

5
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE AGRONOMIA

BEATRIZ HIYORI HAMADA

APLICAÇÃO AÉREA RESULTA EM GANHO PRODUTIVO EM RELAÇÃO A
APLICAÇÃO TERRESTRE NA SOJA

Santa Helena
2023

5
BEATRIZ HIYORI HAMADA

**APLICAÇÃO AÉREA RESULTA EM GANHO PRODUTIVO EM RELAÇÃO A
APLICAÇÃO TERRESTRE NA SOJA**

**Aerial application results in production gains in relation to land application in
soybean**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná *Campus* Santa Helena.

Orientadora: Profa. Dra. Franciele Morlin Carneiro

Coorientador: Me. Marcio Luiz Sganzerla

Santa Helena

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**APLICAÇÃO AÉREA RESULTA EM GANHO PRODUTIVO EM RELAÇÃO A
APLICAÇÃO TERRESTRE NA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná *Campus* Santa Helena.

Aprovada em: Santa Helena, 01 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Franciele Morlin Carneiro – Orientadora
UTFPR *campus* Santa Helena

Profa. Dra. Cintia Maria Teixeira Fialho
UTFPR *campus* Santa Helena

Prof. Dr. Daniel Debona
UTFPR *campus* Santa Helena

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus pela vida, por toda graça e proteção.

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, Niyton e Lilian, meus irmãos Iza e Enzo e ao meu avô Hiromitsu Hamada, por todo apoio, incentivo e cuidado ao longo desses anos longe de casa, sempre torceram por mim para a realização de mais um sonho, a graduação. Sem eles não teria chegado até aqui e não seria quem sou hoje.

Um agradecimento em especial a minha avó Hideko Karaki (*in memoriam*) que enquanto estava junto a nós, me ajudou, vibrou ao saber da faculdade e sempre que estávamos juntas relatava de ideias e experiências que já havia passado com a produção de hortaliças, verduras e frutas, onde trabalhou durante toda a sua vida. Ao meu avô Kyuzo Karaki e aos meus tios Akira, Katina e Jun que são produtores rurais, sempre me passaram as experiências vividas no campo e sempre me incentivavam a buscar mais conhecimento.

Agradecimento especial à minha orientadora, Profa. Dra. Franciele Morlin Carneiro, por toda orientação, ensinamentos, cuidados e dedicação, comigo e com todos os seus “filhos” do grupo de pesquisa.

Aos meus colegas dos grupos de pesquisa, Grupo de máquinas, agricultura digital e sensoriamento remoto (GMADSER) e Grupo de pesquisa em proteção de culturas agrícolas (PROTECROP), Renato, Sérgio, a empresa Foco No Alvo, ao meu coorientador Me. Márcio Sganzerla e Karolayne Belini, que conduziram o experimento junto a mim. A todos, meu muito obrigada por toda ajuda e apoio durante todo o processo do experimento, pela parceria, experiências e conhecimentos adquiridos durante as atividades e avaliações realizadas no campo e no laboratório, com o auxílio de todos obtive bons resultados em meu experimento.

Agradeço aos membros da banca, Profa. Dra. Cintia Maria Teixeira Fialho e Prof. Dr. Daniel Debona que aceitaram o convite para participar da banca de avaliação e dedicaram seu tempo para ler e apontar sugestões de correções para melhorias em meu trabalho.

Agradeço também aos meus amigos e ao meu namorado que juntos sonhamos com o tão sonhado diploma e vivenciamos momentos incríveis e de sinceras risadas pelos corredores e fora da faculdade. A parceria de um ombro amigo para desabafar e uma companhia para se divertir. Sem eles toda a trajetória teria sido sem graça. Dedico esse agradecimento principalmente para, Aline Bidin, Ana Gabriela Tessaro, Angela Pivotto, Beatriz Teixeira, Daniel Soethe, Darlan Sartori, Julian Barboza, Kellen Cassimiro, Maria Eduarda Vilas Boas, Márcia Cristina e Milton Gonçalves que sempre estiveram presente me apoiando e me ajudando, e para aqueles que não citei mas também fizeram parte de alguma forma na minha trajetória, minha eterna gratidão.

RESUMO

A produção de grãos desempenha um papel significativo na economia e no desenvolvimento do setor agropecuário no Brasil, destacando-se, em particular, os grãos de soja. Com o objetivo de alcançar maior produtividade e redução nos custos de produção, observa-se que o setor agrícola tem adotado novas alternativas tecnológicas, incluindo o uso de aeronaves pilotadas remotamente (RPA – Remotely Piloted Aircraft ou Aeronave Remotamente Pilotadas), também conhecidas como drones. Estas aeronaves desempenham um papel crucial na aplicação de agrotóxicos e na coleta de imagens nas lavouras. A utilização dessas aeronaves para a pulverização visa o controle eficaz e sustentável de patógenos, plantas daninhas e insetos pragas nas culturas. A precisão na aplicação em pontos específicos resulta no uso racional de agrotóxicos. Neste estudo, o objetivo foi comparar a aplicação terrestre (pulverização com barra tratorizada) e aérea (RPA) para determinar qual dessas operações proporcionou ganhos produtivos na cultura da soja. Isso foi realizado por meio do monitoramento das operações utilizando o Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) e sensoriamento remoto proximal. O experimento foi conduzido nas áreas experimentais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* Santa Helena, Estado do Paraná. O delineamento experimental foi fundamentado nas premissas básicas do CEQ, compreendendo 48 pontos amostrais para a avaliação da produtividade e 16 pontos amostrais para os demais indicadores em cada aplicação, totalizando 96 pontos para produtividade e 32 pontos para os demais indicadores. Essas avaliações realizadas para medição dos indicadores de qualidade foram realizadas em quatro datas e para avaliar a produtividade apenas ao fim do ciclo com a colheita do experimento. Os indicadores de qualidade incluíram características biofísicas da cultura (altura da planta, comprimento do dossel e produtividade) e índices de vegetação (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index e NDRE - Normalized Difference Red Edge Index). As análises estatísticas realizadas abrangeram análises descritivas e ferramentas do CEQ, incluindo cartas de controle de valores individuais e diagrama de causa e efeito. Concluiu-se que por meio dos RPAs, proporcionou-se uma

aplicação mais uniforme, observou-se um aumento significativo da produtividade com a aplicação aérea em comparação com a aplicação terrestre.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Aeronaves. Controle Estatístico de Qualidade. Controle fitossanitário. *Glycine max* (L) Merril. Tecnologia de aplicação.

ABSTRACT

Grain production plays a significant role in the economy and development of the country's agricultural sector, with a particular emphasis on soybeans. In order to achieve greater productivity and reduce production costs, the agricultural sector has embraced new technological alternatives, including Remotely Piloted Aircraft (RPA) – also known as drones. These aircraft play a crucial role in applying pesticides and collecting images of crops. Using these aircraft for spraying aims to effectively and sustainably control pathogens, weeds, and insect pests in crops effectively and sustainably. Precision in application at specific points results in the rational use of pesticides. In this study, the aim was to compare terrestrial (tractor boom spraying) and aerial (RPA) applications to ascertain which of these operations yielded productive gains in soybean crop. This was achieved by monitoring operations using Statistical Quality Control (CEQ) and proximal remote sensing. The experiment was conducted in the experimental areas of the Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Santa Helena *Campus*, Paraná State. The experimental design was based on the basic premises of CEQ, comprising 48 sample points for evaluating productivity and 16 sample points for the other indicators in each application, totaling 96 points for productivity and 32 points for the other indicators. Quality indicators included biophysical characteristics of the crop (plant height, canopy length, and productivity) and vegetation indices (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index and NDRE - Normalized Difference Red Edge Index). The statistical analyses included descriptive analyses and CEQ tools, such as individual value control charts, and cause and effect diagrams. It was concluded that RPAs provided more punctual and precise application of products, ensuring excellent crop protection. Thus, a significant increase in productivity was observed with aerial application compared to terrestrial application.

Keywords: Precision Agriculture. Aircraft. Statistical Control of Quality. Phytosanitary Control. *Glycine max* L. Application Technology.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANOVA	Análise de variância
AP	Agricultura de precisão
ARP	Aeronave remotamente pilotada
CEQ	Controle Estatístico de Qualidade
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EVI	Enhanced Vegetation Index
GCS	Ground Control Station
GMADSER	Grupo de máquinas, agricultura digital e sensoriamento remoto
GPS	Global Positioning System
NDRE	Normalized Difference Red Edge Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PIB	Produto Interno Bruto
PROTECROP	Grupo de pesquisa em proteção de culturas agrícolas
RJ	Ryan-Joiner
RPA	Remotely Piloted Aircraft/ Aeronave Remotamente Pilotadas
SR	Sensoriamento remoto
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VANT	Veículos aéreos não tripulados
VARI	Visible Atmospherically Resistant Index

SUMÁRIO⁵

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	4
2.1	OBJETIVO GERAL.....	4
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3	HIPÓTESE E JUSTIFICATIVA.....	5
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
4.1	CULTURA DA SOJA.....	6
4.2	AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	7
4.2.1	Aeronave Pilotada Remotamente.....	8
4.1.1	Sensoriamento remoto.....	9
4.1.2	Sistema de sensores.....	10
4.1.3	Nível de coleta.....	11
4.2	TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO.....	12
4.2.1	Equipamentos para aplicação de agrotóxicos.....	14
4.3	CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE.....	17
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
5.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	18
5.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	18
5.3	MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS AGRÍCOLAS.....	20
4.4	INDICADORES DE QUALIDADE.....	23
5.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	25

6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
6.1.	ANÁLISE DESCRITIVA.....	26
6.2	CARTAS DE CONTROLE DE VALORES INDIVIDUAIS.....	30
6.3	DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO.....	36
6.4	COMPARAÇÃO ENTRE AS APICAÇÕES TERRESTRE E AÉREA.....	39
7	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira desempenha um papel significativo na economia do setor primário do país, com uma participação crucial no Produto Interno Bruto (PIB), representando 24,8% do PIB brasileiro em 2022 (CNA, 2023). Entre as principais culturas cultivadas no Brasil, destacam-se atividades relacionadas principalmente à soja, que é responsável por 49,3% da produção de grãos do país (Embrapa, 2023).

No que diz respeito à produção desses grãos, diversos desafios se fazem presentes, entre eles, o controle de doenças e pragas durante seu ciclo produtivo. O Brasil, devido às suas condições climáticas diversas, está sujeito ao surgimento de doenças e ataques de pragas nas culturas. Entre as doenças, aquelas causadas por fungos têm se destacado como um dos principais problemas fitossanitários na cultura da soja, resultando em danos e prejuízos significativos. Isso se deve à redução na qualidade e quantidade de grãos, podendo até mesmo resultar na perda total da produtividade das culturas (Silva et al., 2015).

Frente a esse desafio, torna-se imprescindível a implementação de atividades aprimoradas para o manejo da cultura, visando evitar ou minimizar os danos à produção. Dentre essas atividades, destaca-se a aplicação de agrotóxicos. A utilização de agrotóxicos é considerada uma das principais estratégias, devido à sua eficácia no controle de doenças, pragas e plantas daninhas (Oliveira, 2016a).

Para o sucesso no controle da soja, é necessário atentar para as formas de aplicação, as quais podem ser realizadas com o auxílio de um pulverizador, seja aéreo ou terrestre. Os pulverizadores possuem sistemas de gotas que depositam os agrotóxicos nas plantas, garantindo a distribuição eficaz para atingir o alvo desejado. Para assegurar maior qualidade na aplicação, é crucial considerar diversos fatores, como a escolha de fungicidas, inseticidas e herbicidas eficientes, o momento adequado de aplicação, a deposição de gotas, o volume de calda, a taxa de cobertura e a eficiência da aplicação relacionada à penetração do agrotóxico na planta, cobertura do dossel e controle de deriva (Gandolfo, 2018).

Visando maior produtividade de grãos e a redução de custos, a agricultura brasileira tem adotado novos métodos, incorporando as tecnologias que fazem parte da Agricultura de Precisão (AP), reconhecida como o conjunto de tecnologias responsável

pela aprimorada gestão de lavouras. Adicionalmente, o uso de tecnologias como as RPA (Remotely Piloted Aircraft ou Aeronave Remotamente Pilotadas) pode contribuir para a utilização mais eficiente dos insumos agrícolas, permitindo tratamentos na área cultivada com manejos adequados. Isso busca evitar desperdícios de produtos, reduzir o impacto ambiental e garantir uma maior segurança aos produtores (Pacheco, 2021).

Portanto, a AP vem oferecendo alternativas para a realização desse controle de maneira mais eficiente, sustentável e consciente. Dentre essas alternativas, destaca-se a pulverização, que segue recomendações para o tratamento fitossanitário. No entanto, os estudos sobre o uso de RPAs para pulverização ainda são menos difundidos e mais complexos em comparação aos estudos relacionados à adubação. Para realizar a pulverização e o manejo de maneira correta, é necessário o conhecimento do aplicador, pois ele realiza a mistura de vários produtos, como fungicidas, inseticidas, herbicidas, entre outros, em uma mesma calda. A redução no volume de água utilizado pode ocasionar problemas pela falta de informação técnica; para a realização da mistura de calda é preciso cautela na utilização de certos produtos, que o mesmo pode ocasionar incompatibilidade, assim não sendo recomendada. Portanto, a aplicação desses produtos requer conhecimento para uma abordagem responsável (Abrapa, 2015).

A utilização de RPAs para pulverização apresenta diversas vantagens, tais como: sem amassamento de plantas, uma vez que a aplicação é realizada de modo aéreo; vantagem em relação às máquinas agrícolas terrestres, pois pode-se realizar a aplicação em áreas de difícil acesso; redução na contaminação e nos impactos ambientais, com a utilização de menos calda e água; diminuição nos custos, devido à redução no uso de agrotóxicos; e aumento da produtividade agrícola, graças à aplicação mais eficiente e precisa dos agrotóxicos para o controle de doenças e pragas (Bernardo, 2019).

Para a verificação da qualidade operacional das aplicações, adota-se o uso do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) para analisar os dados coletados e fornecer uma avaliação mais precisa da qualidade da operação. O CEQ oferece uma análise estatística que monitora a qualidade operacional dos sistemas agrícolas mecanizados, como as aplicações realizadas. Com esse controle, é possível identificar em qual

operação houve maior variabilidade nos processos, proporcionando, assim, um aumento da produtividade da cultura (Montgomery, 2016; Samohyl, 2009).

Diante do exposto, considerando a escassez de estudos na área devido à recenticidade dessa tecnologia no Brasil, este trabalho teve por objetivo comparar a eficiência entre aplicação com RPAs e terrestre com pulverizador de barras, bem como analisar sua relevância na aplicação de agrotóxicos em relação a produtividade da cultura de soja.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo geral foi comparar a aplicação terrestre (pulverização com barra tratorizada) e aérea (RPA), avaliando quais dessas aplicações proporcionou ganho produtivo na cultura da soja, por meio do monitoramento das operações com o uso do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) e sensoriamento remoto proximal por meio de sensor óptico ativo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I. Monitorar o comportamento espectral da cultura da soja em função das aplicações terrestre e aérea.

II. Identificar as causas especiais que impactaram a qualidade operacional das aplicações.

III. Correlacionar os índices de vegetação com a produtividade.

IV. Comparar a qualidade operacional entre as aplicações, identificando aquela que apresentou menor variabilidade temporal.

3 HIPÓTESE E JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por grãos tem se expandido ano após ano, em destaque a produção de soja. No que diz respeito à produção desses grãos de soja, é notável que essa cultura ainda enfrenta desafios que impactam diretamente na produtividade, devido à alta incidência de doenças, pragas e plantas daninhas, fatores que já apresentam biótipos resistentes a fungicidas, inseticidas e herbicidas. O Brasil, um país com condições climáticas diversas, enfrenta desafios específicos relacionados ao surgimento de patógenos, contribuindo para a necessidade de um controle fitossanitário eficaz.

Assim, este estudo teve como hipótese o aumento da produtividade da soja com a utilização de novas tecnologias de aplicação, proporcionando uma aplicação mais localizada e sustentável em comparação com métodos terrestres. A justificativa para essa abordagem reside no fato de que as aplicações atuais são predominantemente terrestres, muitas vezes ineficientes devido a diversos fatores, como condições climáticas variáveis, temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e a deposição inadequada de agrotóxicos. Dessa forma, este estudo busca apresentar resultados promissores de aplicações aéreas. Esta abordagem possui o potencial de impactar positivamente o uso racional de agrotóxicos, culminando na redução de custos de produção e na minimização dos impactos ambientais.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma herbácea originária da Ásia, mais precisamente do norte da China. Atualmente, é a principal cultura de importância econômica tanto no Brasil quanto globalmente. Na safra de 2022/2023, a produção desse grão atingiu um patamar de 154,8 milhões de toneladas, representando 49,3% da produção total de grãos no território brasileiro. Esse resultado foi alcançado em uma área de aproximadamente 44 milhões de hectares, consolidando o Brasil como o maior exportador de soja do mundo (Conab, 2023).

Pertencente à família Fabaceae, a soja é uma planta anual herbácea de clima tropical, que prospera nas condições climáticas favoráveis do Brasil (Tejo, 2019). O cultivo da soja no país é o maior em extensão territorial, consolidando assim a posição de maior produtor mundial de soja na safra 2022/2023.

Os estados que mais produzem estão localizados no Centro-Oeste e Sul do país, com destaque para o estado do Mato Grosso, responsável por 12,1 milhões de hectares cultivados, com uma produção de 45,6 milhões de toneladas, sendo considerado o maior estado produtor do Brasil (Embrapa, 2023). No entanto, a produção de soja ainda está em expansão, principalmente na região norte, conhecida como fronteira agrícola, segundo a Conab (2023).

Os grãos dessa herbácea consolidaram-se no mercado devido ao seu alto teor de proteína; seu valor nutritivo é o maior dentre todas as culturas. A alta demanda por soja deve-se à sua ampla utilização na alimentação, tanto humana quanto animal. Além disso, essa oleaginosa é uma matéria-prima importante em diversas indústrias, como a produção de sabão, cosméticos, produtos farmacêuticos, plásticos, tintas, solventes, biodiesel e óleo de soja (Soares, 2011).

Devido às suas características morfofisiológicas, a soja é uma planta que pode variar seu ciclo, dependendo da influência do ambiente. Por exemplo, pode apresentar um ciclo de 70 dias, sendo as mais precoces, ou variedades com ciclo de até 200 dias, consideradas plantas de ciclo tardio. Geralmente, o ciclo normal da soja é considerado entre 90 a 150 dias. A altura da planta pode variar de 30 a 250 cm, com hábito de

crescimento determinado, semideterminado ou indeterminado, o que pode influenciar na qualidade e na produtividade da cultura (Kava, 2017).

4.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A Agricultura de Precisão (AP) constitui um conjunto de geotecnologias que lida com a variabilidade temporal e espacial, fazendo uso de ferramentas e recursos para facilitar e otimizar, visando uma melhor gestão das lavouras e o aumento da produtividade, ao mesmo tempo que busca minimizar os impactos ambientais (Inamasu, 2011).

Desde os primórdios da agricultura, o homem busca identificar os locais mais adequados para diferentes tipos de culturas. Contudo, a implementação da AP só ocorreu por volta de 1980, quando nos Estados Unidos começou-se a utilizar adubação com doses variadas, e, na Europa, foi elaborado o primeiro mapa de produtividade.

Em 1990, a AP surgiu juntamente com as máquinas agrícolas equipadas com sistemas de navegação baseados no GNSS (Global Navigation Satellite System ou Sistema Global de Navegação por Satélite). Inicialmente, associava-se essa abordagem a altos custos e grandes extensões de lavouras (Molin, 2015). Segundo o mesmo autor, com o tempo, percebeu-se que o uso inadequado dessas máquinas não resultaria efetivamente em práticas de AP, uma vez que a ausência de capacidade para tomar decisões e calcular insumos comprometeria a obtenção de resultados satisfatórios. Apesar dessa dificuldade, observou-se uma considerável adoção da tecnologia de AP por parte de produtores agrícolas.

Com a disponibilidade de sinais gratuitos da constelação do GPS (Global Positioning System), bem como o uso de sensores e outras geotecnologias, os produtores conseguem rastrear rendimentos, orientar e controlar os equipamentos, monitorar as condições do campo, realizar análises do solo e gerenciar insumos com grande precisão em uma área cultivada. Isso oferece o potencial de aumentar significativamente a produção e o lucro, atendendo às necessidades específicas de cada área por meio da análise realizada com a AP, promovendo, assim, o uso racional dos insumos agrícolas.

Já é uma realidade no Brasil a utilização da AP nas lavouras. As maiores áreas de aplicação de AP no Brasil encontram-se nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, com destaque para as culturas de soja, milho e trigo. No entanto, seu maior desafio é a introdução nas propriedades de agricultura familiar (Filippini, 2016). Atualmente, a AP passa por um processo de amadurecimento no Brasil, pois todos os elos do conhecimento são necessários para obter sucesso.

4.2.1 Aeronave Pilotada Remotamente

As RPAs (Remotely Piloted Aircraft), popularmente conhecidas como drones, são uma tecnologia que vem se destacando e ganhando adeptos pelo mundo afora. Criados na década de 60, consolidaram-se durante a Segunda Guerra Mundial, quando soldados alemães obtiveram sucesso ao utilizar as RPAs para atacar os inimigos a longa distância, sem o risco de perigo aos pilotos (Breunig, 2019).

A definição para RPA é um veículo aéreo que pode voar na atmosfera sem a necessidade de possuir um tripulante e é operado por controle remoto, por pilotos em estações terrestres ou com sistemas de controles embarcados (autônomos). Essas aeronaves foram elaborados para operar em situações de risco e em locais de difícil acesso, oferecendo diversas vantagens, com várias aplicações e serviços prestados.

Essa aeronave é composta por uma estação de controle em solo, o Ground Control Station (GCS), possibilitando o planejamento de uma missão a ser executada e o acompanhamento de todo o trabalho realizado remotamente. Permite a visualização de um mapa referente ao local que será monitorado, devido à referência da posição do drone. A RPA também possui um receptor de sinal de satélite via GPS (Global Positioning System) acoplado, semelhante a uma unidade de navegação inercial. O mesmo não aceita comandos de movimento diretamente ligados pelo GPS, pois possui uma grande margem de erro; recomenda-se o uso da unidade de navegação inercial (IMU), que garante uma melhor precisão da posição. A navegação inercial corresponde a um sistema de navegação que integra as acelerações em Norte/Sul e Leste/Oeste por meio de sensores inerciais, determinando assim sua posição (Oliveira júnior, 2020).

De acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil (Anac, 2023), as RPs podem ser classificadas de acordo com seu alcance, altitude e peso, variando também de

acordo com o modelo de asa, que pode ser dividido em asa fixa ou asa rotativa, incluindo helicópteros convencionais ou multirotores.

Diante da grande demanda por produtividade nas culturas, a agricultura vem adotando tecnologias que auxiliam em diversas atividades no campo. O número de novas tecnologias disponíveis na AP vem crescendo gradativamente, entre as quais as RPAs se destacam por trazer inúmeros benefícios aos agricultores (Jorge e Inamasu, 2014).

As RPAs têm sido empregadas de diversas maneiras no meio agrícola, destacando-se a pulverização de culturas e o monitoramento de plantas. Isso é possível graças aos sensores presentes nas aeronaves, proporcionando imageamentos com sensores multiespectrais ou hiperespectrais e vídeos dos cultivos agrícolas (Paiva, 2023).

Outro fator relevante na utilização dessas aeronaves é o tamanho compacto e a facilidade de manuseio, além da segurança e do baixo custo operacional. Em relação à aplicação aérea com RPAs, destaca-se o curto tempo necessário, permitindo a pulverização de um hectare em questão de minutos. A deriva na aplicação de agrotóxicos é um problema constante para os agricultores, apresentando riscos de intoxicação e impactos ambientais (Bernardo, 2019).

Portanto, mediante a análise de trabalhos científicos nacionais e internacionais, constatou-se que o uso de RPAs oferece diversos benefícios aos produtores rurais. Novas tecnologias vêm sendo empregadas e adotadas diariamente, e à medida que a precisão se aprimora, conquistam espaço e reconhecimento no eficiente gerenciamento das atividades da propriedade. Diante disso, as RPAs de aplicação são consideradas benéficas, uma vez que proporcionam uma aplicação mais segura de agrotóxicos, consequentemente reduzindo seu uso. São, portanto, uma alternativa promissora para o controle de doenças, pragas e plantas daninhas (Oliveira, 2016b).

4.1.1 Sensoriamento remoto

A AP visa aumentar a produção e reduzir erros no manejo, utilizando imagens e análises de dados. Dentre as geotecnologias que têm sido amplamente empregadas na AP, destaca-se o Sensoriamento Remoto (SR), utilizado para coletar dados que

fornece informações essenciais para o monitoramento e a tomada de decisões adequadas. Essa geotecnologia também é amplamente empregada na agricultura bem como na pecuária para monitorar animais, entre outras aplicações. Todas essas atividades podem ser realizadas em tempo real por meio de sensores remotos embarcados em RPAs, máquinas agrícolas, satélites, aviões, dentre outras plataformas. No entanto, estas últimas opções tendem a ter custos mais elevados e dependem de condições climáticas favoráveis para a captura de imagens (Santi et al., 2016).

O uso do SR na agricultura tem sido adotado de diversas maneiras, envolvendo a coleta de dados por meio de sensores remotos, que podem ser imageadores (sensores aéreos e orbitais) e não imageadores (radiômetros e espectrômetros). A coleta desses dados permite a obtenção de índices de vegetação, a avaliação da variabilidade do solo, o monitoramento da presença de doenças e pragas, a criação de mapas de taxas variáveis, entre outros. Todas essas informações são processadas por meio de softwares especializados, que geram imagens e dados detalhados da área. Esses dados são essenciais para que o produtor e o responsável técnico acompanhem o monitoramento, identifiquem a necessidade de manejo, analisem a fertilidade/deficiência do solo e tomem as decisões necessárias para otimizar a produção naquela localidade (Shiratsuchi et al., 2014).

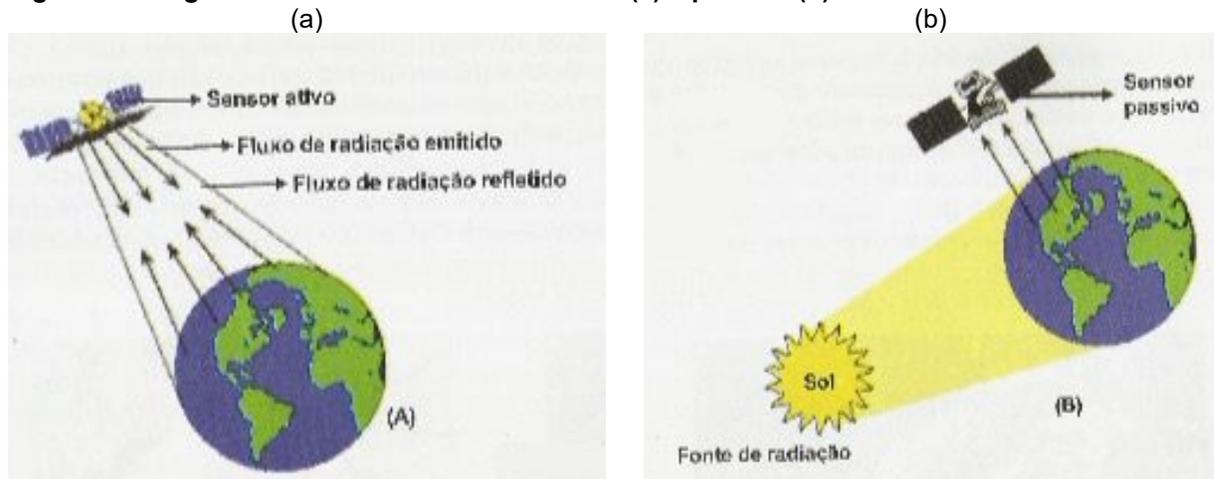
4.1.2 Sistema de sensores

Para a obtenção dos dados empregados na AP, são rotineiramente utilizados sistemas de sensores responsáveis por capturar imagens e informações de uma área específica, incluindo plantas e outros elementos, sem a necessidade de contato físico com o alvo. Esses sensores podem ser acoplados em RPAs, satélites ou outras plataformas aéreas e orbitais. Eles capturam dados por meio de luz visível, infravermelho e micro-ondas, utilizando feixes luminosos (Shiratsuchi et al., 2014).

Existem diversos tipos de sensores, sendo os mais empregados na agricultura os sensores ópticos, multiespectrais e hiperespectrais, utilizados para imageamento e monitoramento da vegetação, identificação de tipos de solo, entre outras aplicações (Furlanetto, 2018). Dentre esses tipos de sensores, é possível separá-los em duas categorias, classificando-os quanto à forma de coletar os dados: sensor ativo (Figura

1a) e sensor passivo (Figura 1b). O sensor ativo produz e emite radiação eletromagnética, e esta, ao interagir com o alvo (neste caso, a planta), é refletida de volta para o sensor. Dessa forma, por meio da refletância, é possível calcular o índice de vegetação da cultura. Já os sensores passivos são aqueles que necessitam da luz solar para coletar dados, os quais são analisados de acordo com os comportamentos espectrais da planta. A luz solar reflete, e o sensor consegue captar essas refletâncias (Moreira, 2011).

Figura 1. Categorias dos sensores remotos ativo (a) e passivo (b).



O emprego de sensores de radar para mapear a topografia do solo, monitorar mudanças ao longo do tempo no uso da terra e detectar deformações na superfície é uma prática consolidada. O SR, largamente utilizado, proporciona dados valiosos que contribuem para a tomada de decisões mais fundamentadas em relação ao uso da terra e aos procedimentos de manejo (Formaggio, 2017).

4.1.3 Nível de coleta

A obtenção de dados por meio do SR pode ser realizada em diferentes níveis, nos quais os sensores podem estar posicionados em nível terrestre, aéreo e orbital. Os sensores remotos em nível terrestre, também conhecidos como sensoriamento remoto proximal, podem ser embarcados em máquinas agrícolas, motocicletas, bicicletas, entre

outros. No nível aéreo, os sensores são incorporados em aviões e RPAs. Em relação ao nível orbital, os sensores são embarcados em satélites.

O SR contribui para as práticas de manejo, especialmente em áreas desconhecidas e extensas. Por meio dos Índices de Vegetação (IVs), que são equações matemáticas derivadas dos comprimentos de onda obtidos da refletância do alvo pela interação entre o alvo e o sensor, é possível compreender aspectos fisiológicos e nutricionais das plantas. Os IVs, aliados ao comportamento espectral dos alvos, são essenciais para entender tais aspectos. Além disso, os IVs podem ser empregados para estimar a biomassa produzida pelas culturas por meio do sensoriamento remoto, utilizando câmeras multiespectrais com bandas do espectro visível e infravermelho, capazes de gerar imagens com informações precisas (Pereira, 2022).

Além disso, dentre os IVs como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), amplamente utilizado, possibilitam a avaliação de parâmetros importantes das plantas, como a sanidade, deficiências hídricas e nutrição. Isso ocorre porque o NDVI mensura a quantidade de reflectância das folhas, indicando que quanto mais verde uma folha estiver, maior será a sua reflectância (Souza, 2018).

Portanto, o uso do SR nos proporciona uma menor necessidade de deslocamento a campo, otimizando recursos e tempo, além de facilitar a interpretação dos resultados (Moriya, 2015). É possível identificar, por exemplo, áreas com anormalidades, como reboleiras causadas por alguma doença, ou falhas no cultivo. Dessa forma, ele é utilizado como uma ferramenta facilitadora na tomada de decisão.

Algumas das vantagens da utilização dessa geotecnologia são a geração de imagens em tempo real, possibilitando a análise ágil dos dados para uma tomada de decisão mais precisa visando baixo impacto ambiental com menor custo e em menor tempo.

4.2 TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO

Na cultura da soja, diversos fatores impactam a produtividade dos grãos, incluindo plantas daninhas, pragas e, principalmente, doenças. A tecnologia de aplicação surgiu em resposta à necessidade de controle dessas pragas, doenças e

plantas daninhas, mediante o uso de agrotóxicos. Ao longo do ciclo das culturas, um dos principais desafios consiste no controle de doenças, com ênfase nas doenças fúngicas, que demandam um manejo mais cuidadoso (Lidório, 2021).

A utilização da tecnologia de aplicação visa proporcionar uma aplicação eficiente voltada para o controle. Para alcançar esse objetivo, é crucial adotar medidas apropriadas durante a aplicação, como a escolha adequada do bico e ponta (Figura 2), garantindo uma cobertura eficaz do produto. Isso inclui o uso de pontas adequadas para o tipo de aplicação, com o espectro de gotas ideal para cada produto. As gotas devem ser depositadas atravessando a camada superior de folhas e distribuídas de maneira a cobrir todo o dossel de forma adequada, assegurando um controle eficiente (Rodrigues, 2019).

O uso de agrotóxicos é essencial para a alta produção e, conseqüentemente, o desenvolvimento e aplicação desses produtos químicos têm crescido continuamente em todo o mundo (Milkiewicz, 2023).

Figura 2. Diversos tipos de pontas de pulverização na aplicação agrícola de produtos.



Fonte: Autores, 2023.

É imprescindível também considerar as condições climáticas durante a aplicação, como velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura, pois esses fatores exercem uma influência significativa na operação do equipamento de pulverização. Em determinados casos, é necessário ajustar as configurações para garantir uma regulagem adequada às condições específicas, o que impacta diretamente na vazão e

na taxa de aplicação utilizada no manejo. O objetivo é sempre buscar a máxima deposição do produto, assegurando que atinja o alvo com o mínimo de deriva possível, a fim de evitar a contaminação de áreas vizinhas (Adegas, 2020).

4.2.1 Equipamentos para aplicação de agrotóxicos

Para alcançar uma produtividade e rentabilidade satisfatórias, é crucial implementar práticas de manejo eficazes para controlar os principais desafios que impactam esses resultados, como pragas e doenças.

Os agricultores adotam abordagens tanto convencionais quanto não convencionais para o manejo, incluindo a aplicação de agrotóxicos por meio de pulverizadores, sejam eles terrestres ou aéreos (Oliveira, 2019).

Os pulverizadores agrícolas são equipados com sistemas de dispersão de gotas que asseguram uma cobertura mais eficiente dos produtos nas culturas, proporcionando uma proteção mais efetiva (Jobim, 2017).

4.2.1.1 Pulverizadores costais manuais e motorizados

Os pulverizadores costais (Figura 3), sejam manuais ou motorizados, apresentam um design relativamente simples, composto por um reservatório e alças que são fixadas nas costas do operador. Devido à dependência de mão de obra e à limitação de rendimento, essa prática é inviável para aplicação em grandes áreas, sendo mais frequentemente empregada em locais específicos nos quais não há acesso fácil ou a demanda não justifica o uso de outros equipamentos (Jacto, 2023).

Figura 3. Aplicação com pulverizador costal.



Fonte: JACTO, 2021.

4.2.1.2 Pulverizadores tratorizados

A pulverização tratorizada é a forma mais comum encontrada nas propriedades agrícolas e pode ser dividida em pulverizadores de arrasto acoplados ao trator (Figura 4) e autopropelido (Figura 5), proporcionando bons rendimentos e facilidade no controle. Essa prática consiste na utilização de barras que realizam as aplicações em larga escala quando comparadas aos pulverizadores costais, otimizando o tempo de aplicação. No entanto, apresenta desvantagens, pois, dependendo da área e das condições climáticas, pode não ser possível realizar o manejo no momento necessário (Cornago Junior, 2020).

Figura 4. Pulverizador terrestre com barra acoplado ao trator.



Fonte: Airtractor, 2020.

Figura 5. Autopropelido.



Fonte: Airtractor, 2020.

4.2.1.3 Pulverizadores por aviões

A aplicação aérea por meio de aviões (Figura 6) se torna uma alternativa viável quando relacionada a grandes extensões, proporcionando uma aplicação eficiente em curto tempo devido ao alto rendimento e boa distribuição do agrotóxico na lavoura. No entanto, para pequenas áreas, essa prática torna-se totalmente inviável. Estudos têm abordado os problemas de deriva associados a essa prática, o que também representa uma desvantagem (Mendonça, 2018).

Figura 6. Aplicação aérea com aviões.



Fonte: Airtractor, 2020.

4.2.1.4 Pulverizadores por aeronaves

A utilização de RPAs (Figura 7) é uma prática mais recente, porém vem apresentando bons resultados e ganhando aceitação no mercado. O uso de RPAs favorece a otimização do tempo, a redução do consumo de água para o preparo da calda e a minimização dos impactos ambientais. Sua principal vantagem reside na realização da aplicação sem ocasionar danos às plantas, garantindo, assim, um aumento na produtividade (Rodrigues, 2022).

Figura 7. Aplicação aérea com Aeronave Pilotada Remotamente.



Fonte: Autores, 2023.

4.3 CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE

O Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) é uma análise estatística que emprega diversas técnicas para analisar a variabilidade dos dados, proporcionando suporte na tomada de decisões. Quando aplicado de maneira eficaz na agricultura, contribui para o manejo mais eficiente por meio da análise de dados coletados garantindo uma redução na variabilidade dos dados (Farias, 2021).

O controle se refere ao acompanhamento e monitoramento dos dados, avaliar o nível de desempenho operacional da operação, comparar os tratamentos e buscar medidas que reduzam as diferenças de desempenho. Esse controle de qualidade só ocorre quando existem diferentes tipos de tratamentos, buscando sempre analisar a

8

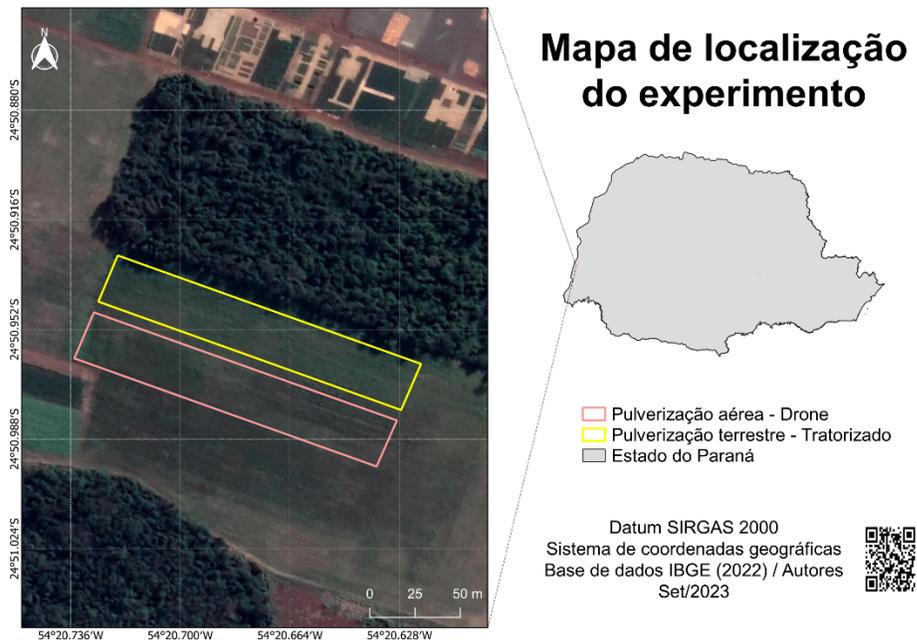
variação entre elas. Diante do exposto, busca-se observar as diferenças entre elas, com análises detalhadas por meio do CEQ, e adotar os métodos que proporcionem uma melhor compreensão do processo operacional, identificando falhas ocorridas durante a operação, o que, por sua vez, afeta a qualidade do processo (Rocha, 2018).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no campo experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus Santa Helena*, Estado do Paraná. A área (Figura 8) possui as seguintes coordenadas aproximadas: latitude $-24^{\circ}50'57''$ S e longitude $-54^{\circ}20'44''$ W, com altitude de 237 metros acima do nível médio do mar. A região situada no Oeste paranaense apresenta um clima subtropical úmido. O solo local é classificado como Nitossolo Vermelho Distroférico Latossólico (Zatti, 2022).

Figura 8. Localização da área experimental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – *Campus Santa Helena*, Estado do Paraná.



Fonte: Autores, 2023.

5.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi fundamentado nas premissas básicas do Controle Estatístico de Qualidade (CEQ), compreendendo 48 pontos amostrais para a avaliação da produtividade e 16 pontos amostrais para os demais indicadores em cada

aplicação, totalizando 96 pontos para produtividade e 32 pontos para os demais indicadores. Os tratamentos foram compostos por aplicação aérea (RPA) e terrestre (pulverizador de barras tratorizado).

A área possuía 160 m de comprimento e 30 m de largura, totalizando uma área de aproximadamente de 0,48 hectare para cada tratamento (Figura 9). Ainda foi mantido um vão livre de 6 m entre os tratamentos para evitar a deriva e a sobreposição entre as aplicações, sendo assim foram utilizadas no experimento uma área com total de aproximadamente 0,96 hectares. O espaçamento entre linhas na semeadura era de 0,50 m, com a distribuição de 12 sementes de soja por m^{-1} .

Figura 9. Esquema diagramático dos dimensionamentos da área experimental dos tratamentos.



Fonte: Autores, 2023.

Cada ponto amostral estava localizado em um quadrante georreferenciado com dimensões de 20 x 15 m, como pode ser observado na Figura 9, onde foram realizadas avaliações dos indicadores de qualidade (altura de plantas, comprimento do dossel, produtividade e sensoriamento proximal por meio dos índices de vegetação NDVI e NDRE).

Para a avaliação do indicador de produtividade, foram coletadas plantas nas três linhas centrais de cinco metros por tratamento, considerando-as como três repetições

de medidas por ponto amostral. Foi realizada a média dessas três linhas desse indicador por ponto amostral. Quanto aos indicadores altura de planta e comprimento do dossel, foram escolhidas aleatoriamente três plantas dentro do quadrante por ponto amostral. Após a coleta dos dados, foi feita a média entre esses dados por ponto amostral. Para os indicadores NDVI e NDRE, foi realizada uma medição em cinco metros para cada ponto amostral, utilizando o sensor óptico ativo RapidScan® CS-45.

5.3 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS AGRÍCOLAS

A semeadura de soja no experimento foi realizada em área de plantio direto, em 25 de outubro de 2022, utilizando a cultivar M6110 I2X (6301 I2X). A área foi adubada com a formulação NPK 1-20-20, utilizando a dose recomendada de 280 kg ha⁻¹. Para a implantação do experimento, foram empregados maquinários e equipamentos agrícolas da própria universidade. Destaca-se o trator modelo LS Plus 90 (Figura 10a), com 90 cv de potência do motor, ao qual foi acoplada a semeadora mecânica do modelo PDN 7000 (Figura 10b), com 7 linhas e espaçamento de 0,50 m entre elas.

Figura 10. Conjunto trator e semeadora usados na implantação do experimento.



Fonte: Autores, 2022.



Fonte: Autores, 2022.

Para as aplicações, foi utilizado o pulverizador terrestre acoplado ao trator da marca Jacto (Figura 11a), com capacidade de 600 litros, barras de 12 metros de largura, bicos espaçados a cada 0,5 metro e pontas da marca TeeJet, modelo 11002. Quanto à aplicação aérea, foram utilizadas as aeronaves dos modelos T10 (Figura 11b) e T30 (Figura 11c), ambos com o ponta TXA 80015, com largura de faixa de aplicação de 5 e 7 metros respectivamente.

Figura 11. Pulverizadores terrestre e aéreos usados na condução do experimento.

(a)



Fonte: Autores, 2020.

(b)



Fonte: Autores, 2023

(c)



Fonte: Autores, 2023.

Parâmetros de comparação entre as modalidades de aplicações (terrestre e aéreo) foram estabelecidos das regulagens usadas no experimento, conforme apresentado na Tabela 1. Foram realizadas no manejo do experimento três aplicações, durante o ciclo da soja, conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Parâmetros operacionais usados para as aplicações terrestre e aéreo

Parâmetros operacionais	Modalidade de aplicação		
	Terrestre - Pulverizador	Aéreo - RPA	Aéreo - RPA
	tratorizado	modelo T10	modelo T30
Reservatório (L)	600,00	10,00	30,00
Volume de calda (L ha ⁻¹)	120,00	13,50	13,00
Velocidade (km h ⁻¹)	8,00	22,00	20,00
Altura de aplicação (m)	0,50	2,50	3,00

RPA: Remotely Piloted Aircraft

Fonte: Autores, 2023.**Tabela 2. Aplicações realizadas**

Data	Nome comercial	Princípio ativo	Dosagem (0,48 ha)
28/11/2023	Select	Cletodim	0,48 L
15/12/2023	Zapp; Mancozeb; Elatus; Bold.	Glifosato; mancozebe; azoxistrobina, benzovindiflupir; acetamiprido e fenpropatrina.	0,72 L; 0,72 kg; 0,072kg;
16/01/2023	Mancozeb; Elatus	mancozebe, azoxistrobina e benzovindiflupir	0,72 kg; 0,072 kg;

Fonte: Autores, 2023.

A primeira, consistiu na dessecação de capim amargoso presente na área em 28 de novembro de 2022. Além disso, foram conduzidas duas aplicações adicionais. A primeira, realizada em 15 de dezembro, envolveu os produtos herbicida, fungicidas e inseticida. Já na segunda aplicação, em 16 de janeiro de 2023, foram aplicados apenas fungicidas.

5.4 INDICADORES DE QUALIDADE

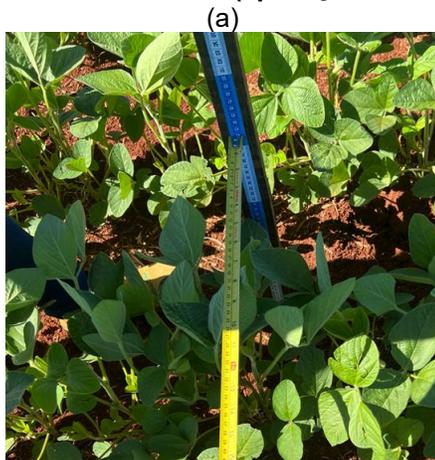
Os indicadores de qualidade englobaram características biofísicas da cultura, tais como altura da planta, comprimento do dossel e produtividade, além dos índices de vegetação NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e NDRE (Índice de

8

Diferença Normalizada na Borda Vermelha). A seguir, apresenta-se uma descrição detalhada de como as medições foram realizadas em quatro datas distintas (Data 1 - 09/12/2022; Data 2 - 11/01/2023; Data 3 - 16/02/2023; e Data 4 - 01/03/2023), sendo que apenas uma data foi considerada para o indicador de produtividade (dia da colheita, Data 5 - 17/03/2023).

- Altura de plantas: foi realizada a medição desde a superfície do solo até a folha mais alta da cultura da soja. Essa avaliação foi feita manualmente por meio de trenas graduadas, sistema métrico decimal (Figura 12a).
- Comprimento do dossel: foi realizada a medida desde uma extremidade a outra extremidade da copa do dossel. Essa medição foi feita manualmente por meio de trenas graduadas, sistema métrico decimal (Figura 12b).
- Índices de vegetação: NDVI e NDRE foram obtidos por meio do sensor óptico ativo RapidSCAN[®] CS-45 (Figura 12c), posicionado a uma altura superior ao dossel de 0,60 m. Os cálculos desses índices podem ser consultados na Tabela 2.

Figura 12. Indicadores de qualidade: altura de plantas (a), comprimento do dossel (b), índices de vegetação NDVI e NDRE obtidos por meio do sensoriamento remoto proximal coletados em função dos tratamentos (aplicação terrestre e aérea) (c).



Fonte: Autores, 2022.



Fonte: Autores, 2023.

(c)

8



Fonte: Autores, 2023.

Tabela 2. Índices de vegetação utilizados no experimento foram NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) e NDRE (Normalized Difference Red Edge) por meio do sensoriamento remoto proximal.

Índice de vegetação	Fórmula	Fonte
NDVI	$NDVI = \frac{NIR - \mathcal{I}}{NIR + \mathcal{I}}$	Rouse et al. (1973)
NDRE	$NDRE = \frac{NIR - \mathfrak{R}}{NIR + \mathfrak{R}}$	Buschmann and Nagel (1993)

NIR: infravermelho próximo, RED: vermelho, RE: red-edge.

Fonte: Autores, 2023.

- Produtividade: a coleta foi realizada manualmente em uma área de 5 m² (Figura 13a;13b), logo em seguida foram levados ao laboratório para a medição de umidade do grão (Figura 13c), sendo o valor corrigido para 13% de teor de água e, posteriormente, avaliando peso de cada amostra em balança digital (Figura 13d), que em seguida foi extrapolado para kg ha⁻¹.

Figura 13. Colheita do experimento, realizado em 17 de março de 2023.

(a)

(b)



Fonte: Autores, 2023.

8



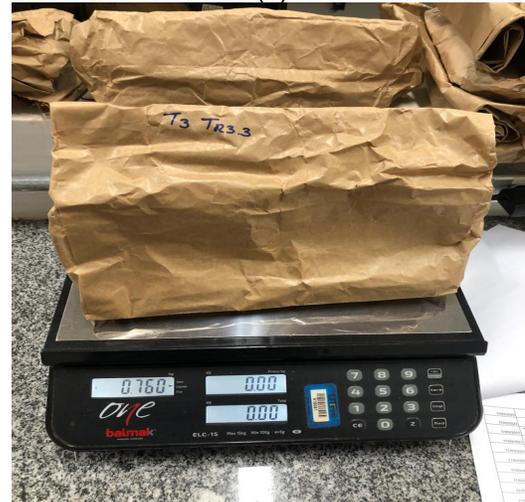
Fonte: Autores, 2023.

(c)



Fonte: Autores, 2023.

(d)



Fonte: Autores, 2023.

5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas realizadas compreenderam análises descritivas e o uso de ferramentas do CEQ, que incluíram cartas de controle de valores individuais, diagrama de causa e efeito, e análise de variância (ANOVA) quando os tratamentos foram significativos realizou o teste de comparação entre as médias. Estas análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software Minitab®. Para a elaboração dos mapas, foi utilizado o software QGIS®.

As cartas de controle de valores individuais são compostas pela média aritmética da amostra e pelos limites de controle superior (LSC) - conforme a Equação 1 - e

inferior (LIC) - conforme a Equação 2. Os cálculos desses limites podem ser visualizados nas equações abaixo (TOLEDO et al., 2008).

$$\text{LSC} = \text{média} + 3 \text{ vezes o desvio padrão} \quad (1)$$

$$\text{LIC} = \text{média} - 3 \text{ vezes o desvio padrão} \quad (2)$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no experimento foram analisados a partir das coletas de dados realizadas nas atividades a campo, incluindo medições, coleta de imagens e coleta de produção de grãos. A partir desses dados, foi possível realizar análises estatísticas que fornecem conteúdo para análises descritivas dos indicadores de qualidade, cartas de controle, diagrama de causa e efeito e verificação dos comportamentos e comparações entre as aplicações realizadas no experimento com os dados.

6.1. ANÁLISE DESCRITIVA

Com os resultados da análise descritiva (Tabelas 3 e 4), observou-se o comportamento e as variações das características biofísicas do cultivo da soja conforme a coleta dos dados em datas diferentes, nisso concluímos que a variação dessas características podem interferir na produtividade da cultura. Essa análise incluiu valores de média, erro padrão médio, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo, mediana, máximo, teste de normalidade de Ryan-Joiner (RJ) e P-valor. O teste de normalidade de Ryan-Joiner é utilizado para verificar a normalidade ou não normalidade dos dados obtidos. Quando o P-valor do teste de RJ estava acima de 10%, tivemos a distribuição normal dos dados.

Tabela 3. Altura de plantas, comprimento de dossel, NDVI, NDRE e produtividade, em função das épocas avaliadas para aplicação terrestre.

Épocas avaliadas*	SE		Desvio Padrão	CV	Min	Med	Max	RJ	P-valor
	Média	Média							
Altura de plantas (m)									
Data 1	0,44	0,01	0,03	7,54	0,40	0,43	0,51	0,97 ^N	>0,10
Data 2	0,65	0,02	0,09	13,45	0,36	0,67	0,76	0,83 ^{NN}	<0,01
Data 3	0,76	0,01	0,06	7,28	0,63	0,77	0,83	0,98 ^N	>0,10
Data 4	0,76	0,02	0,06	7,86	0,62	0,76	0,84	0,97 ^N	>0,10
Comprimento do dossel de plantas (m)									
Data 1	0,37	0,06	0,25	67,83	0,27	0,32	1,32	0,60 ^{NN}	<0,01
Data 2	0,36	0,01	0,04	9,90	0,29	0,36	0,43	0,99 ^N	>0,10
Data 3	0,57	0,15	0,59	103,38	0,32	0,43	2,77	0,56 ^{NN}	<0,01
Data 4	0,32	0,01	0,04	12,80	0,24	0,32	0,39	1,00 ^N	>0,10
NDVI									
Data 1	0,64	0,01	0,05	8,18	0,56	0,63	0,75	0,98 ^N	>0,10
Data 2	0,64	0,01	0,04	6,61	0,56	0,64	0,70	0,98 ^N	>0,10
Data 3	0,71	0,02	0,07	9,28	0,55	0,72	0,78	0,94 ^{NN}	0,05
Data 4	0,62	0,01	0,03	5,52	0,58	0,61	0,68	0,96 ^N	>0,10
NDRE									
Data 1	0,22	0,01	0,03	11,66	0,19	0,22	0,27	0,97 ^N	>0,10
Data 2	0,23	0,00	0,01	6,25	0,20	0,23	0,26	0,99 ^N	>0,10
Data 3	0,27	0,01	0,03	10,26	0,20	0,27	0,30	0,97 ^N	>0,10
Data 4	0,21	0,00	0,02	7,50	0,19	0,21	0,25	0,93 ^{NN}	0,03
Produtividade (kg ha ⁻¹)									
Data 5	1332,30		55,60	385,20	28,91	710,10	1204,50	0,95 ^{NN}	<0,01

*Data 1 (09/12/2022); Data 2 (11/01/2023); Data 3 (16/02/2023); Data 4 (01/03/2023) e Data 5 (17/03/2023 - dia da colheita).

SE Média: erro padrão da média, CV: coeficiente de variação, min: mínimo, max: máximo, RJ: teste de normalidade Ryan-Joiner, ^N: Distribuição normal dos dados conforme o teste de RJ, ^{NN}: Distribuição não normal dos dados conforme o teste de RJ.

Fonte: Autores, 2023.

Tabela 4. Altura de plantas, comprimento de dossel, NDVI, NDRE e produtividade, em função das épocas avaliadas para aplicação aérea.

Épocas avaliadas*	Média	SE Média	Desvio Padrão	CV	Min	Med	Max	RJ	P-valor
Altura de plantas (m)									
Data 1	0,44	0,01	0,03	5,73	0,38	0,44	0,48	0,97 ^N	>0,10
Data 2	0,60	0,02	0,07	10,79	0,47	0,61	0,71	0,97 ^N	>0,10
Data 3	0,73	0,01	0,05	6,56	0,64	0,73	0,82	0,98 ^N	>0,10
Data 4	0,75	0,01	0,05	6,95	0,66	0,76	0,87	0,97 ^N	>0,10
Comprimento do dossel de plantas (m)									
Data 1	0,46	0,08	0,34	73,63	0,32	0,39	1,73	0,57 ^{NN}	<0,01
Data 2	0,37	0,01	0,05	13,74	0,31	0,37	0,47	0,98 ^N	>0,10
Data 3	0,59	0,15	0,60	101,79	0,38	0,44	2,85	0,54 ^{NN}	<0,01
Data 4	0,36	0,02	0,07	19,14	0,28	0,35	0,58	0,90 ^{NN}	<0,01
NDVI									
Data 1	0,63	0,01	0,04	6,86	0,57	0,62	0,72	0,98 ^N	>0,10
Data 2	0,69	0,01	0,04	6,17	0,62	0,67	0,76	0,97 ^N	>0,10
Data 3	0,74	0,01	0,03	4,65	0,67	0,75	0,78	0,96 ^N	>0,10
Data 4	0,54	0,01	0,05	9,47	0,43	0,55	0,64	0,98 ^N	>0,10
NDRE									
Data 1	0,23	0,00	0,02	6,71	0,21	0,23	0,26	0,98 ^N	>0,10
Data 2	0,26	0,00	0,02	6,19	0,23	0,25	0,29	0,98 ^N	>0,10
Data 3	0,28	0,00	0,02	5,84	0,26	0,27	0,31	0,98 ^N	>0,10
Data 4	0,19	0,01	0,02	10,61	0,16	0,19	0,23	0,98 ^N	>0,10
Produtividade (kg ha ⁻¹)									
Data 5	1711,00		50,90	352,50	20,60	967,80	1739,80	0,99 ^N	>0,10

*Data 1 (09/12/2022); Data 2 (11/01/2023); Data 3 (16/02/2023); Data 4 (01/03/2023) e Data 5 (17/03/2023 - dia da colheita).

SE Média: erro padrão da média, CV: coeficiente de variação, min: mínimo, max: máximo, RJ: teste de normalidade Ryan-Joiner, N: Distribuição normal dos dados conforme o teste de RJ, SN: Distribuição não normal dos dados conforme o teste de RJ.

Fonte: Autores, 2023.

Na análise descritiva, foi observado nas Tabelas 3 e 4 que, na data 1 da avaliação de alturas, a média foi de 0,44 m para ambos os tratamentos. Em seguida, notamos uma variação na avaliação realizada na data 2, em que a aplicação terrestre apresentou uma altura superior em cinco centímetros em relação à aplicação aérea. Ao analisar os dados da data 3, observamos a inversão dessa variável entre os tratamentos, verificando que, nessa data, a aplicação terrestre obteve uma média de 0,76 m, enquanto a aplicação aérea registrou 0,73 m. Na avaliação da data 4, a média de altura para a aplicação terrestre permaneceu estável, em 0,76 m, enquanto a altura média da aplicação aérea foi de 0,75 m.

Quando analisamos a variável do comprimento do dossel da planta, encontramos mais dados com valores que não se enquadram na normalidade do teste de normalidade de RJ. Assim, verificamos as medianas da largura do dossel para a avaliação. Podemos observar que os resultados das medianas da largura de dossel das aplicações realizadas por RPAs foram maiores quando comparados ao tratamento realizado pelas aplicações de barras. Assim, observou-se diferença desse indicador de qualidade entre os tratamentos, variando de um a três centímetros ao serem comparados entre si. Apenas na data 1 ocorreu uma maior largura de dossel em 0,39 m na aplicação aérea, sendo sete centímetros superior à mediana da aplicação terrestre, que foi de 0,32 m de largura.

Para o indicador de qualidade NDVI, observou-se normalidade nos dados, principalmente para a aplicação aérea em comparação com a terrestre. Ao analisar as médias, nota-se que, na data 1, a média para a aplicação terrestre foi de 0,64 m enquanto para a aplicação aérea foi de 0,63 m. Na data 2, as médias para a aplicação terrestre e aérea foram de 0,64 m e 0,69 m, respectivamente. Na data 3, as médias foram de 0,71m para a aplicação terrestre e 0,74 m para a aplicação aérea, representando um aumento para ambos em relação à variável NDVI. No entanto, na data 4, a média para NDVI foi de 0,54 m para a aplicação aérea, enquanto para a aplicação terrestre foi de 0,62 m.

A redução dessas médias para o NDVI na data 4 está relacionada à quantidade de cloroplastos presentes na planta, bem como à atividade fotossintética. Por meio do sensor, valores mais altos desse índice são observados quando a planta apresenta coloração mais verde, indicando maior presença de clorofila nas folhas. A diminuição nos valores ocorreu devido à época da avaliação, pois a planta estava entrando na fase de senescência, apresentando coloração mais saturada e despigmentada em comparação às avaliações realizadas no auge da vegetação da planta. Esse mesmo resultado encontrado por Fontana (2019), que relatou valores de NDVI reduzindo no início da maturação da cultura de soja, em que as folhas vão despigmentando e caindo, indicando a saturação.

Os dados de NDRE apresentaram médias de 0,22 m para aplicação terrestre e 0,23 m para aérea na data 1. As médias da data 2 foram de 0,23 m e 0,26 m para

terrestre e aérea, respectivamente. Na data 3, as medidas foram de 0,27 m para terrestre e 0,28 m para aérea. Na data 4, houve uma redução no valor, sendo 0,21 m para terrestre e 0,19 m para aérea.

A última avaliação realizada obteve os dados da data 5, que foram de acordo com a produtividade final em cada tratamento realizado. Na análise estatística feita a partir dos dados coletados após a colheita do experimento, observamos que na aplicação aérea obteve resultados superiores de produção quando comparada à modalidade terrestre, com uma média de 1711 kg ha⁻¹ no tratamento feito com o uso de RPAs e 1332,30 kg ha⁻¹ com o uso de pulverizador terrestre para a aplicação. Com o uso de RPAs, obtivemos resultados de 378,70 kg ha⁻¹ a mais na produtividade em relação ao terrestre.

De forma geral, o comportamento dos dados dos indicadores de qualidade para aplicação aérea foi menos disperso do que para a aplicação terrestre, demonstrando menor variabilidade na operação. Essa variabilidade foi verificada tanto no teste de normalidade quanto nas medidas de localização e dispersão.

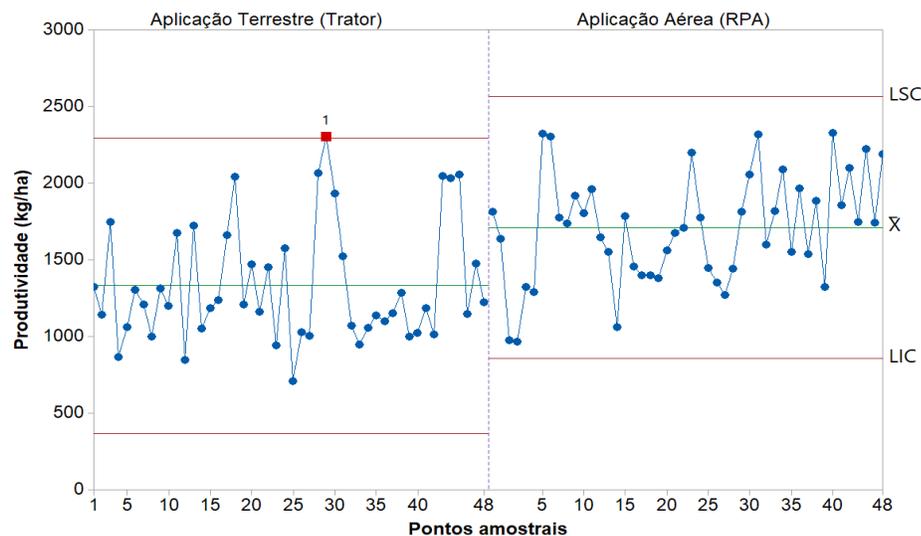
6.2 CARTAS DE CONTROLE DE VALORES INDIVIDUAIS

Os resultados encontrados, observados nas cartas de controle de valores individuais, permitem analisar a variabilidade nos dados relativos à avaliação biofísica da cultura da soja e dos índices de vegetação. Com o intuito de avaliar a qualidade da operação em relação aos equipamentos utilizados nas aplicações, com as cartas observamos a distribuição dos pontos, a variação e os limites presentes nas cartas de controle, incluindo os limites de controle superior (LSC) e inferior (LIC), localizados nas extremidades da figura. A análise do comportamento dos dados é realizada por meio dos pontos e da proximidade ou distância em relação à linha central, indicada pela cor verde, que representa a média geral da variável. Quando esses pontos se encontram fora de controle, ao ultrapassarem os limites de controle (LSC e LIC), são originados devido as causas especiais que impactam a qualidade operacional, resultando no aumento da variabilidade dos dados (SAMOHYL, 2009).

Na carta de controle de valores individuais para produtividade (Figura 14), observou-se uma maior qualidade do processo para a aplicação aérea. Ademais, a média do

processo foi superior em relação à aplicação terrestre, destacando o potencial dessa abordagem para aumentar a produtividade, principalmente devido à redução do amassamento das plantas.

Figura 14. Carta de controle de valores individuais para o indicador de qualidade produtividade (kg ha^{-1}) em função da aplicação terrestre (pulverizador de barras tratorizado - trator) e aérea (RPA - Remotely Piloted Aircraft).



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, \bar{x} : Média aritmética

Fonte: Autores, 2023.

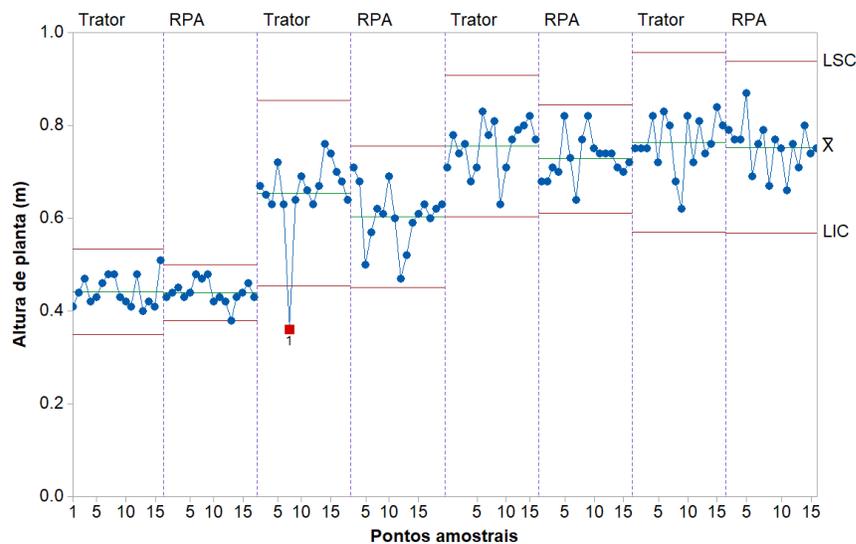
No ponto amostral número 30, houve uma variabilidade de produtividade muito além da média, indicando alguma interferência de causa especial nessa amostra. Por outro lado, na aplicação aérea, é possível notar uma média mais elevada da produtividade e maior controle nos dados, onde os pontos estão mais próximos da média de produção e nenhum ponto foi destacado na carta. Isso sugere que, nos dados de produtividade no tratamento de aplicação aérea, não houve nenhuma variabilidade ou interferência, seja na operação de manejo ou devido a algum fator climático. Esses resultados corroboram com as observações feitas na Tabela 4, por meio das análises descritivas.

Nos resultados obtidos nas cartas de controle para o indicador altura de plantas (Figura 15), pode-se notar, nas avaliações realizadas em função das datas, para aplicação terrestre e aérea na data 1 foi bastante semelhante o comportamento do

processo. No entanto, a distribuição dos pontos entre os limites na aplicação terrestre apresentou maior variabilidade do que na aplicação aérea, em que os dados estiveram bem próximos da média, garantindo maior uniformidade na altura de plantas do estande.

Essas observações são cruciais para compreender a consistência e estabilidade das operações, proporcionando insights valiosos para o manejo da cultura em relação à uniformidade de crescimento e desenvolvimento das plantas. Isso é especialmente relevante em aplicações terrestres, pois um estande com alturas desuniformes pode resultar em variações na altura da barra de aplicação.

Figura 15. Carta de controle de valores individuais para altura de plantas (m) em função da aplicação terrestre (pulverizador de barras tratorizado - trator) e aérea (RPA - Remotely Piloted Aircraft).



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, \bar{X} : Média aritmética

Fonte: Autores, 2023.

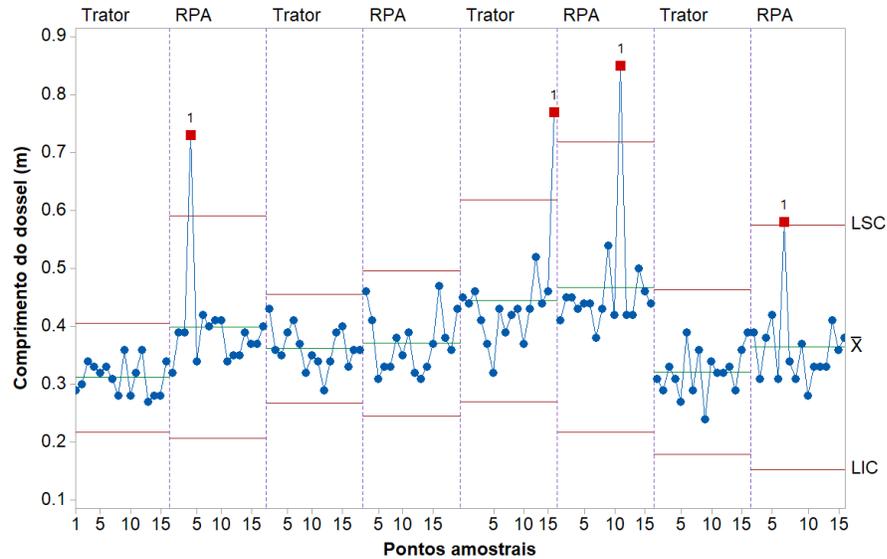
Na data 2 (Figura 15), foi verificado bom desempenho no desenvolvimento das plantas ao compararmos com a data 1. Na aplicação terrestre, houve um crescimento superior em relação à aplicação aérea, embora um ponto tenha ficado abaixo do limite inferior de controle, como evidenciado na figura. Esse ponto fora de controle nesse tratamento identifica a ocorrência de uma interferência de causas especiais, que também pode estar relacionada a um crescimento rápido e desuniforme do estande.

8

Nos dados das datas 3 e 4 (Figura 15), observou-se processo estável, não havendo causas especiais, com os pontos distribuídos entre as linhas de limites e sem ocorrência de pontos fora das extremidades. Isso proporciona dados com menos variabilidade e sem riscos de interferência de causas especiais nas cartas. No entanto, é possível notar que, na aplicação aérea, os pontos estão mais próximos da média durante ambas as avaliações, indicando uma uniformidade maior no estande em comparação com o tratamento realizado com aplicação terrestre. Essas análises são fundamentais para avaliar a consistência do crescimento das plantas e identificar possíveis influências externas nos resultados.

A carta de controle do indicador comprimento de dossel (Figura 16) indicou maior variabilidade nos dados para ambos os tratamentos, sendo que apenas na data 2 não houve nenhum ponto acima do LSC. Na data 1, observou-se que a média de comprimento de dossel para a aplicação aérea foi superior em relação à aplicação terrestre. No entanto, um ponto fora de controle foi identificado, indicando que o ponto amostral 5 sofreu interferência, ocasionando variabilidade nos dados e instabilidade do processo para essa data.

Figura 16. Carta de controle de valores individuais para comprimento do dossel de plantas (m) em função da aplicação terrestre (pulverizador de barras tratorizado - trator) e aérea (RPA - Remotely Piloted Aircraft).



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, \bar{X} : Média aritmética

Fonte: Autores, 2023.

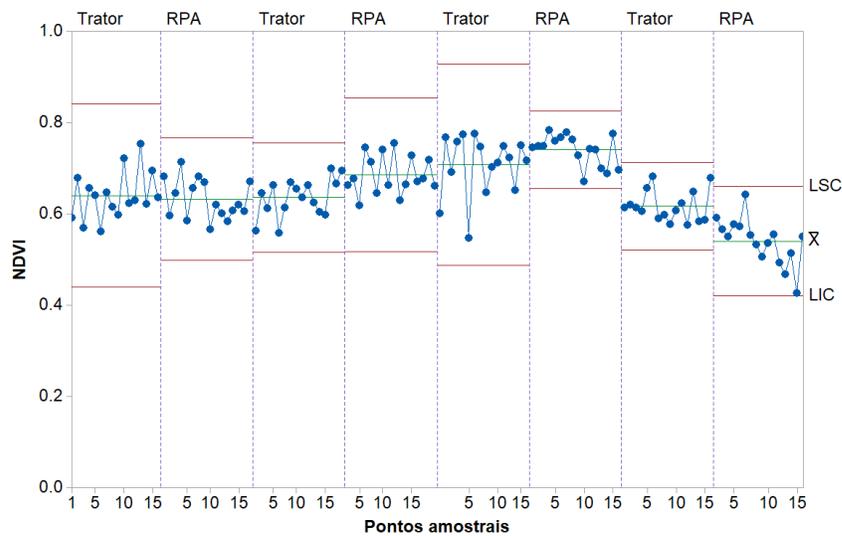
Na data 2, os pontos estão distribuídos entre os limites de controle, proporcionando dados sem variações significativas, havendo apenas a atuação das causas aleatórias, que são inerentes ao processo. Essas causas aleatórias não afetam negativamente a qualidade do processo, ao contrário das causas especiais, que se assemelham a falhas ou problemas ocorridos durante o desenvolvimento da operação. Observou-se também que as médias de comprimento do dossel dessa avaliação foram bastante próximas entre os tratamentos realizados no experimento.

A avaliação da data 3 forneceu dados em que ambos os tratamentos apresentaram variabilidade em um ponto amostral de cada parcela, indicando interferência de causas aleatórias no processo.

Na data 4, verificou-se a redução no comprimento do dossel das plantas, tanto na aplicação terrestre quanto na aplicação aérea. Isso ocorreu devido à avaliação ter sido realizada no momento em que a planta entra em senescência natural, reduzindo sua biomassa. Nos dados coletados dessa avaliação, observa-se na carta de controle a dispersão de um ponto no tratamento aéreo, indicando variabilidade nesse ponto amostral causada por algum fator externo.

Na carta de controle de valores individuais para os indicadores NDVI (Figura 17) e NDRE (Figura 18), observou-se controle de qualidade na operação. Durante as quatro datas de avaliação, nenhum ponto se encontrava fora do controle. Pode-se notar uma dispersão em relação aos pontos quando analisados em relação à média, o que justifica a diversificação do índice de vegetação.

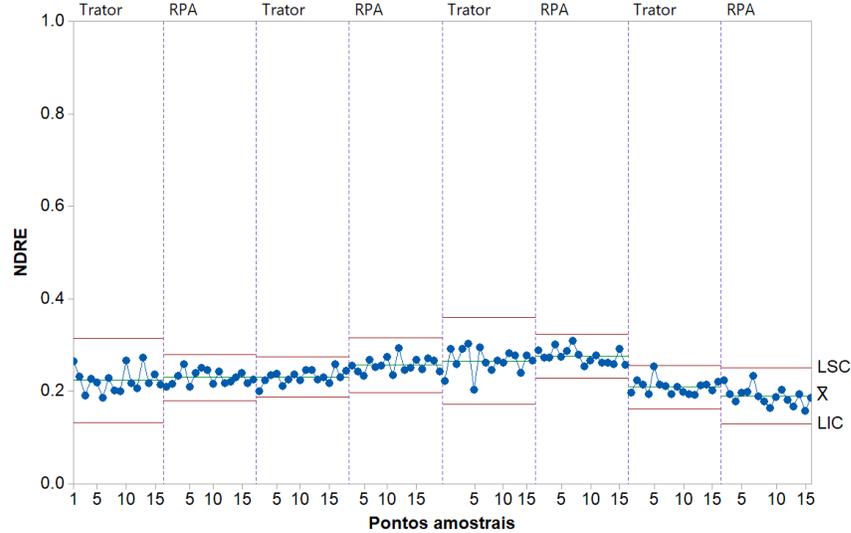
Figura 17. Carta de controle de valores individuais para o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) em função da aplicação terrestre (pulverizador de barras tratorizado - trator) e aérea (RPA - Remotely Piloted Aircraft).



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, \bar{X} : Média aritmética

Fonte: Autores, 2023.

Figura 18. Carta de controle de valores individuais para o NDRE (Normalized Difference Red Edge Index) em função da aplicação terrestre (pulverizador de barras tratorizado - trator) e aérea (RPA - Remotely Piloted Aircraft).



LSC: Limite Superior de Controle, LIC: Limite Inferior de Controle, \bar{X} : Média aritmética

Fonte: Autores, 2023.

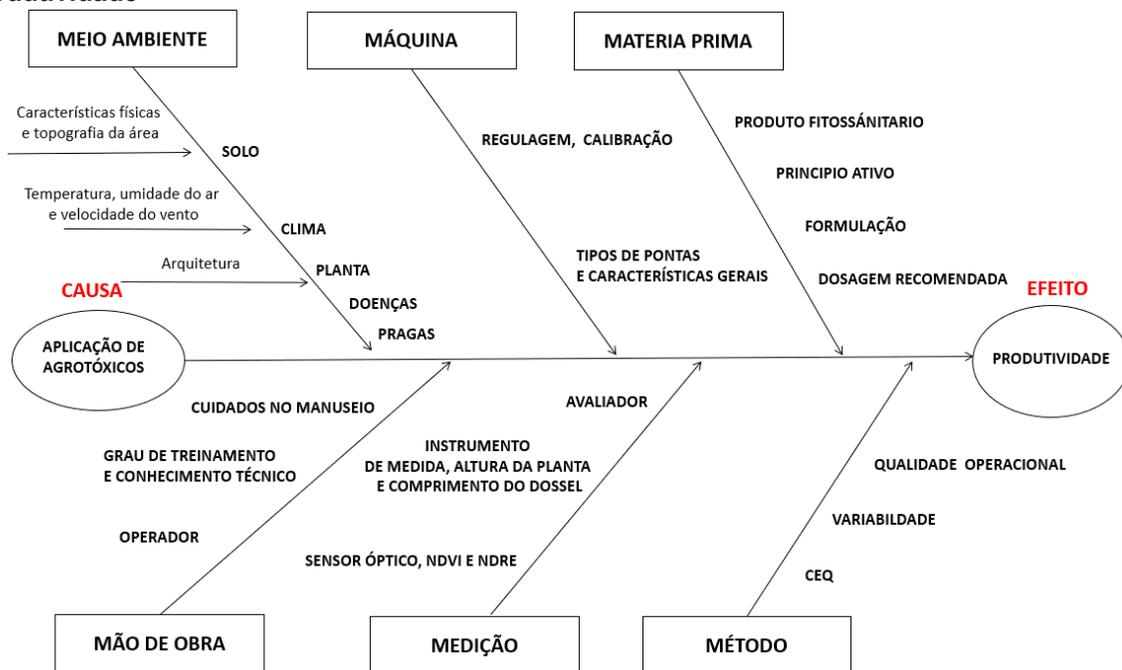
Em todos os períodos, os índices de vegetação NDVI e NDRE apresentaram dados com menor variabilidade dos valores em todas as datas de avaliação realizadas durante o ciclo, resultando em controle no processo de qualidade da operação. Pode-se observar pontos bem próximos às médias em ambos os tratamentos, garantindo uniformidade, principalmente aos dados do NDRE no experimento, onde não houve interferência de fatores externos. Isso pode ser explicado devido à menor susceptibilidade de saturação do NDRE em comparação ao NDVI, como também foi observado por Carneiro et al. (2020).

4.4 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

Conforme as análises realizadas, os indicadores das causas de variabilidade dos dados podem ser diversos quando relacionados à aplicação de agrotóxicos e à produtividade da cultura de soja. Em particular, um dos principais fatores que podem interferir na qualidade da aplicação e na produtividade são os fatores ambientais, considerados como causas especiais que impactam diretamente na variabilidade do processo. Dessa forma, foi confeccionado o diagrama de causa e efeito (Figura 19)

para um maior entendimento das causas atuantes que afetam a qualidade operacional das aplicações. Quando identificadas, essas causas permitem a redução da variabilidade do processo e das causas especiais, permitindo ao agricultor tomadas de decisões mais assertivas. Esse diagrama é composto pelos “6 Ms” (meio ambiente, máquina, matéria-prima, mão de obra, medição e método). Segue abaixo o detalhamento de cada fator em relação à nossa causa (aplicação de agrotóxicos) e efeito (produtividade).

Figura 19. Diagrama de causa e efeito na aplicação de agrotóxicos para aumento da produtividade



Fonte: Autores, 2023.

Nas condições ambientais, topografia com relevo acidentado ou a desuniformidade da área afetam significativamente a aplicação terrestre, muitas vezes inviabilizando o manejo local devido ao difícil deslocamento na área. Essas condições favorecem a utilização de RPAs.

Um dos fatores que mais influenciam na aplicação é o clima, em que é necessário o monitoramento das condições climáticas de temperatura, umidade do ar e velocidade do vento estejam adequadas para a operação. Quando essas condições não são adequadas, ocorre uma baixa eficiência na aplicação, causando danos à cultura. A ve-

locidade do vento é um fator limitante significativo, pois, em velocidades elevadas, ocorre a deriva da aplicação, causando problemas ambientais e falhas na deposição dos agrotóxicos na planta.

Em relação à temperatura, a realização da aplicação em condições de alta temperatura pode resultar na evaporação de gotas e produtos, especialmente em condições de baixa umidade. A inversão térmica também representa um desafio na aplicação, ocorrendo quando há uma baixa temperatura do ar e a superfície está em alta temperatura, fazendo com que as gotas permaneçam no ar, não alcançando a superfície do alvo de controle. Quando não controladas, essas condições podem ocasionar perdas significativas na produtividade de grãos.

A qualidade da aplicação de agrotóxicos pode ser notada pela penetração das gotas de acordo com a arquitetura das plantas. Para uma aplicação mais eficiente, busca-se um maior depósito de gotas, incluindo desde o terço inferior ao superior da planta, garantindo maior proteção contra doenças e pragas. Quando não controladas, essas condições podem ocasionar perdas significativas na produtividade de grãos.

Quanto às causas especiais, podemos relacioná-las aos equipamentos utilizados nas aplicações, à escolha correta do agrotóxico e à mão de obra para a realização dessa atividade, sendo consideradas causas especiais que ocorrem durante a operação das aplicações. A falta de ajustes adequados no equipamento de aplicação, como regulação, calibração, manutenção e uso de bicos apropriados, juntamente com a escolha inadequada e uso impróprio do agrotóxico, podem favorecer uma aplicação irregular. Além disso, a falta de adequação do operador, sem os conhecimentos técnicos necessários para o manuseio correto desses produtos, resulta em maior irregularidade nos dados.

Com base nos dados de medição, foi possível analisar a qualidade da aplicação em cada tratamento, visando uma maior eficiência operacional. Utilizando o CEQ, pudemos comparar os tratamentos quanto à qualidade operacional, avaliando a ocorrência da variabilidade e identificando pontos fora de controle para aprimorar o processo por meio do monitoramento da operação, conforme analisado nas cartas de controle.

Nesse contexto, é importante destacar que, neste estudo, a aplicação terrestre apresentou uma produtividade inferior quando comparada à aplicação aérea. Observou-

se uma variabilidade decorrente de causas especiais, relacionadas à arquitetura da planta, onde a eficiência da aplicação foi superior na modalidade aérea. Isso ocorre devido à maior penetração de gotas ocasionada pela pressão gerada pelas hélices dos RPAs, proporcionando uma maior proteção e produtividade para a cultura.

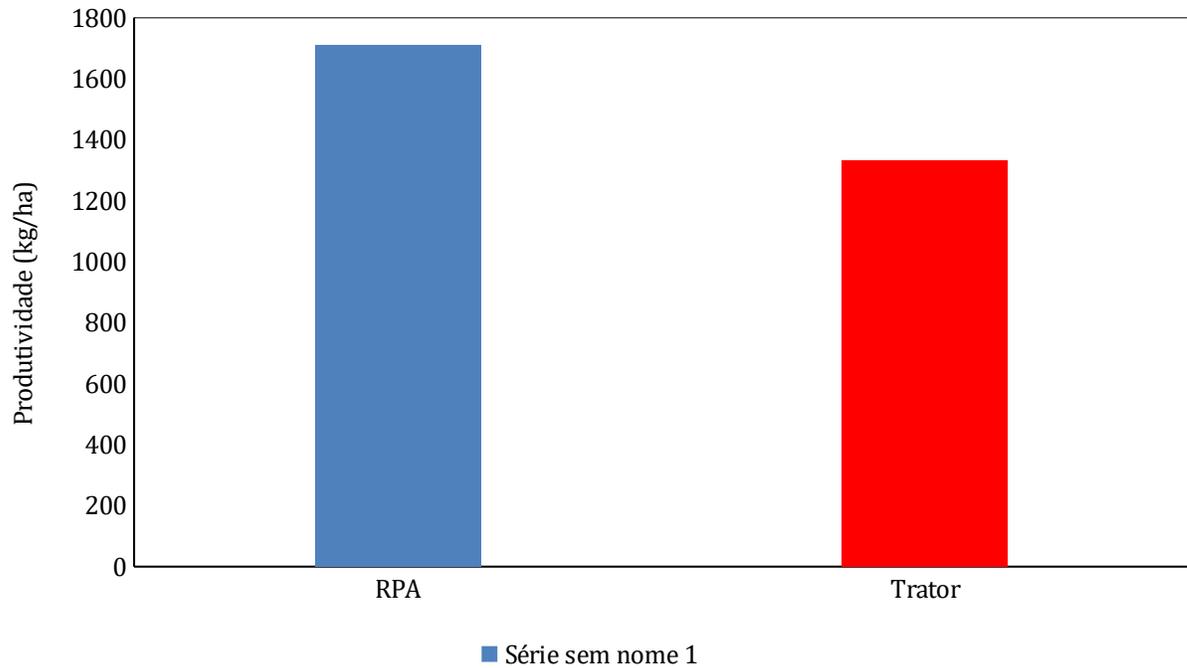
4.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS APLICAÇÕES TERRESTRE E AÉREA

Com base nos dados coletados da massa dos grãos na colheita do experimento, foi realizada análise de variância (ANOVA), revelando diferença significativa entre os tratamentos. Posteriormente, foi conduzido o teste de Tukey, no qual se observou diferenças significativas relevantes entre as aplicações. A aplicação aérea demonstrou resultados superiores de produtividade em comparação com a aplicação terrestre. Conforme ilustrado na Figura 20, a produtividade do tratamento com aplicação aérea foi 6,3 sacas por hectare maior do que a do tratamento com aplicação terrestre.

Os resultados que evidenciam o aumento da produtividade nas aplicações com o uso de RPAs podem ser explicados pelo bom desempenho dessas aeronaves assim abordado por Neto (2021), que aponta em seu trabalho que os RPA realizam aplicações pontuais nos locais desejados, proporcionando um controle eficaz de doenças, pragas e plantas daninhas. Este resultado também foi observado por Andrade (2018), que ressaltou a viabilidade da aplicação aérea no controle de plantas daninhas, mesmo quando conduzida a uma altura de 15 m acima da cultura.

8

Figura 20. Comparação entre as médias por meio do Teste de Tukey em função das aplicações com RPA e trator.



Letras diferentes entre si representa significância pelo Teste de Tukey (p -valor < 5%).

Fonte: Autores, 2023.

7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, os valores de NDVI e NDRE para a aplicação aérea apresentaram médias superiores em relação aos valores da aplicação terrestre. Valores mais elevados de NDVI e NDRE indicam uma arquitetura mais robusta da planta, um dossel mais extenso e um maior número de vagens, contribuindo para uma boa produtividade.

Conclui-se, também, conforme evidenciado no indicador altura de plantas, que é possível observar um maior desenvolvimento do dossel e uma maior uniformidade na altura das plantas no tratamento de aplicação aérea em comparação com o terrestre.

A aplicação aérea por meio dos RPAs proporcionam uma aplicação mais pontual e precisa dos produtos aplicados, garantindo uma maior proteção das culturas. Em suma, constatou-se um ganho potencial produtivo na cultura da soja com a aplicação aérea quanto ao terrestre.

8
REFERÊNCIAS

ABRAPA (Org.). **Algodão no Cerrado do Brasil**. 3a edição. Brasília: Eleusio Curvelo Freire p. 767-806, 2015.

ADEGAS, Fernando Storniolo; GAZZIERO, Dionísio Luiz Pisa. **Tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1128406/1/p.-281-292-de-SP-17-2020-online.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

AIRTRACTOR. **Um comparativo entre a aplicação aérea e a aplicação terrestre**. 2020. Disponível em: <https://airtractor.com.br/um-comparativo-entre-a-aplicacao-aerea-e-a-aplicacao-terrestre/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

ALBA, J. M. F.; ZANELLA, M. A. **Revisão e processamento de informações sobre agricultura de precisão no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado-Documents (INFOTECA-E), 2016.

ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). **Aeronaves Não Tripuladas (UAS/Drones)** Disponível em: https://www.anac.pt/vPT/Generico/drones/categoria_especifica/Paginas/CategoriaEspecific.aspx. Acesso em: 14 de out. 2023

ANDRADE, J. M. de A. et al. Avaliação de RPAs para pulverização em diferentes culturas. **Ingeniería y Región**, [S.L.], v. 20, p. 72-77, 28 dez. 2018. Universidad Surcolombiana. <http://dx.doi.org/10.25054/22161325.1912>.

BERNARDO, R.; CORNAGO JUNIOR, V. M.; DENADAI, M. S. Uso de drones para aplicações de defensivos agrícolas. In: VIII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica. 2019. Disponível em: <http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIIIJTC/VIIIJTC/paper/view/1855>. Acesso em: 14 de out. 2023

BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; MARTINS NETO, R. P. M. Drones na agricultura de precisão. **Drones e Ciência**, p. 91, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/18774/DRONES%20e%20CIENCIA.pdf?sequence=1&isAllowed#page=91>. Acesso em: 10 de out. 2023

CARNEIRO, F. M. et al. Comparison between vegetation indices for detecting spatial and temporal variabilities in soybean crop using canopy sensors. **Precision Agriculture**, v. 21, p. 979-1007, 2020.

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Panorama do agro**. 2023. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro>. Acesso em: 29 de set. 2023.

CONAB. **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 29 set. 2023.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Produção de grãos é estimada em 320,1 milhões de toneladas com ganhos de área e produtividade**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5116-producao-de-graos-e-estimada-em-320-1-milhoes-de-toneladas-com-ganhos-de-area-e-produtividade>. Acesso em: 5 nov. 2023.

CORNAGO JUNIOR, V. M. **Caracterização da capacidade operacional de pulverizadores de barras no Brasil dos anos de 2008 a 2018**. 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/192576>. Acesso em: 15 set. 2023.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2022/23)**. Londrina. Embrapa Soja, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 08 out. 2023.

EMBRAPA. **Informativo agropecuário de Rondônia, 2023**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153830/informativo-agropecuario-de-rondonia-n-11-maio2023>. Acesso em: 08 out. 2023.

FARIAS, I. K. A. de. **Aplicação do controle estatístico de qualidade na umidade da castanha em uma indústria do RN: um estudo de caso**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/9355>. Acesso em: 08 out. 2023.

FONTANA, Denise Cybis et al. NDVI e alguns fatores de variabilidade. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIX**, 2019.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. Del'Arco. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017..

FURLANETTO, R. H. **Sensores multi e hiperespectrais na identificação e quantificação da deficiência de potássio na cultura do milho (Zea mays)**. 2018. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/6458> . Acesso em: 15 out. 2023.

GANDOLFO, U. D. **Espectro de gotas e deriva na pulverização de diferentes formulações de herbicidas**. 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/154882>. Acesso em: 08 out. 2023.

INAMASU, R. Y. et al. **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa , 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/213731/1/Livro-Agricultura-de-Precisao-um-novo-olhar.pdf>. Acesso em: 08 out. 2023.

JACTO. **Pulverizadores costais: saiba como utilizar corretamente**. 2021. Disponível em: <https://blog.jacto.com.br/https-blog-jacto-com-br-pulverizadores-costais-saiba-como-utilizar-corretamente/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

JOBIM, L. dos S. et al. **Avaliação de diferentes técnicas de pulverização com base em agricultura de precisão**. 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/12994>. Acesso em: 15 nov. 2023.

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014. 45 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114264/1/CAP-8.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023

KAVA, L. T. **Épocas de semeadura de cultivares de soja com diferentes ciclos de maturação**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10699>. Acesso em: 20 nov. 2023

LIDÓRIO, H. F. et al. **Estimativa do impacto das perdas devido ao uso inadequado da tecnologia de aplicação no manejo fitossanitário da cultura da soja**. 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/23269>. Acesso em: 20 nov. 2023

MENDONÇA, E. de C.; MENDONÇA, R. P. de A.; NOGUEIRA, J. H. de S. **Aplicação aérea de defensivos agrícolas: Os impactos econômicos e sociais da extinção da pulverização aérea de defensivos agrícolas pela via legislativa**. 2018. Disponível em: <https://redir.stf.jus.br/paginadorpub/paginador.jsp?docTP=TP&docID=747634288&prclID=5497589>. Acesso em: 11 nov. 2023.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 549p., 2016.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. 2011. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/10.20.14.47/doc/INPE%208465.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2023.

OLIVEIRA, Lorryne Ferreira et al. **Sanidade de grãos de milho em função de material genético ou fungicidas foliares**. 2016a. Disponível em: <http://bdm.ufmt.br/handle/1/718>. Acesso em: 10 nov. 2023.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. Junior et al. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p.64140-64149 2020.

OLIVEIRA, Rodrigo Andrade. **Drones sobre o campo**. 2016b. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2016/01/074-077_Drones_239.pdf. Acesso em: 10 nov. 2023.

OLIVEIRA, V. C.; DALCHIAVON, F. C. Investimentos na aplicação de defensivos agrícolas na região do Médio-Norte do estado Matogrossense. **Revista de ciências agrárias**, v. 42, n. 1, p. 283-293, 2019.

PACHECO, Anna Luisa et al. **Agricultura 4.0: Um levantamento das tecnologias para o futuro da agricultura**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/4209>. Acesso em: 10 nov. 2023.

PAIVA, Diogo Zappa. **A utilização de drones na agricultura: uma revisão bibliográfica entre 2012 e 2022.** 2023. Tese (Doutorado) - Curso de Agronegócio, Fundação Getúlio Vargas, Escola de Economia de São Paulo., São Paulo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/e6f5d381-9717-4f25-99f7-2d32aafceb6f/content>. Acesso em: 10 set. 2023.

ROCHA, Henrique Martins. **Controle Estatístico de Qualidade.** Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2019. Disponível em: <https://canal.cecierj.edu.br/012020/63a9404ee3148a7b0f32cd5a04340ffc.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

RODRIGUES, Antônio Alfredo F.; ALMEIDA, Gustavo Rennó Reis; DUARTE, Thaylor Rodrigues. Tecnologias de aplicação de defensivos agrícolas na cultura do cafeeiro. **Revista Agroveterinária do Sul de Minas**, v. 1, n. 1, p. 77-90, 2019.

RODRIGUES, Danilo Morilha. **Controle de plantas daninhas e da ferrugem asiática na cultura da soja com VANT pulverizador.** 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/250144>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SAMOHYL, Robert Wayne. **Controle estatístico de qualidade.** Rio de Janeiro:Elsevier, 2009. 47

SANTI, A. L. et al. **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul.** 2016. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/526/2019/01/AP_RS.pdf. Acesso em: 08 out. 2023.

SILVA, D. D. et al. **Micotoxinas em cadeias produtivas do milho: riscos à saúde animal e humana.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1037807>. Acesso em: 08 out. 2023.

SILVA NETO, Jorge Olindo ; SASAKI, Robson Shigueaki; DE ALVARENGA, Cleyton Batista. Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para aplicação de agrotóxico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e293101220573-e293101220573, 2021.

SOARES, Luís Henrique et al. **Aplicação de diferentes estrobilurinas na cultura da soja**. 2011. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/handle/ri/13997>. Acesso em: 16 out. 2023.

TEJO, Débora Perdigão; FERNANDES, CH Dos S.; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista científica eletrônica de Agronomia da FAEF**, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2019.

TOLEDO, Anderson de et al. Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 710-719, 2008.

ZATTI, G. K. Caracterização físico-química dos solos da estação experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Santa Helena. In: **Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais. Santa Helena (PR) UTFPR Santa Helena, 2022.**