

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - *CAMPUS* MONTE CARMELO
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

ADRIANO NORONHA RIBEIRO AIRES

**USO DE IMAGENS COLETADAS POR AERONAVES REMOTAMENTE
PILOTADAS PARA FENOTIPAGEM DIGITAL DA CULTURA DE SOJA**

MONTE CARMELO

2025

ADRIANO NORONHA RIBEIRO AIRES

**USO DE IMAGENS COLETADAS POR AERONAVES REMOTAMENTE
PILOTADAS PARA FENOTIPAGEM DIGITAL DA CULTURA DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia como requisito para obtenção
do título de bacharel em Engenharia de
Agrimensura e Cartográfica.

Orientador: Profº. Dr. Rodrigo Bezerra de
Araújo Gallis.

MONTE CARMELO

2025

ADRIANO NORONHA RIBEIRO AIRES

**USO DE IMAGENS COLETADAS POR AERONAVES REMOTAMENTE
PILOTADAS PARA FENOTIPAGEM DIGITAL DA CULTURA DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia como requisito para obtenção
do título de bacharel em Engenharia de
Agrimensura e Cartográfica.

Monte Carmelo, 09/05/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis (orientador)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Me. Samuel Lacerda de Andrade
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Prof. Dra. Luziane Ribeiro Indjai
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me dado força, saúde e sabedoria ao longo dessa jornada acadêmica.

À minha família, pelo apoio incondicional, amor e paciência nos momentos mais desafiadores. Em especial, aos meus pais, Fabiano Ribeiro Aires e Júlia Aparecida Noronha Aires, que sempre acreditaram no meu potencial e me incentivaram a seguir em frente, mesmo nas fases mais difíceis. Ao meu irmão, Augusto Noronha Ribeiro Aires, pelo companheirismo, pelas palavras de incentivo e por ser uma presença constante e motivadora em minha vida.

Um agradecimento especial aos meus avós, José Márcio Noronha e Blantina Ferreira de Brito, que com muito amor, sabedoria e exemplo, foram grandes inspirações para mim ao longo dessa caminhada.

Aos colegas e amigos que estiveram ao meu lado durante a graduação, dividindo conquistas, dificuldades e aprendizados. A presença de vocês tornou essa experiência muito mais significativa.

Ao professor Dr. Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis, meu orientador, pela dedicação, disponibilidade e orientação ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi essencial para a realização deste TCC e para minha formação como futuro engenheiro.

Aos docentes, técnicos e servidores da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, em especial do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, que contribuíram com conhecimento, incentivo e suporte durante minha trajetória acadêmica.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa etapa da minha vida, deixo aqui meu sincero agradecimento.

RESUMO

O emprego de imagens aéreas para melhoramento de lavouras pode trazer muitos benefícios aos melhoristas. As técnicas para captura das imagens geralmente são rápidas, não invasivas, precisas, de baixo custo, livres de resíduos, com boa resolução espacial e temporal, permitem explorar áreas relativamente grandes, proporcionam grande número de repetições e segurança ao operador. Com a disseminação das Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), a coleta de imagens dos campos de cultivares permite o monitoramento e a coleta de informações de campos de experimentação agrícola com alta resolução espacial e alta resolução temporal. Essas aeronaves podem embarcar diversos tipos de câmaras com sensores que capturam desde o espectro eletromagnético visível até o espectro do infravermelho, possibilitando diversas análises das características vegetais. A proposta do trabalho foi utilizar imagens coletadas por aeronaves remotamente pilotadas de uma área de plantação de soja localizado no município de Patrocínio - MG e através de ferramentas computacionais de fenotipagem digital determinar vigor vegetativo das cultivares, falhas, contagens e possíveis doenças utilizando estas imagens.

PALAVRAS-CHAVE: Aeronave Remotamente Pilotada, Fenotipagem digital, Soja, Imagens Aéreas Digitais.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Obtenção de imagens de Sensoriamento Remoto.....	13
FIGURA 2: Ciclo da Agricultura de Precisão Convencional.....	17
FIGURA 3: Mapa de Localização.....	21
FIGURA 4: Phantom 4 Advanced.....	22
FIGURA 5: Fluxograma da Metodologia.	25
FIGURA 6: Exemplo da vetorização das parcelas da soja.	26
FIGURA 7: Carregando as bibliotecas a serem utilizadas no processamento.	27
FIGURA 8: Visualização da ortofoto multiespectral.	27
FIGURA 9: Importação do arquivo shapefile.	28
FIGURA 10: Extração dos índices de vegetação.	29
FIGURA 11: Ortofoto obtida com a câmera Mapir e os polígonos delimitando as parcelas de soja analisadas.....	32
FIGURA 12: Extração dos índices de vegetação, neste caso o GNDVI e seus valores com a escala, variando da cor vermelha (ruim) e verde escuro (muito boa).....	33
FIGURA 13: Áreas estudadas exemplificando a questão das falhas na soja nos polígonos onde as cores variam de vermelho a laranja e as parcelas com maior índice de cobertura foliar nos polígonos de cores verdes	34
FIGURA 14: Polígonos das áreas estudadas na ortofoto RGB. Os números mostrados indicam o teor de clorofila médio encontrados nas parcelas onde as cores em tonalidade vermelhas são as piores médias e as verdes, as maiores médias.....	34
FIGURA 15: Amostras das áreas de soja com valores dos teores médias de clorofila mostrando áreas com muita falha e áreas com dossel bem fechado.....	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Índices de vegetação disponíveis para imagens RGB do FieldImageR.....	24
TABELA 2: Tabela com os valores de Índices de vegetação extraídos para a imagem multiespectral	29

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	9
2 - OBJETIVOS.....	11
3 - JUSTIFICATIVA.....	11
4 – REFERENCIAL TEÓRICO	12
4.1 – Sensoriamento Remoto	12
4.4 – Agricultura de Precisão	16
4.5 – Cultura da Soja.....	17
4.6 – Uso de Drones na Agricultura de precisão.....	19
4.6.1 – Monitoramento de Saúde da cultura da Soja	19
4.6.2 – Mapeamento de Variabilidade do Solo	19
4.6.3–Fenotipagem por Imagem.....	20
4.6.4 – Contagem de Plantas e Estimativa de Rendimento.....	20
5 – MATERIAL E MÉTODOS	21
5.1 – Área de Estudo.....	21
5.2 – Material	22
5.3 – Métodos	23
5.3.1 – Atividades em Campo	25
5.3.2 – Processamento dos Dados.....	26
6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6.1 – Verificação dos valores dos índices de vegetação e correlação visual com as imagens coletadas pelo ARP	33
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERENCIAS	37

1 - INTRODUÇÃO

Atualmente, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) vêm se tornando uma ferramenta de extrema importância para o setor agrícola, pois têm a possibilidade de gerar informações a partir de capturas de imagens por sensores RGB ou sensores multiespectrais e através do processamento dos dados, conseguem estabelecer correlações com fatores bióticos e abióticos que ocorrem nas culturas agrícolas e, a partir dos resultados, deve-se intervir de alguma forma no manejo das culturas, no âmbito de interesse agrícola (GÓMEZ-CANDÓN et al., 2012).

Para Castaldi et al. (2016), esse equipamento tem se mostrado eficiente para investigação de safras, identificação de falhas de plantio, detecção de pragas, massa volumétrica da lavoura e através do uso de índices de vegetação pode-se realizar a detecção de manchas, pragas e áreas de baixo vigor vegetativo. A utilização das ARP's no setor agrícola cresceu nos últimos anos também por ser uma ferramenta de baixo custo, fácil manuseio, com o objetivo de monitorar áreas de experimentos cultivares com alta resolução espacial e temporal (REGER et al., 2018).

Os índices vegetativos são ferramentas fundamentais na agricultura de precisão, pois através da manipulação de equações matemáticas, utilizam-se combinações de duas ou mais bandas espectrais com a finalidade de determinar possíveis elementos que evidenciem a saúde, área foliar, altura, estresse, carência de nutrientes, falta de água ou biomassa da planta.

A fenotipagem por imagem descreve uma variável quantitativa da planta, visto que é possível perceber a sua importância no desenvolvimento de culturas e na agricultura de precisão, com o emprego dessa metodologia torna-se mais acessível a abordagem dos estudos de melhoramento genético com o aumento da rentabilidade utilizando técnicas avançadas na análise e identificação por meio das imagens (EMBRAPA, 2014).

A utilização de imagens de sensores remotos na fenotipagem já é uma realidade, visto que com as câmeras embarcadas em plataformas de baixo custo vários parâmetros podem ser estimados (PEIXOTO, 2020). Existem vários métodos e ferramentas avançadas de fenotipagem de alto desempenho que contribuem na compreensão de informações genéticas voltadas ao crescimento, desenvolvimento e particularidades de cada planta (LI, 2014).

Através da fenotipagem de alto desempenho tornou-se possível uma melhor avaliação nutricional da planta, além disso os índices espectrais viabilizaram na identificação e determinação de pigmentos, sendo uma informação importante para programas de melhoramento genético (CLEMENTE, 2021).

A cultura da soja tem grande importância mundial. Seu impacto não é apenas econômico, mas também alimentício, sendo a soja um elemento presente em diversos alimentos e produtos. A soja é uma oleaginosa, pertencente à família Fabaceae, que abrange também plantas como o feijão, a lentilha e a ervilha. A cultura desse grão é uma das mais importantes para a economia mundial, devido às suas várias possibilidades de aplicação. Na indústria alimentícia, por exemplo, ela é usada como matéria-prima na produção de massas, chocolates, óleos, margarinas e maioneses, além de diversos outros alimentos (ADAMA, 2021).

De acordo com o ranking de 2021, a soja foi o produto mais exportado pelo país, colocando o Brasil em 1º lugar no ranking mundial de produtores da leguminosa, com a venda de 85,6 milhões de toneladas para fora do país. Em levantamento sobre a safra 2020/2021, a Conab apontou que a área plantada foi composta por mais de 68 milhões de hectares. Apesar disso, o país é líder em exportações. A Conab estimou que a safra de 2020/2021 no Brasil bateu o recorde de produção de soja, atingindo o patamar de 135,4 milhões de toneladas, sendo 77 milhões de toneladas destinadas a exportações (Conab, 2021). De acordo com a Embrapa, o maior exportador de grãos foram os Estados Unidos, com 138 milhões de toneladas. O Brasil está em segundo lugar, com 122 milhões de toneladas. No entanto, nos próximos cinco anos, o Brasil deverá superar os Estados Unidos em exportação. Vale lembrar que o escoamento da safra brasileira acontece na entressafra americana, quando os preços atingem a maior cotação (Embrapa, 2020).

A proposta do trabalho foi utilizar imagens coletadas por aeronaves remotamente pilotadas de uma área de plantação de soja localizada no município de Patrocínio - MG e, através de ferramentas computacionais, determinar vigor vegetativo, falhas e possíveis doenças utilizando essas imagens.

2 – OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral monitorar uma área de cultura de soja, através de geotecnologias visando a fenotipagem digital. Em vista disso, é apresentado o seguinte objetivo específico.

- Avaliação do potencial das imagens obtidas por ARPs na obtenção do vigor vegetativo de cultivares de soja, detecção de falhas e possíveis doenças na soja;

3 - JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por soluções tecnológicas no setor agrícola tem impulsionado o desenvolvimento e a aplicação das geotecnologias, especialmente no contexto da agricultura de precisão. Entre essas ferramentas, destacam-se as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), comumente conhecidas como drones, que têm se consolidado como instrumentos eficazes para o monitoramento e a gestão de lavouras. A utilização de ARPs permite a coleta de dados geoespaciais e imagens de alta resolução, viabilizando análises detalhadas sobre o estado das culturas, contribuindo para a tomada de decisões mais rápidas, precisas e sustentáveis por parte do produtor rural.

As ARPs representam uma alternativa moderna e acessível para o levantamento de informações no campo, possibilitando o acompanhamento do desenvolvimento das culturas, a identificação precoce de estresses bióticos e abióticos, e a análise da variabilidade espacial nas áreas cultivadas. Tais dados são fundamentais para a prática da agricultura de precisão, pois favorecem o uso racional de insumos, a redução de custos operacionais e o aumento da produtividade com menor impacto ambiental (HUNT; DAUGHTRY, 2018).

No cenário brasileiro, a soja desempenha papel central na economia agropecuária, sendo uma das culturas mais relevantes tanto em termos de área plantada quanto de valor de mercado. Segundo a Fiesp e a OCB (2019), o Brasil se destaca como o maior produtor mundial de soja, com expressiva participação na produção global, o que confere à cultura grande relevância estratégica para o país. Dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020) reforçam essa importância ao apontar a soja como um dos

principais produtos da pauta de exportações, contribuindo significativamente para a geração de divisas e o equilíbrio da balança comercial brasileira.

Conforme ressaltado por Lima et al. (2019), a eficiência na detecção precoce de problemas nas lavouras de soja é essencial para garantir uma produção mais sustentável e eficiente. Nesse sentido, o uso de geotecnologias, em especial as imagens aéreas obtidas por drones, apresenta vantagens relevantes: menor custo em comparação a outras plataformas de sensoriamento, agilidade na aquisição de dados e flexibilidade para atender diferentes demandas do produtor rural.

Diante desse contexto, este trabalho se justifica pela necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a aplicação de ARPs no monitoramento agrícola, com ênfase na cultura da soja. Embora a tecnologia já esteja disponível no mercado, sua adoção ainda é limitada em diversas regiões do país, o que evidencia a importância de estudos que explorem seu potencial e contribuam para a difusão de práticas mais tecnológicas e sustentáveis no setor agrícola brasileiro.

4 – REFERENCIAL TEÓRICO

Para compreender melhor o contexto do trabalho apresentado, algumas definições teóricas do tema existente são apresentadas. Desta forma, segue as ramificações dos conceitos.

4.1 – Sensoriamento Remoto

Para Elisabete Caria de Moraes:

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos (De MORAES, 2002).

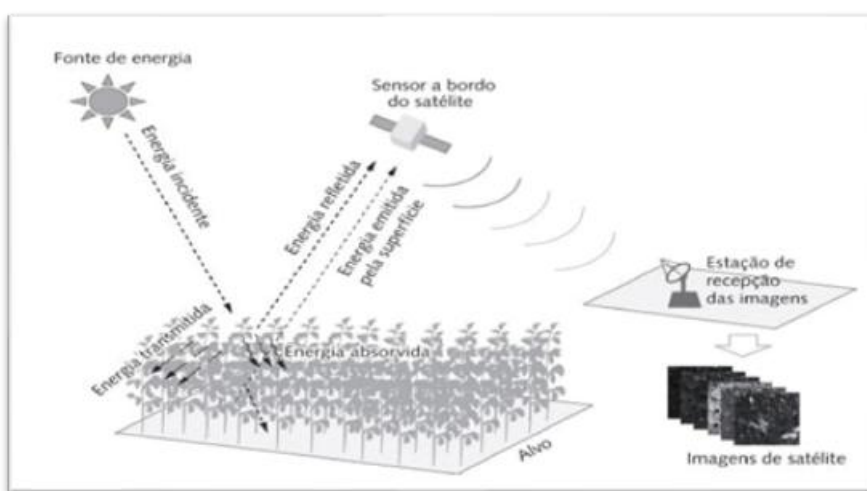
Com isso, vale destacar que as imagens obtidas por sensores possibilitam sua execução nas áreas de verificação de recursos naturais, mapeamentos temáticos, monitoramento ambientais, desmatamentos florestais, previsões de safras, entre outros. O avanço do SR ampliou-se nas últimas décadas, uma revolução na observação da Terra

em escalas globais e periódicas e a velocidade de monitoramento de fenômenos dinâmicos e mudanças nas características do solo (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O termo sensoriamento remoto (SR) refere-se ao uso de mecanismos capazes de obter imagens da superfície terrestre a grandes distâncias. Reconhece este vocábulo como uma tecnologia que permite a aquisição de informações da superfície da terra recebendo e registrando a energia refletida ou emitida por essa superfície, detectando e quantificando as respostas de radiação eletromagnética associadas à matéria da terra. SR, um vocábulo enfatizado por Evelyn L. Pruitt e colaboradores no início dos anos 1960, é uma tecnologia de coleta automática de inteligência bem-sucedida para o descobrimento e monitoramento de recursos terrestres em escalas globais (MENESES; ALMEIDA, 2012). Vale ressaltar, que a SR foi um dos aparelhos primordiais para coleta de imagens aéreas, e que é utilizada até os dias atuais com o mesmo propósito (FIGUEIREDO, 2005).

Na área da agricultura, o SR é uma ferramenta que detecta a quantidade de energia refletida pelas folhas e assim, afere qualidade da saúde das plantas, se tornando um instrumento de grande importância para o monitoramento da fitossanidade através do uso de Índices Vegetativos (IV), para verificação dos modos espectrais da vegetação, possibilitando o estudo do vigor vegetativo de diversos tipos de coberturas vegetais (MOREIRA, 2003). A figura 1 mostra uma ilustração de se obter as imagens de SR aplicadas na agricultura.

Figura 1: Obtenção de imagens de Sensoriamento Remoto.



Fonte: Adaptado de Formaggio (2017).

Segundo Figueiredo (2005), as técnicas de sensoriamento remoto, comprovam que, realizar o mapeamento de uma determinada área, contribui na sua estimativa de

biomassa, previsões de safras, zoneamento agroecológico, monitoramento de incêndios em lavouras e pastagens e áreas relacionadas a agricultura.

4.2 – Fotogrametria

Segundo Rosalen (1997) o termo Fotogrametria é a soma das três palavras gregas, no qual foto (luz) + gramma (traçado) + metron (medida) que remete em “medir por meio do traçado da luz”. Para Andrade (1998), fotogrametria é a ciência que obtém informações confiáveis por meio de um desenvolvimento de registro, interpretação e avaliação das imagens. Existem várias definições entre livros e textos referentes ao tema com um alto grau de semelhança.

Posto que, a Fotogrametria consiste em analisar fotografias, segundo Plínio Temba, (2000) para a interpretar as fotografias, primeiramente é necessário detectar, identificar e avaliar seus conceitos.

Primordialmente, a obtenção de imagens aéreas, eram feitas por câmeras acopladas em balões. Com o passar dos anos, para a utilização dessa técnica, fez necessário o uso de aviões e helicópteros, que posteriormente no momento atual, está sendo substituído por uso de satélites e ARPs, assim, potencializando o tempo e minimizando os custos (COELHO; BRITO, 2007).

Na agricultura, a técnica de fotogrametria mais utilizada é a aérea ou Aerofotogrametria. A partir de operações realizadas para a coleta de fotografias do terreno, são tomadas por uma câmara de precisão montada em uma aeronave, mantendo o seu sistema, o mais vertical possível. (FONTES, 2005). Vale ressaltar, que através da fotogrametria, é possível monitorar áreas utilizando métodos modernos de plantação. Outrossim, a fotogrametria é de extrema importância para elaboração de mapas topográficos, pois através deles, classifica os solos para determinação de área por exemplo erosões (GALVÃO, 2014).

4.3 Índices vegetativos

Existem mais de 50 índices de vegetação em uso, no qual muitos possuem informações equivalentes enquanto outros ofertam propriedades únicas (Qian et al.,

2019). Tais índices vêm sendo utilizados com intuito de detectar alterações no terreno, monitoramento agrícola, entre outros (Baeza; Paruelo, 2020; Zheng et al., 2019). De modo mais específico, os índices de vegetação podem ser definidos como formulações matemáticas desenvolvidas a partir de dados espectrais via sensores remotos, em sua grande maioria nas regiões do vermelho (R) e infravermelho próximo (IVP), com o objetivo de possibilitar a execução de avaliações e estimativas da cobertura vegetal, condição sanitária das plantas e de parâmetros biofísicos tais como área foliar, fitomassa, atividade fotossintética, porcentagem de cobertura de solo e outros (Formaggio; Sanches, 2017).

Neste trabalho na investigação da cultura da soja foram utilizados os índices mais utilizados para análise do vigor vegetativo e aplicação como base para modelos estimadores de parâmetros biofísicos. Para tanto, um dos índices mais utilizados destaca-se o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Proposto por Rouse et al. (1973), este índice utiliza imagens dos canais espectrais do R e IVP para ser calculado conforme apresenta a equação abaixo:

$$NDVI = \frac{(IVP - R)}{(IVP + R)} \quad (1)$$

O NDVI é bastante utilizado em razão da sua alta resposta a variações do vigor da vegetação. O índice teoricamente pode variar entre -1 e 1, onde valores mais próximos a 1 indicam alto vigor vegetativo, e valores mais próximos a 0 e -1 indicam vigor vegetativo baixo ou nulo (Formaggio; Sanches, 2017).

Observando o comportamento da vegetação ao longo do visível (RGB), é possível verificar que a relação existente entre as bandas da região do verde e do vermelho tem similaridade com a relação entre as bandas do infravermelho e do vermelho, ou seja, este índice é bem próximo ao NDVI (Padolfi et al., 2018).

Um índice bastante utilizado em trabalhos de agricultura trata-se do TGI (*Triangular Greenness Index*). Criado por Hunt Jr et al. (2011), este índice é altamente correlacionado com o teor relativo de clorofila presente no dossel das plantas. O índice é calculado com base em sinais de reflectância nas regiões espectrais do vermelho, verde e azul (RGB) que delimitam os vértices de um triângulo. McKinnon e Hoff (2017) posteriormente realizaram estudos com o sensor CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), sendo este o mais comum encontrado nas câmeras digitais da atualidade.

Assim, através do estudo de comprimentos de onda típicos desse sensor, normalizado pelo sinal verde, o cálculo do TGI é dado por:

$$TGI = G - 0.39 * R - 0.61 * B \quad (3)$$

Assim, G (550nm), R (670nm) e B(480nm) correspondem às reflectâncias medidas nos canais espectrais do verde, vermelho e azul respectivamente. O TGI, diferentemente do NDVI, é um índice multivalorado, isto é, não normalizado, podendo assumir valores de variação que não respeitam o intervalo de -1 a 1 (Mckinnon; Hoff, 2017). Contudo, a lógica de análise do índice se mantém a mesma, ou seja, quanto maior os valores apontados pelo índice, maior correlação com a clorofila e quanto menor os valores, menor correlação.

4.4 – Agricultura de Precisão

Para Tschiedel et al., (2002) é necessário melhorar a eficiência de todos os setores da economia globalizada para manter a competitividade. Para o cultivo não é diferente. A evolução das tecnologias de informação, geoprocessamento, sistemas de posicionamento global e muitas outras tecnologias, oferecem à agricultura uma nova forma de olhar para a propriedade não sendo mais uma, mas várias propriedades em sua totalidade, mas com características específicas. Essa mudança na agricultura converte cada vez mais o produtor rural em empresário rural por controlar cada vez mais a sua linha de produção (INAMASU et al., 2014).

No Brasil, as técnicas de Agricultura de Precisão (AP) são feitas por meio de amostras em grande escala realizada por empresas, cujo o principal objetivo é aumentar a produtividade por meio de manejo a variabilidade, associando a aplicações de insumos (fertilizantes, sementes, defensivos agrícolas, etc.) que solucionam os problemas sofridos pelas lavouras (COELHO, 2005).

Com os avanços tecnológicos nos últimos tempos, de acordo com a Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo, o maior avanço da AP foi com o surgimento do GPS (*Global Positioning System*), que revolucionou o cenário de manejo integrado, através de pesquisas no meio das informações espaciais, levando a conhecer a localidade de uma determinada área (BRASIL, 2013). Nessa perspectiva, é possível

investigar o ciclo de agricultura de precisão convencional, conforme a (Figura 2), ligado por setas cada etapa da AP estabelecida na parte superficial (MEDEIROS, 2007).

Figura 2: Ciclo da Agricultura de Precisão Convencional.



Fonte: Adaptado de Medeiros (2007).

Vale destacar também, que essas geotecnologias auxiliam o avanço da agricultura de precisão no campo aprimorando safras através do uso de imagens de satélite e também por meio de sensores em máquinas e ARPs. Essas novas ferramentas beneficiam a construção de mapas de vigor vegetativo e o mapeamento de detalhes das culturas, explorando a estimativa da produção, identificação de pragas e doenças, e ainda o cálculo de área foliar, biomassa e a quantificação de nitrogênio, clorofila, e água presentes na vegetação mapeada (GALVÃO, 2014).

4.5 – Cultura da Soja

A cultura da soja é de origem chinesa e se aportou no Brasil em 1882 na Bahia, no entanto, oficialmente, a cultura foi introduzida no país pelo Rio Grande do Sul, em

1914, na região de Santa Rosa, que tinha um clima parecido com o dos EUA, favorecendo o desenvolvimento da planta. Mas foi a partir de 1924 que os primeiros plantios voltados para o comércio foram iniciados (ADAMA, 2021).

A soja chegou ao Brasil em 1882, na Bahia, mas foi entre 1900 e 1901 que o Instituto de Agronomia em Campinas promoveu a primeira distribuição de sementes para os produtores rurais do estado de São Paulo. As cultivares para consumo humano foram trazidas apenas em 1908 por imigrantes japoneses. No entanto, oficialmente, a cultura foi introduzida no país pelo Rio Grande do Sul, em 1914, na região de Santa Rosa, que tinha um clima parecido com o dos EUA, favorecendo o desenvolvimento da planta. Mas foi a partir de 1924 que os primeiros plantios voltados para o comércio foram iniciados (ADAMA, 2021).

Atualmente já é encontrada nos mais diferentes ambientes descritos pela evolução de cultivos em áreas de Cerrado. Nos anos 80, a soja liderou a implantação de uma nova civilização no Brasil Central (principalmente nos estados de Goiás e Mato Grosso), levando o progresso e o desenvolvimento para regiões despovoadas e desvalorizadas (FREITAS, 2011).

Vale destacar, que a cultura da soja é atacada por várias pragas, que podem ocorrer durante todo o processo ao longo de seu ciclo. Para combater as pragas, utiliza-se o Manejo Integrado de Pragas (MIP), que consiste em analisar o número e o tamanho dos insetos pragas e o seu estágio de desenvolvimento da soja, para que possam tomar decisões de controle (FREITAS, 2011). Os percevejos fitófagos (*Nezara viridula*, *Piezodorus guildinii* e *Euschistus heros*) e as lagartas desfolhadoras (a lagarta da soja: *Anticarsia gemmatilis* e as lagartas falsa-medideira: principalmente a *Pseudoplusia includens*) são as principais pragas da cultura soja no Brasil. Eles se alimentam dos grãos, prejudicando a soja fisicamente, pois provoca a redução de área foliar, seu rendimento e qualidade (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000).

A soja é um dos principais produtos da cadeia do agronegócio brasileiro e tem uma importância econômica significativa para o país. Em 2023, a cadeia produtiva da soja agregou um PIB expressivo de R\$ 635,9 bilhões, representando 23,2% do PIB do agronegócio e 5,9% do PIB brasileiro (CEPEA, 2023).

4.6 – Uso de Drones na Agricultura de precisão

Atualmente, o uso de drones na agricultura, incluindo o cultivo de soja, tem sido amplamente estudado e colocado em prática as diferentes técnicas, para entendermos o assunto listamos alguns tópicos:

4.6.1 – Monitoramento de Saúde da cultura da Soja

O monitoramento da saúde da cultura de soja é essencial para identificar sinais precoces de estresse hídrico, deficiências nutricionais, presença de pragas e doenças, entre outros fatores que possam afetar o crescimento e o rendimento da safra. Atualmente, são utilizadas ARP'S com sensores de imagem multiespectral e hiperespectral, oferecendo assim, uma plataforma versátil e acessível para coletar dados de alta resolução sobre a saúde da cultura em diferentes estágios de crescimento e em áreas específicas do campo. Vale destacar que os sensores permitem a captura de informações além do espectro visível, incluindo bandas espectrais que são sensíveis a características específicas das plantas, como clorofila, conteúdo de água e pigmentos associados ao estresse. Para o processamento das imagens, é feita por meio de algoritmos de análise de imagem e aprendizado de máquina para extrair informações sobre a saúde da cultura. Isso pode incluir a detecção de áreas com baixa densidade de plantas, presença de ervas daninhas ou sinais de estresse vegetal. A partir dos dados coletados pela ARP, os produtores rurais são capazes de realizar ações certas, como modificações na irrigação, uso de fertilizantes ou defensivos agrícolas em regiões específicas da plantação, promovendo a maximização da produtividade e diminuindo a utilização excessiva de recursos (Torres-Sánchez, López-Granados, & Peña, 2018).

4.6.2 – Mapeamento de Variabilidade do Solo

Mapeamento da variabilidade do solo é compreender melhor as diferenças nas propriedades do solo dentro de um campo agrícola. Isso inclui variações na textura, estrutura, conteúdo de matéria orgânica, capacidade de retenção de água, pH, e outros atributos químicos e físicos que influenciam diretamente a produtividade das culturas (Khodaei, Shakiba, & Jafari, 2019). ARP's equipados com câmeras e sensores

especializados podem sobrevoar campos de soja e coletar dados geoespaciais detalhados. Esses dados são usados para criar mapas de alta resolução que mostram a variabilidade do solo.

4.6.3–Fenotipagem por Imagem.

A fenotipagem por imagem vem sendo presente no cenário atual devido a inovação e praticidade para a obtenção de parâmetros como: vigor vegetativo, medição de pigmentos, avaliação de crescimento de cultivares e etc. Uma das principais vantagens são as medidas indiretas que não acarretam a necessidade de tirar a cultivar do campo experimental (EMBRAPA, 2014).

Por meio da utilização de imagens para fenotipagem, a mesma permite entender o experimento de forma ágil e direta sem que haja interferência de maneira negativa na amostra, trazendo vantagens e uma maior quantidade de informação para o melhorista (EMBRAPA, 2014).

Na técnica de fenotipagem com o emprego de imagens, são realizados métodos para a obtenção de informações quantitativas ligadas ao crescimento, produtividade, estresses bióticos e abióticos nas plantas (PEIXOTO, 2020).

A utilização de veículo aéreo não tripulado na fenotipagem facilita na identificação de um mecanismo de resposta na planta quanto a relações de estresses bióticos e abióticos, rendimento, entre outros. Então, com as imagens obtidas por esse equipamento tem-se alta resolução e agilidade no voo (PEIXOTO, 2020).

4.6.4 – Contagem de Plantas e Estimativa de Rendimento

A contagem precisa de plantas e a estimativa do rendimento são cruciais para o planejamento agrícola, pois permite aos agricultores prever a produção, ajustar práticas de manejo e otimizar o uso de recursos. Vale destacar, que a contagem precisa de plantas e a estimativa de rendimento ajudam os agricultores a planejar melhor a colheita, alocando recursos adequados, como mão-de-obra e equipamentos. Outrossim, ajuda na tomada de decisões, pois as informações sobre a densidade de plantas e o rendimento esperado permitem ajustes em práticas de manejo, como fertilização e irrigação, durante a estação de crescimento. Por fim, a contagem de plantas e o rendimento, também

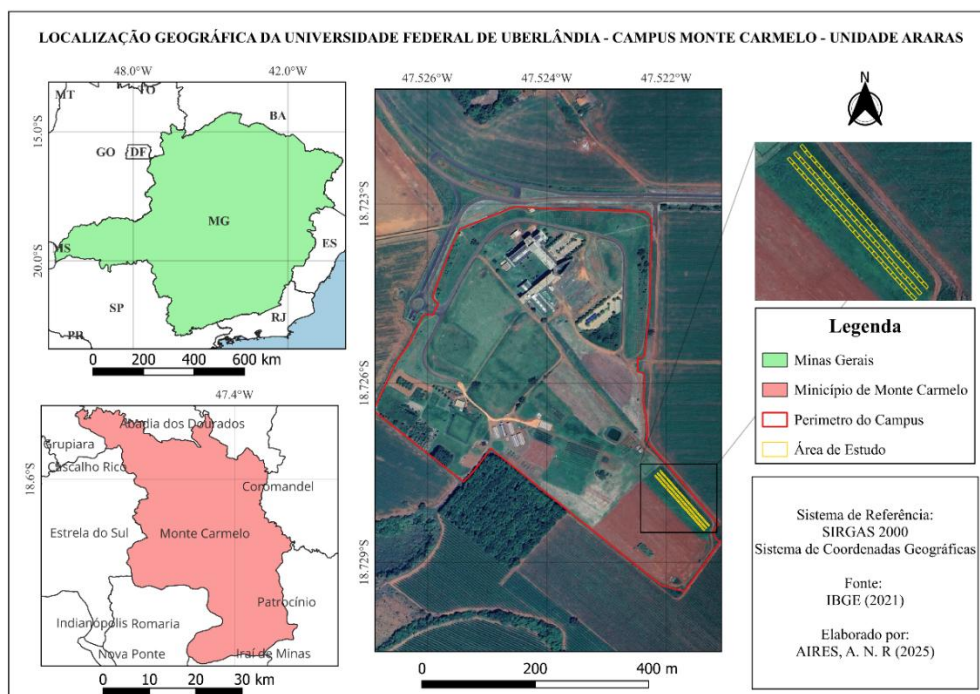
influencia diretamente na gestão de recursos, pois ajuda na gestão de estoques e na negociação de contratos de venda, melhorando a eficiência econômica da operação agrícola (GÓMEZ-CANDÓN et al., 2012).

5 – MATERIAL E MÉTODOS

5.1 – Área de Estudo

A área experimental (Figura 3) está localizada no município de Monte Carmelo, Minas Gerais, na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Correspondente a Unidade Araras, do Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia com cerca de 23,50 ha, onde está localizado as parcelas de soja estudado com o tamanho de 2693,24 m².

Figura 3: Mapa de Localização



Fonte: O Autor.

5.2 – Material

O ARP utilizado para a execução desse trabalho foi:

- ARP modelo *Phantom 4 Advanced*, com peso de 1368 gramas, autonomia de voo de aproximadamente 25 minutos e equipado com sensor RGB e GPS integrado;

Figura 4: Phantom 4 Advanced



Fonte: Laser: Laboratório de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria da UFU – MC, 2022.

❖ Hardware e softwares:

- *Notebook Dell Inspiron 14 5468*, Intel Core i3, 4GB RAM e sistema operacional de 64 bits;
- *Software DroneDeploy* para elaboração do plano de voo;
- *Software Pix4Dmapper* para o processamento fotogramétrico e geração da Ortofoto;
- *Software QGIS 3.26.3* para elaboração de vetorizações, apresentações e análises da região estudada (mapas temáticos);

- *Software R* para utilizar as funções do Package FieldImageR na análise de imagens de campo para a extração de diversos índices de vegetação da cultura da Soja.

5.3 – Métodos

A metodologia deste trabalho consistiu no planejamento do voo para recobrir a área pretendida na coleta das imagens utilizando o ARP Phantom 4 Advanced, geração da ortofoto, geração das parcelas com as cultivares da soja e extração e cálculo dos índices de vegetação utilizando o software FieldImageR.

O FieldImageR é uma coleção de algoritmos do software R para analisar imagens aéreas RGB e multiespectrais e será utilizado para extrair os diversos índices de vegetação da cultura da soja (Tabela 1)

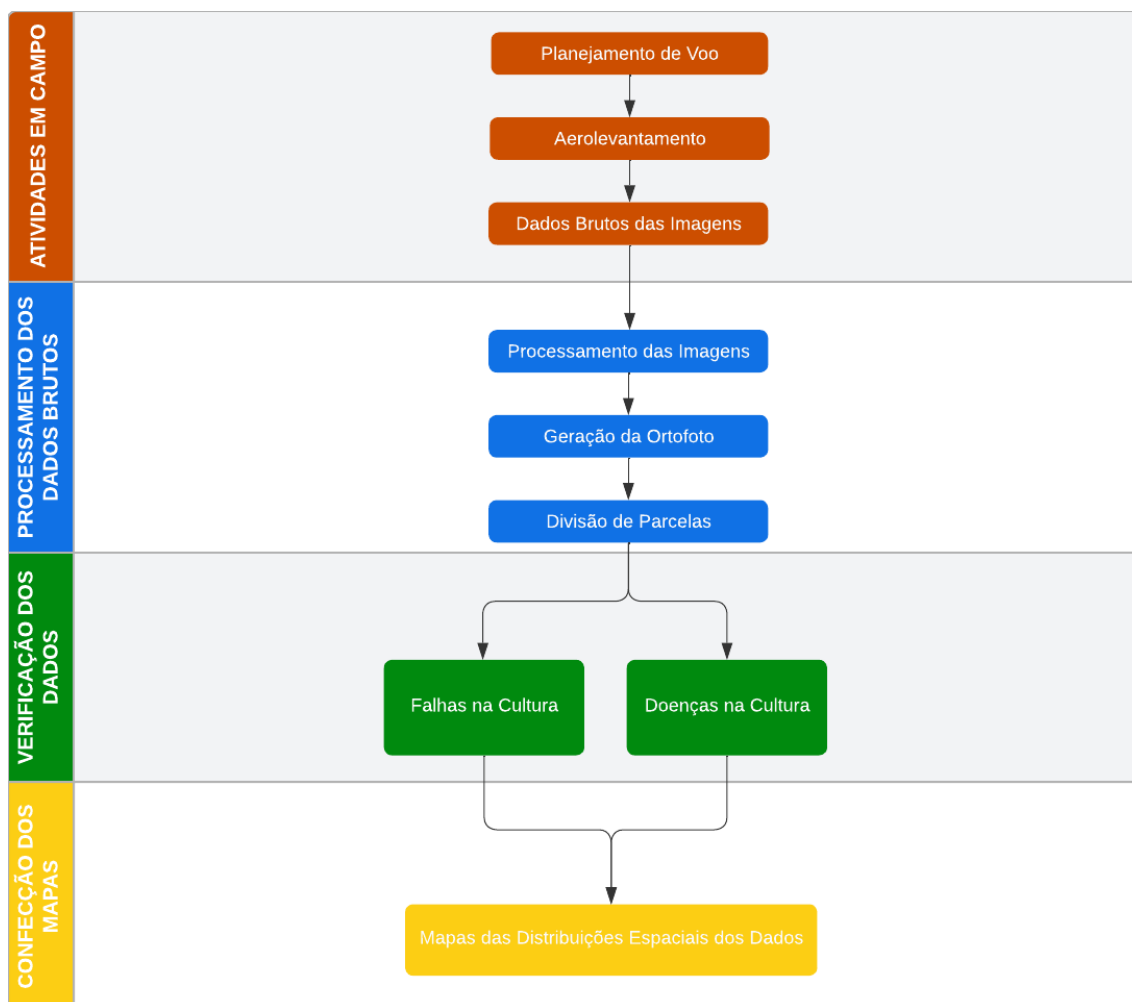
Tabela 1 – Índices de vegetação disponíveis para imagens RGB e multiespectrais do FieldImageR

Descrição	Índices ¹	Formula ²	Características relacionadas	Referencia
Blue Green Pigment Index	BGI _{rgb, M}	$\frac{B}{G}$	Clorofila e índice de área foliar	Zarco-Tejada et al. (2005)
Green Leaf Index	GLI _{rgb, M}	$\frac{(2G - R - B)}{2G + R + B}$	Clorofila	Louhaichi et al. (2001)
Normalized green-Red Difference Index	NGRD _{rgb, M}	$\frac{(G - R)}{(G + R)}$	Clorofila, biomassa, teor de água	Tucker (1979)
Visible Atmospherically Resistant Index	VARI _{rgb, M}	$\frac{(G - R)}{(G + R + B)}$	Copa, biomassa, clorofila	Gitelson et al. (2002)
Normalized Difference Red Edge Index	NDRE _{rgb, M}	$\frac{(NIR - G)}{(NIR + G)}$	Teor de clorofila	Gitelson & Merzlyak (1994)
Difference Vegetation Index	DVI _{rgb, M}	$\frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$	Nitrogênio e clorofila	Jordan (1969)
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI _{rgb, M}	$\frac{(NIR - G)}{(NIR + G)}$	Clorofila, área foliar, biomassa e rendimento	Rouse et al. (1974)
Green normalized differenc vegetation index	GNDVI _{rgb, M}	$\frac{(NIR - G)}{(NIR + G)}$	Clorofila, área foliar, nitrogênio e proteínas	Gitelson et al. (1996)
Ratio Vegetation Index	RV _M	$\frac{NIR}{R}$	Biomassa, água e nitrogênio	Pearson & Miller (1972)
Chlorophyll Vegetation Index	CVI: M	$\frac{(NIR * R)}{(G^2)}$	Clorofila	Vincini et al (2008)
Spectral Slope Saturation Index	SI _{rgb, M}	$\frac{(R - B)}{(R + B)}$	Índice de saturação	Escadafal (1994)
Soil Color Index	SCI _{rgb, M}	$\frac{(R - G)}{(R + G)}$	Cor do solo	Mathieu et al. (1998)
Primary Colors Hue Index	HI _{rgb, M}	$\frac{(2 * R - G - B)}{(G - B)}$	Índice de matriz	Escadafal (1994)
Overall Hue Index	HUE _{rgb, M}	$\frac{(2 * (R - G - B))}{(30 * (G - R))}$	Índice geral de matriz	Escadafal (1994)
Brightness Index	BI _{rgb, M}	$\frac{((R^2 + G^2 + B^2))}{(NIR)} - 1$	Cobertura vegetal	Richardson & Wiegande (1977)

¹rgb: RGB; M: multispectral ; ²

Para organização das etapas das Etapas do Trabalho segue um fluxograma elaborado pelo autor:

Figura 5: Fluxograma da Metodologia utilizada.



Fonte: O Autor

5.3.1 – Atividades em Campo

Para a execução das atividades em campo, no dia 19/12/2018 foram definidos parâmetros específicos para o planejamento dos voos necessários à realização do aerolevanteamento, com o objetivo de orientar a equipe durante a operação. Para a preparação dos voos, utilizou-se o software Drone Deploy, que possibilitou o planejamento baseado nas imagens de satélite da área de interesse. Ao todo, foi realizado um voo para cada tipo de câmera, utilizando câmeras do tipo Mapir e RGB, com altitude

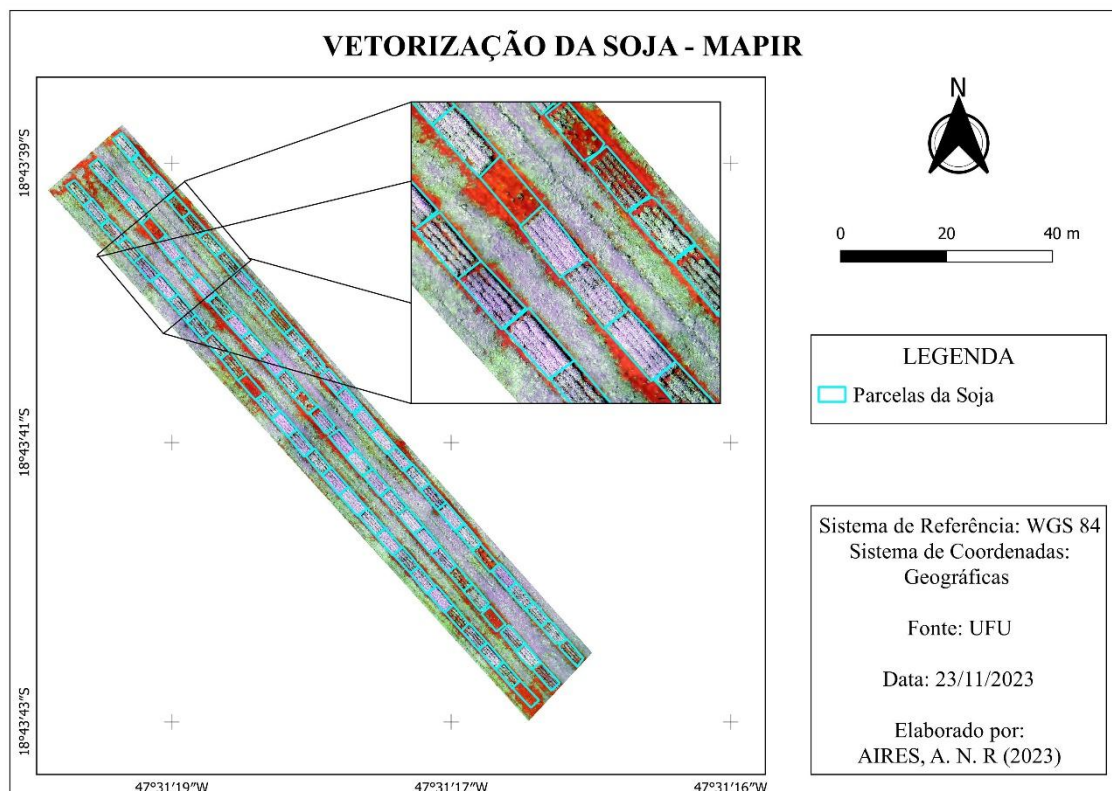
de 50 metros. As condições climáticas durante as operações foram ensolaradas, garantindo a qualidade das imagens capturadas. Após a conclusão do aerolevantamento, foram obtidas as imagens aéreas brutas para posterior processamento.

5.3.2 – Processamento dos Dados

Com as imagens obtidas, o processamento das mesmas, foram realizados pelo software Open Drone Map, que inicialmente faz um pré-processamento, onde faz a verificação de sobreposições de imagens buscando correlações entre as feições. Em seguida, junta todas as imagens correlacionadas e gera o modelo digital de superfície (MDS), modelo digital do terreno e em sequência a ortofoto.

A geração das divisões de parcelas foi realizada pelo *Software R*, utilizando as funções do Package FieldImageR na análise de imagens de campo para a extração de diversos índices de vegetação da cultura da Soja.

Figura 6: Exemplo da vetorização das parcelas da soja.



Fonte: O Autor.

Para a extração dos índices, utilizou o *Software R* integrado com as funções do Package FieldImageR. O primeiro passo, foi carregar todos os pacotes da biblioteca que para o processamento de extração dos índices.

```
#carregarpacotes
library(devtools)
library(sp)
library(raster)
library(rgdal)
library(maptools)
library(scales)
library(xml2)
library(git2r)
library(usethis)
library(fftwttools)
library(FIELDimageR)
```

Figura 7: Carregando as bibliotecas a serem utilizadas no processamento.

O segundo passo, foi digitar o caminho que se encontra a pasta da ortofoto e plotar a mesma. Vale lembrar que a ortofoto está georreferenciada no Daum de referência WGS 84 e no sistema de coordenadas geográficas (Latitude e Longitude).

```
setwd("C:\\TCC 2\\RGB\\Mosaicos TCC2\\MAPIR07012019")
head(dir())
tail(dir())
length(dir())

#1. Selecting the targeted field from the original image###
dir()
Raster<- stack("transparent_soja_mosaic_group2.tif")
plotRGB(Raster, r = 1, g = 2, b = 3)
```

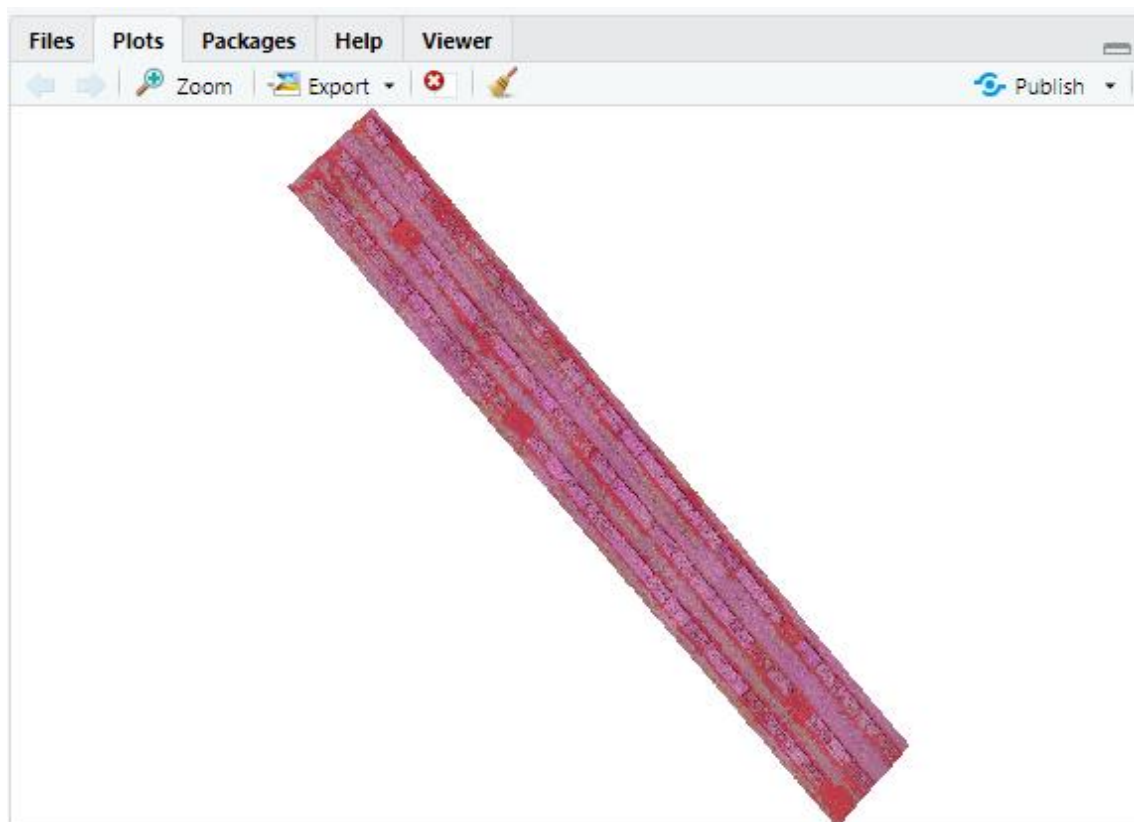


Figura 8: Visualização da ortofoto multiespectral.

O terceiro Passo é digitar o script para importar o arquivo shapefile que também se encontra georreferenciado no mesmo Datum e sistema de coordenadas da imagem.

```
#importarshapefile
dir()
plotRGB(Raster);
shape <- shapefile("Soja_zonal_statistics.shp");
plot(shape, add = T, col = "transparent");
print(shape)
```

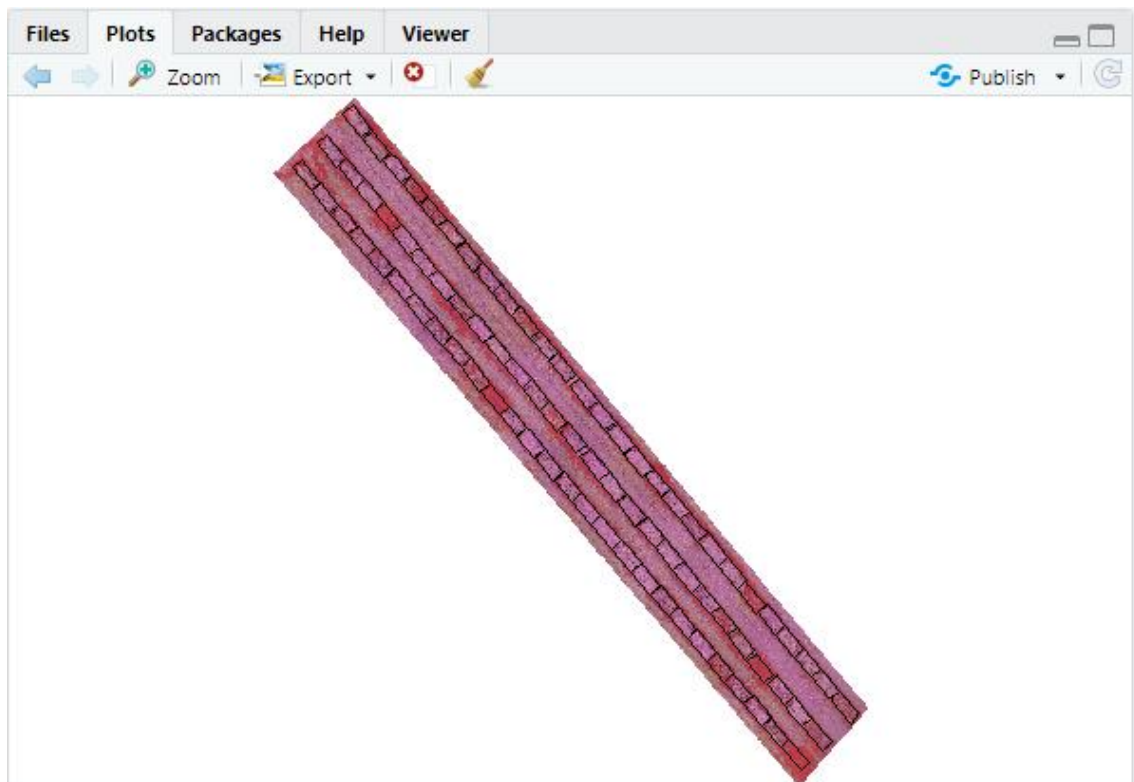


Figura 9: Importação do arquivo shapefile.

O quarto passo é realizar a extração dos índices já mostrados na Tabela 1, utilizando o FieldImageR tanto na imagem RGB quanto na imagem multiespectral conforme a figura 10.

```
#índice de vegetação
indexRGB<- fieldIndex(mosaic = Raster, NIR = 3, Green = 2, Red = 1,
                      index = c( "GNDVI", "NDVI", "RVI", "CVI", "CIG"),)

Info<- fieldInfo(mosaic = indexRGB[[c("GNDVI", "NDVI", "RVI", "CVI", "CIG")]],
                 fieldShape = shape, buffer = -0.05, n.core = 4)
```

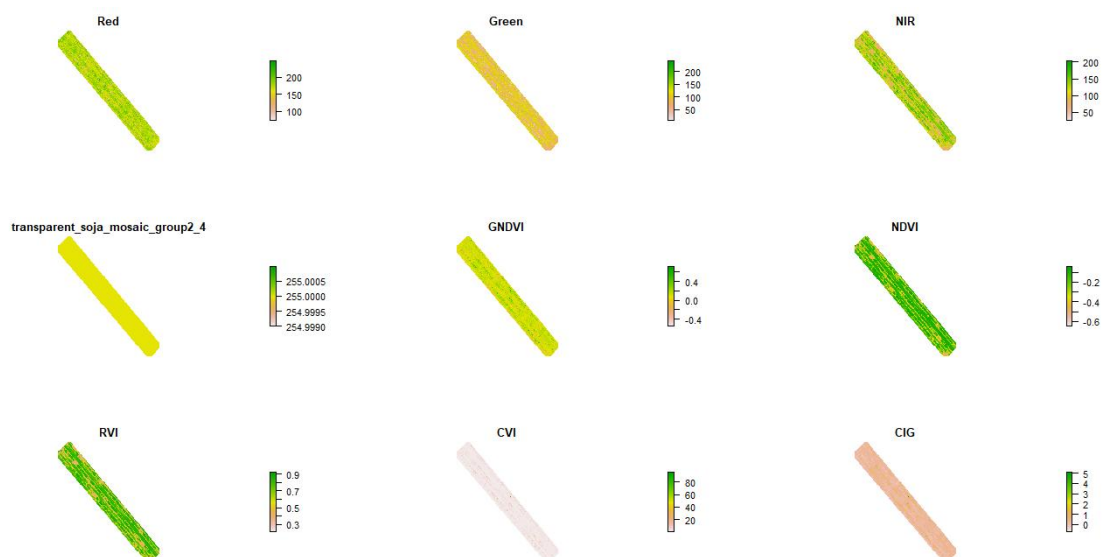


Figura 10: Extração dos índices de vegetação.

Após a extração dos valores dos índices, os mesmos são exportados para uma tabela no formato .xls para que possam ser utilizados para correlação com os parâmetros agrônômicos conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 1 – Tabela com os valores de Índices de vegetação extraídos para a imagem multiespectral

ID	GNDVI	NDVI	RVI	CVI	CIG
1	0,192922507	-0,11465229	0,799681172	3,352853601	0,531648745
2	0,176524132	-0,14798358	0,751723537	3,444239271	0,477402535
3	0,16975213	-0,1010316	0,82176138	2,725436217	0,436614481
4	0,204556309	-0,15315795	0,745283365	3,997371967	0,574014335
5	0,18088665	-0,09742454	0,827565312	2,891209118	0,480439867
6	0,11038058	-0,34116237	0,502256489	3,601696265	0,277688022
7	0,173612887	-0,12227502	0,790353441	3,448348652	0,470182399
8	0,158454774	-0,10374216	0,818447711	2,590114689	0,401559862
9	0,146996112	-0,1158227	0,798054624	2,643817477	0,375023843
10	0,13168429	-0,27284957	0,582839115	3,860813049	0,364118062
11	0,131214642	-0,39496345	0,435242431	4,125728603	0,315061693
12	0,155121661	-0,12564331	0,782652964	2,969648199	0,406046706
13	0,125272065	-0,17508094	0,716359264	2,612083273	0,306928552
14	0,206362712	-0,10535322	0,817811931	3,309347518	0,55392198
15	0,179368051	-0,11470461	0,800918561	3,069028265	0,472949373
16	0,168362149	-0,13049117	0,776077907	3,30949097	0,451072032
17	0,119301306	-0,2752474	0,580155503	3,4368128	0,31100381
18	0,225535545	-0,10647799	0,814537263	3,709713901	0,638560678
19	0,100205466	-0,42378698	0,406163322	3,816250666	0,231383396
20	0,116237342	-0,19796912	0,680583446	2,816488972	0,292863871

21	0,142561654	-0,12944119	0,778799762	2,623043984	0,358694902
22	0,163002517	-0,1439329	0,756680613	2,915247086	0,421754215
23	0,120915712	-0,22977312	0,639094773	2,872143533	0,293720593
24	0,13310036	-0,12333228	0,790327138	2,378684966	0,328285817
25	0,144748024	-0,22083293	0,6512489	3,047868462	0,360407625
26	0,16564244	-0,14472486	0,758781019	3,411689052	0,443136921
27	0,177933416	-0,18179518	0,705906418	3,645502771	0,480361996
28	0,156737389	-0,15334662	0,744898881	3,028555156	0,410325995
29	0,163283548	-0,40760431	0,421456485	4,708444817	0,399833662
30	0,108627646	-0,27055715	0,585320993	3,324838432	0,283553177
31	0,138366973	-0,18302807	0,702030879	2,980542272	0,350615794
32	0,158605779	-0,13450205	0,772451247	3,164840292	0,425516573
33	0,15986067	-0,11145281	0,804483115	2,824245667	0,421721583
34	0,170221349	-0,14553448	0,756120077	3,374200202	0,456149916
35	0,227249937	-0,08874574	0,842251821	3,466587512	0,630424269
36	0,208047408	-0,10406968	0,818438094	3,289315216	0,563855242
37	0,200541174	-0,10539921	0,815438856	3,129274649	0,536667568
38	0,232329132	-0,09831309	0,827570904	3,804985369	0,659766144
39	0,152248121	-0,11905048	0,796909178	2,519229112	0,378864784
40	0,212513654	-0,08197642	0,852323237	3,066688866	0,571073976
41	0,197562596	-0,1561107	0,748731498	3,620080452	0,533064143
42	0,18223008	-0,10552304	0,817284456	2,818665684	0,469549369
43	0,167723323	-0,12811875	0,780998416	2,8590083	0,430921388
44	0,11244992	-0,24572734	0,621632735	2,968311141	0,276994738
45	0,222826613	-0,10244079	0,823309983	3,436785936	0,608015304
46	0,18304879	-0,09519672	0,831041345	2,915034515	0,483538365
47	0,177746443	-0,10440362	0,815116348	3,291000721	0,493769003
48	0,21338338	-0,10059958	0,823740102	3,480067651	0,586161438
49	0,160341005	-0,13577862	0,769026852	3,109423549	0,428704281
50	0,168556993	-0,1229283	0,788929798	3,144391169	0,445491662
51	0,180337428	-0,08921723	0,839273595	2,788520881	0,472202904
52	0,186732594	-0,10286251	0,819252548	2,949661989	0,490252622
53	0,15060325	-0,12246943	0,791555264	2,591331232	0,380659555
54	0,181298066	-0,11158723	0,805700892	3,043624161	0,478281712
55	0,167927518	-0,12242712	0,788774228	3,025944808	0,440998157
56	0,14468084	-0,14324451	0,760203062	2,981640162	0,380521633
57	0,130771093	-0,33789163	0,506148723	4,164450347	0,33717763
58	0,106035975	-0,21851169	0,657779203	2,671731032	0,249668477
59	0,139312811	-0,14345119	0,760774717	2,769476721	0,352866336
60	0,152993676	-0,15487819	0,744319131	2,961799779	0,387970307
61	0,150046913	-0,14709825	0,755527386	2,829182176	0,378549942
62	0,118528655	-0,20552403	0,673299536	2,887023955	0,293350371
63	0,178341874	-0,11808396	0,797008113	3,28861855	0,483019261
64	0,225867033	-0,14027973	0,765135325	4,006080714	0,635938914

65	0,180610355	-0,1066312	0,815946116	2,836366767	0,469765838
66	0,164166507	-0,11713426	0,797826451	2,720956173	0,415813022
67	0,14310397	-0,19654748	0,684259202	3,188467421	0,368674681
68	0,155442987	-0,16919687	0,721996219	3,12921506	0,40378053
69	0,11878692	-0,18273092	0,70446488	2,857637758	0,301984079
70	0,156799778	-0,1793166	0,707342314	3,317865427	0,415316009
71	0,120826899	-0,41964355	0,409896225	4,147163966	0,288403023
72	0,155496069	-0,27425367	0,580902455	4,06802378	0,408493536
73	0,184395999	-0,099662	0,825254281	2,96654095	0,488189053
74	0,130733189	-0,25998716	0,601417404	3,527691532	0,341050507
75	0,156189567	-0,18052371	0,7090196	3,271435041	0,408784348
76	0,176455213	-0,16144165	0,73299499	3,412826904	0,47003672
77	0,143272079	-0,19125045	0,689493797	3,210045197	0,379377612
78	0,173534791	-0,13251294	0,774276289	3,021800897	0,44979686
79	0,206618915	-0,09829547	0,8273804	3,261938205	0,563620993
80	0,209233627	-0,10884906	0,812491369	3,477330612	0,573458881
81	0,204299866	-0,12552114	0,786199731	3,433963111	0,550793368

6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 – Verificação dos valores dos índices de vegetação e correlação visual com as imagens coletadas pelo ARP

Após a extração de diversos índices de vegetação, calculou-se os dados determinando as falhas e possíveis doenças pelo *Software R* da área estudada.



Figura 11: Ortofoto obtida com a câmera Mapir e os polígonos delimitando as parcelas de soja analisadas.

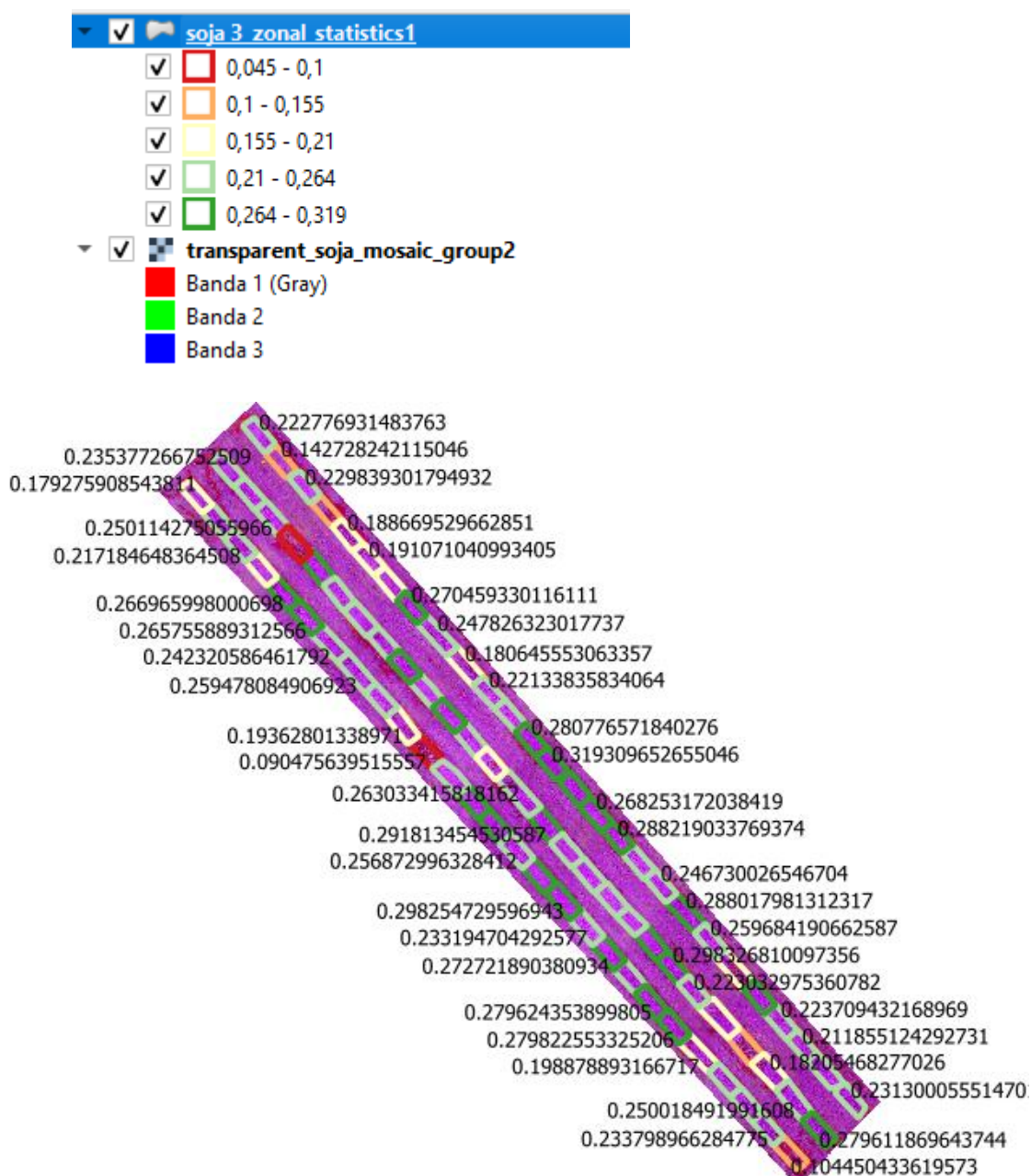


Figura 12: Extração dos índices de vegetação, neste caso o GNDVI e seus valores com a escala, variando da cor vermelha (ruim) e verde escuro (muito boa).

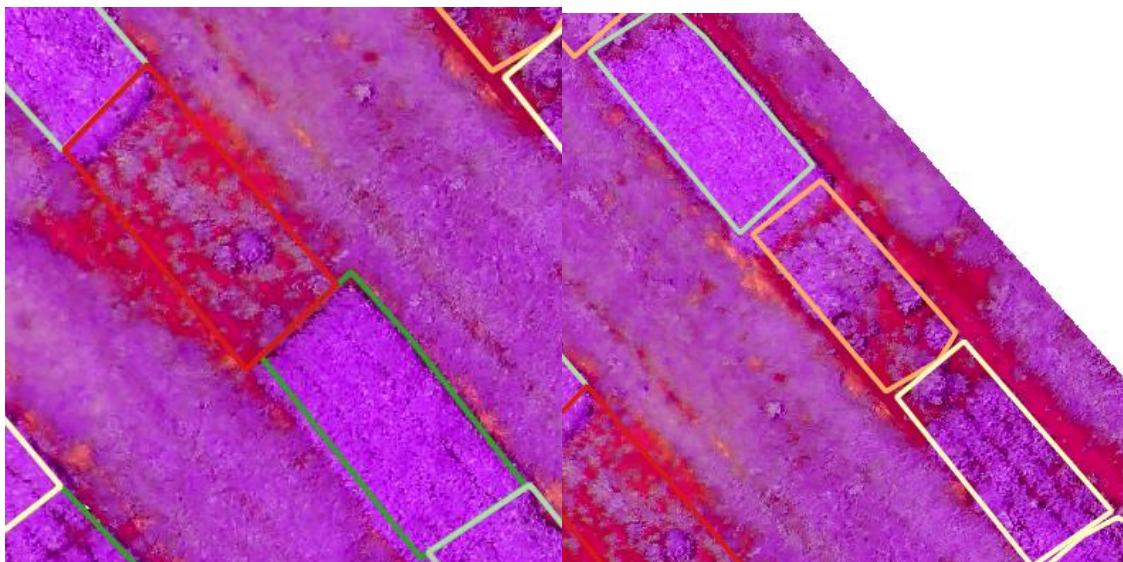


Figura 13: Áreas estudadas exemplificando a questão das falhas na soja nos polígonos onde as cores variam de vermelho a laranja e as parcelas com maior índice de cobertura foliar nos polígonos de cores verdes.

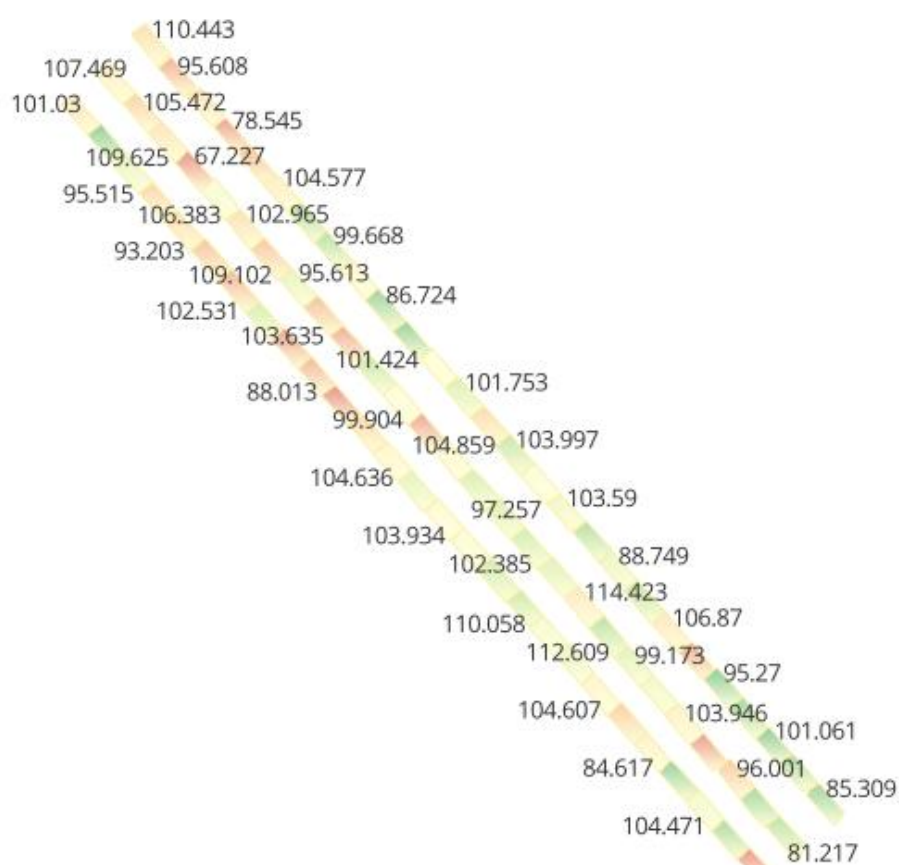


Figura 14 – Polígonos das áreas estudadas na ortofoto RGB. Os números mostrados indicam o teor de clorofila médio encontrados nas parcelas onde as cores em tonalidade vermelhas são as piores médias e as verdes, as maiores médias.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de índices de vegetação em imagens RGB e multiespectrais coletadas com ARP mostram-se uma ferramenta com potencial para ser empregada na fenotipagem de alto desempenho da cultura da soja.

É possível estudar as falhas nas lavouras, inibição de clorofila, crescimento e dessa maneira os valores dos índices vegetativos de área foliar, onde é possível monitorar o vigor da planta e a clorofila e o que possam estar afetando positivamente e negativamente estes valores.

Embora o tipo específico de fenotipagem não tenha sido definido de forma conclusiva, por falta de dados de campo para correlação com os valores obtidos através das imagens, é importante destacar que a pesquisa permitiu a coleta de dados relevantes e indicativos do potencial da técnica para futuras aplicações em melhoramento vegetal e manejo agrícola.

REFERENCIAS

ADAMA, **Guia completo sobre a cultura da soja.** Disponível em: <<https://portaladama.com/guia-cultura-da-soja/>> Acesso em: 11 jan. 2023.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria.** Curitiba, 1998. 258p.

BAEZA, S., & PARUELO, J. M. Land use/land cover change (2000–2014) in the Rio de la Plata grasslands: an analysis based on MODIS NDVI time series. **Remote sensing**, v. 12, n. 3, p. 381, 2020,

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Agricultura de Precisão.** 3. ed. Brasília: Assessoria de Comunicação Social, 2013. 36 p.

CANDÓN, David G. *et al.* **Sectioning remote imagery for characterization of Avena sterilis infestations. Part A: Weed abundance.** 2011. 322–336 p. Disponível em: https://digital.csic.es/bitstream/10261/91884/4/Sectioning_remotes_images_A_Weed_Abundance_GomezCandon.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

CASTALDI, F *et al.* **Assessing the potential of images from unmanned aerial vehicles (UAV) to support herbicide patch spraying in maize.** *Precision Agriculture*, v. 18, n. 1, p. 76-94, 25 ago 2016.

CEPEA; ABIOVE. **PIB da cadeia da soja e do biodiesel cresce 21% em 2023, mas renda real recua 5,3%.** *Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada*, 4 abr. 2024. Disponível em: . Acesso em: 10 jan. 2025.

CLEMENTE, Andressa Alves. **Teores de antocianinas, carotenoides e clorofilas em germoplasma de alface roxa e verde a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada.** Orientador: Gabriel Mascarenhas Maciel. 2021. 71 p. Dissertação (Título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2021.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. EdUERJ, 2007.

COELHO, Antônio. **Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. 2005. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/18887/1/Doc_46.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

DA SILVA, Matheus; ELIAS, Adão; DO ROSÁRIO, Letícia. **Análise da cultura da soja a partir de índices de vegetação (ExG – GLI – TGI – VEG) advindos de imagens RGB obtidas com ARP**, v. 10, n. 2, p. 140-154, 2022.

DE MORAES, Elisabete Caria. **Capítulo 1 fundamentos de sensoriamento remoto**. 2002.

DJI. **PHANTOM 4 ADVANCED Especificações**. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4-adv>. Acesso em: 11 jan. 2023.

E. Raymond Hunt Jr. & Craig S. T. Daughtry (2018) **What good are unmanned aircraft systems for agricultural remote sensing and precision agriculture?**, International Journal of Remote Sensing, 39:15-16, 5345-5376, DOI:

EMBRAPA. **Fenotipagem de plantas: As novas técnicas que estão surgindo para atender os desafios atuais e futuros**. Pub. Dez 2014. Disponível em: . Acesso em: 29 maio. 2024.

Fiesp & OCB. (2019). **O Agro brasileiro: Desafios e Oportunidades**. Retrieved from <http://www.fiesp.com.br/agro/>

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo, 2005.

FONTES, L. C. A. A. **Fundamentos de aerofotogrametria aplicada à topografia**. Universidade Federal da Bahia–Técnicas de Geomensura, 2005.

FORMAGGIO, Antonio Roberto; SANCHES, Ieda Del'Arco. **Sensoriamento remoto em agricultura**. Oficina de Textos, 2017.

FREITAS, Márcio. **A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola**. Enciclopédia Biosfera, v. 7, n. 12, 2011.

GALVÃO, M. G. **Acurácia da Mosaicagem Gerada por Veículo Aéreo não Tripulado Utilizado na Agricultura de Precisão**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, São Paulo. 2014.

GUARALDO, Maria Clara. **O agro brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas, diz estudo da Embrapa**. Embrapa. Disponível em: Acesso em: 11 jan. 2023.

HOFFMANN-CAMPO, C.B.; et al. **Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado**. Circular Técnica EMBRAPA-CNPSO, n.30, p.1-70, 2000

INAMASU, Ricardo Y.; BERNARDI, AC de C. **Agricultura de precisão**. 2014.

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. Embrapa Instrumentação. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1003485/uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-vant-em-agricultura-de-precisao>>. Acesso em: 28 dez. 2022.

KHODAEI, B.; SHAKIBA, A.; JAFARI, A. Assessment of soil properties using high-resolution multispectral imagery acquired with an unmanned aerial vehicle (UAV). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 14, p. 82–93, 2019.

Li, L., Zhang, Q., & Huang, D. (2014). **A review of imaging techniques for plant phenotyping**. *Sensors*, 14(11), 20078-20111.

Lima, R. N., Lima, E. F., da Silva, J. F., Silva, R. P., & Alves, M. C. (2019). **Monitoramento e controle de pragas em lavouras de soja por meio de veículos aéreos não tripulados**. Research, Society and Development, 8(10), e2078102494.

MEDEIROS, Fabricio Ardaís. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). (2020). **Balança Comercial do Agronegócio**. Retrieved from <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/balanca-comercial-e-precos/balanca-comercial-do-agronegocio>

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2 ed. Viçosa – MG: UFV, 2003.

PEIXOTO, Joicy Vitória Miranda. **Fenotipagem por imagem, estimativas de parâmetros genéticos e índices de seleção em alface biofortificada**. Orientador: Gabriel Mascarenhas Maciel. 2020. 103 p. Tese (Título de Doutora pelo Programa de Pós-graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

Portal Adama. **Guia completo sobre a cultura da soja**. 2021. Disponível em: <https://portaladama.com/guia-cultura-da-soja/>. Acesso em: 11 jan. 2023.

Reger, M., Bauerdick, J., & Bernhardt, H. (2018). **Drones in Agriculture: Current and future legal status in Germany, the EU, the USA and Japan**. LANDTECHNIK, 73(3), 62–79.

ROSALEN, D. L. **Estudo do processo de captação de imagens aplicado à fotogrametria digital**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da fotogrametria**. Belo Horizonte: UFMG, p. 22-31, 2000.

TORRES-SÁNCHEZ, J.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; PEÑA, J. M. An assessment of the accuracy and reliability of UAV block triangulation for agricultural surveys. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 136, p. 119–132, 2018.

TSCHIEDEL, Mauro; FERREIRA, Mauro Fernando. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, v. 32, p. 159-163, 2002.

ZHENG, G., BAO, A., LI, X., JIANG, L., CHANG, C., CHEN, T., GAO, Z. The potential of multispectral vegetation indices feature space for quantitatively estimating the photosynthetic, non-photosynthetic vegetation and bare soil fractions in Northern China. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 85, n. 1, p. 65-76, 2019,