Management Data.

SLONGO, A. G.; DENIEL, ; MORAES, D.; et al. ANÁLISE DAS QUALIDADES DE VOO DE UMA AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA PARA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA.