

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**EVELIN GUTOSKI DE VARGAS**

**COMPARAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR  
IMAGENS AÉREAS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO  
(VANT) CORRELACIONADOS COM COMPONENTES DE  
RENDIMENTO DA CULTURA DO FEIJÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2021**

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**EVELIN GUTOSKI DE VARGAS**

**COMPARAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR  
IMAGENS AÉREAS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO  
(VANT) CORRELACIONADOS COM COMPONENTES DE  
RENDIMENTO DA CULTURA DO FEIJÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2021**

EVELIN GUTOSKI DE VARGAS

**COMPARAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO OBTIDOS POR  
IMAGENS AÉREAS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO  
(VANT) CORRELACIONADOS COM COMPONENTES DE  
RENDIMENTO DA CULTURA DO FEIJÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. M.Sc. Douglas Stefanello Facco

Coorientador: Prof. M.Sc. Henrique Dos Santos Felipetto

PATO BRANCO

2021

Vargas, Evelin Gutoski de. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) correlacionados com componentes de rendimento da cultura do feijão / Evelin Gutoski de Vargas

Pato Branco. UTFPR, 2021  
61 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Douglas Stefanello Facco

Coorientador: Henrique Dos Santos Felipetto

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. Pato Branco, 2021.

Bibliografia: f. 54 – 59

1. Agronomia. 2. *Phaseolus vulgaris*. 3. Sensoriamento remoto. I. Facco, Douglas Stefanello II, Felipetto, Henrique dos Santos, coorient. II. Haach, Renan, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. IV. Título.

CDD: 630



## TERMO DE APROVAÇÃO

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

#### **Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) correlacionados com componentes de rendimento da cultura do feijão**

Por

Evelin Gutoski de Vargas

Monografia defendida em sessão pública às 14 horas do dia 11 de agosto de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco. A candidata foi arguido/a pela Banca Examinadora composta pelos Membros abaixo-assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o Trabalho de Conclusão de Curso, em sua forma final, pela Coordenação do Curso de Agronomia foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof.<sup>a</sup> M.Sc. Heloisa da Silva Victorino – UTFPR *Campus* Pato Branco

Prof. M.Sc. Henrique dos Santos Felipetto – PGEAGRI – Doutorando – Coorientador

Prof. M.Sc. Douglas Steanello Facco – UTFPR *Campus* Pato Branco – Orientador

A “Ata de Defesa” e o decorrente “Termo de Aprovação” encontram-se assinados e devidamente depositados no SEI-UTFPR da Coordenação do Curso de Agronomia da UTFPR *Campus* Pato Branco, após a entrega da versão corrigida do trabalho, conforme Norma aprovada pelo Colegiado de Curso.

Dedico este trabalho a Deus e a minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

Aos meus pais, Eva De Souza Gutoski e Geremias Elzo de Vargas, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam, me apoiaram, e que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Especialmente ao meu irmão, Welyton Gutoski de Vargas, que me acompanhou e fez meus dias e avaliações deste trabalho menos árduo e mais divertido, além dos aprendizados que sempre compartilhou comigo.

A minha madrinha, Suelen Silva e sua família que sempre me apoiaram incondicionalmente.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período em que me dediquei a este trabalho e me acompanharam durante o processo de avaliações a campo, especialmente a Suelen Gilioli.

A minha prima, Nathallye de Faveri, pelo apoio e conselhos durante momentos difíceis, que fizeram total diferença na maneira de enfrentar as dificuldades.

Aos professores, pelas correções, ensinamentos e pela paciência que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Ao Edelman Polese que disponibilizou sua área e seu tempo a fim de colaborar com este trabalho.

Ao Renan Haach que sempre me ajudou na compreensão do manejo da lavoura e se colocou a disposição.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”

Josué 1:9.

## RESUMO

VARGAS, Evelin Gutoski. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) correlacionados com componentes de rendimento da cultura do feijão. 61 f. TCC (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

Objetivou-se realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão através de VANT (Veículo aéreo não tripulado), a fim de correlacionar os aspectos de produção com índices espectrais descritos na literatura. Para tal, realizaram-se quatro voos utilizando-se um drone modelo DJI Phantom 4 PRO, em uma lavoura comercial de feijão carioca cultivar ANFc 5, no município de Coronel Vivida – PR. O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado com 30 repetições. A cultura foi conduzida de acordo com o manejo adotado pelo produtor e quanto esta encontrava-se nos estádios fenológicos de V2, R6, R8 e R9, realizaram-se os voos que foram planejados através do aplicativo Maply Mission Planner, com auxílio de um tablet. Em seguida, os dados obtidos foram processados através dos softwares Agisoft Photoscan Professional e QGIS Las Palmas, onde delimitou-se cada parcela como zonas de trabalho, para assim no último aplicativo, criar estatísticas referentes às bandas do visível R, G e B. Os valores gerados foram exportados para o LibreOffice Calc, onde procedeu-se o cálculo dos índices de vegetação: NGRDI, RI, EXG, EXR, EXGR, CIVE, COM, VEG. Após a dessecação da cultura, quando esta apresentava aproximadamente 15% de umidade dos grãos, realizou-se a contagem e coleta de 3 m<sup>2</sup> de área útil de cada parcela, para determinação das variáveis: NP – número de plantas por parcela, PM – plantas por metro, VP – vagens por planta, GV – grãos por vagem, PMS – peso de mil sementes e PROD – produtividade. Concluído estes processos, através do software Genes (CRUZ, 2013), gerou-se a análise estatística, por meio da ANOVA (p<0,05) e do teste de correlação de Pearson. Concluiu-se que no estádio fenológico de R2, o voo com VANT não foi capaz de resultar em índices correlacionados com os componentes de produtividade do feijão. A determinação do VP e GV de plantas de feijão da cultivar ANFc 5, pode ser realizada através de voos com VANT, nos estádios fenológicos de R6, R8 e R9. No estádio fenológico de R6, o VP correlaciona-se com NGRDI, EXG, CIVE e COM e o GV correlaciona-se com NGRDI, EXG, CIVE, VEG e COM. No estádio fenológico de R8, o VP correlaciona-se com EXG, EXGR, CIVE e COM e o GV, correlaciona-se com VEG. No estádio fenológico de R9, o VP correlaciona-se com EXGR e CIVE, enquanto o GV, correlaciona-se com todos os índices espectrais avaliados neste experimento. Outrossim, as variáveis NP, PM, PMS e PROD não apresentaram correlação com nenhum índice matemático avaliado em nenhum dos estádios fenológicos estudados.

**Palavras-chave:** Índices espectrais. *Phaseolus vulgaris*. Sensoriamento remoto.

## ABSTRACT

VARGAS, Evelin Gutoski. Comparison between vegetation indices obtained by aerial images with unmanned aerial vehicle (UAV) correlated with yield components of the bean crop. 61 f. TCC (Course of Agronomy) - Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

The objective was to monitor a bean crop using UAV (Unmanned Aerial Vehicle) in order to correlate production aspects with spectral indices described in the literature. To this end, four flights were carried out using a DJI Phantom 4 PRO model drone, in a commercial plantation of carioca bean cultivar ANFc 5, in the municipality of Coronel Vivida – PR. The experiment was carried out in a completely randomized design with 30 replications. The culture was conducted in accordance with the management adopted by the producer and when it was in the phenological stages of V2, R6, R8 and R9, flights were carried out that were planned through the Maply Mission Planner application, with the aid of a tablet. Then, the data obtained were processed using the software Agisoft Photoscan Professional and QGIS Las Palmas, where each parcel was delimited as work zones, in order to create statistics regarding the visible R, G and B bands in the last application. The generated values were exported to LibreOffice Calc, where the vegetation indices were calculated: NGRDI, RI, EXG, EXR, EXGR, CIVE, COM, VEG. After crop desiccation, when it had approximately 15% grain moisture, 3 m<sup>2</sup> of useful area of each plot was counted and collected to determine the variables: NP - number of plants per plot, PM - plants per meter, VP – pods per plant, GV – grains per pod, PMS – weight of a thousand seeds and PROD – productivity. Once these processes were completed, through the Genes software (CRUZ, 2013), the statistical analysis was generated through ANOVA ( $p < 0.05$ ) and the Pearson correlation test. It was concluded that in the phenological stage of R2, the flying with UAV is not able to result in indexes correlated with the components of productivity of the bean. The determination of the VP and GV of bean plants of the cultivar ANFc 5 can be carried out through flights with UAV, in the phenological stages of R6, R8 and R9. In the phenological stage of R6, PV is correlated with NGRDI, EXG, CIVE and COM and GV is correlated with NGRDI, EXG, CIVE, VEG and COM. In the phenological stage of R8, PV is correlated with EXG, EXGR, CIVE and COM and GV is correlated with VEG. In the phenological stage of R9, VP is correlated with EXGR and CIVE, while GV is correlated with all mathematical indices evaluated in this experiment. Furthermore, the variables NP, PM, PMS and PROD did not show correlation with any mathematical index evaluated in any of the studied phenological stages.

**Keywords:** Spectral Indices. Phaseolus vulgaris. Remote sensing.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Estádios de desenvolvimento da planta de feijoeiro.....	19
Figura 02 – Estatísticas da produção de feijão paranaense comparada a estimativa nacional.....	21
Figura 03 – Requerimento de água diário e total do feijoeiro, durante o ciclo de 92 dias.....	22
Figura 04 – Níveis de coleta de dados orbital e suborbital em sensoriamento remoto.....	26
Figura 05 – Localização do município de Coronel Vivida-PR.....	33
Figura 06 – Lavoura de feijão com área afetada pelas aplicações na lavoura de milho vizinha.....	35
Figura 07 – Esquema demonstrativo dos principais componentes da VANT DJI Phantom 4 pro.....	37
Figura 08 – Planejamento de voo.....	38
Figura 09 – Mapa de Localização de unidades experimentais.....	40
Figura 10 – Mapa de situação da lavoura de feijão no momento do primeiro voo, ocorrido no estádio fenológico V2.....	42
Figura 11 – Mapa de Produtividade obtida através de avaliações nas unidades experimentais.....	45
Figura 12 – Mapa de situação da lavoura de feijão no momento do segundo voo, ocorrido no estádio fenológico R6.....	46
Figura 13 – Mapa de situação da lavoura de feijão no momento do terceiro voo, ocorrido no estádio fenológico R8.....	48
Figura 14 – Mapa de situação da lavoura de feijão no momento do quarto voo, ocorrido no estádio fenológico R9.....	50

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 01 – Ciclo Fenológico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)..... 19
- Tabela 02 – Sistema de sucessão de culturas entre 2018 e 2020 . UTFPR, Pato Branco – PR, 2020.  
..... 34
- Tabela 03 – Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis Índices espectrais NGRDI, RI, EXG, EXR), EXGR, CIVE, VEG, COM, número de plantas (NP), plantas por metro (PM), vagens por planta (VP), grãos por vagem (GV), peso de mil sementes (PMS) e produtividade (PROD) obtidas em estágio fenológico de V2, de um experimento realizado em Coronel Vivida – PR, visando realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão da cultivar ANFc 5, afim de avaliar aspectos de produção através de VANT (Veículo aéreo não tripulado) e correlacioná-los com índices espectrais descritos na literatura. Pato Branco, 2021..... 43
- Tabela 04 – Número de plantas (NP), plantas por metro (PM, em 3 metros de área útil), vagens por planta (VP), grãos por vagem (GV), peso de mil sementes (PMS, em g) e produtividade (PROD, em kg ha-1) obtidas em estágio fenológico de V2, de um experimento realizado em Coronel Vivida – PR, visando realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão da cultivar ANFc 5, a fim de avaliar aspectos de produção através de VANT ( Veículo aéreo não tripulado ) e correlacioná-los com índices espectrais descritos na literatura. Pato Branco, 2021..... 44
- Tabela 05 – Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis Índices espectrais NGRDI, RI, EXG, EXR), EXGR, CIVE, VEG, COM e componentes de rendimento NP, PM, VP, GV, PMS e PROD obtidas em estágio fenológico de R6, de um experimento realizado em Coronel Vivida – PR, visando realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão da cultivar ANFc 5, afim de avaliar aspectos de produção através de VANT (Veículo aéreo não tripulado) e correlacioná-los com índices espectrais descritos na literatura. Pato Branco, 2021..... 47
- Tabela 06 – Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis Índices espectrais NGRDI, RI, EXG, EXR), EXGR, CIVE, VEG, COM e componentes de rendimento NP, PM, VP, GV, PMS e PROD obtidas em estágio fenológico de R8, de um experimento realizado em Coronel Vivida – PR, visando realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão da cultivar ANFc 5, afim de avaliar aspectos de produção através de VANT (Veículo aéreo não tripulado) e correlacioná-los com índices espectrais descritos na literatura. Pato Branco, 2021..... 49
- Tabela 07 – Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis Índices espectrais NGRDI, RI, EXG, EXR), EXGR, CIVE, VEG, COM e componentes de rendimento NP, PM, VP, GV, PMS e PROD obtidas em estágio fenológico de R9 (pré-colheita), de um experimento realizado em Coronel Vivida – PR, visando realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão da cultivar ANFc 5, afim de avaliar aspectos de produção através de VANT (Veículo aéreo não tripulado) e correlaciona-los com índices espectrais descritos na literatura. Pato Branco, 2021..... 51

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CONAB	Companhia Nacional do Abastecimento
EPAGRI	Empresa de Precisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
VANT	Veículos aéreo não tripulado
IAF	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ILP	Integração Lavoura Pecuária
pH	Potencial Hidrogenionico
CBAP	Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
AP	Agricultura de Precisão
SR	Sensoriamento Remoto
EUA	Estados Unidos da América
PR	Paraná
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
TSI	Tratamento de Sementes Industrial

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1 GERAL.....	17
2.2 ESPECÍFICOS.....	17
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
3.1 MANEJO DE LAVOURA.....	18
3.2 CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA E FENOLOGIA.....	18
3.3 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA.....	20
3.4 EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS.....	22
3.5 ENTRAVES DA PRODUÇÃO DE FEIJÃO E ACOMPANHAMENTO DE SAFRAS .....	23
3.6 AGRICULTURA DE PRECISÃO E SENSORIAMENTO REMOTO.....	23
3.7 SENSORIAMENTO SUB-ORBITAL.....	25
3.8 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT).....	27
3.9 ÍNDICES espectrais DE VEGETAÇÃO.....	28
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	32
4.2 HISTÓRICO DA ÁREA.....	33
4.3 TRATOS CULTURAIS.....	34
4.4 voo COM VANT.....	36
4.4.1 Planejamento de voo.....	37
4.4.2 Execução dos voos.....	38
4.4.3 Processamento dos dados.....	39
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das leguminosas mais importantes na alimentação humana para o consumo direto, com mais de 23 milhões de hectares cultivados e mais de 40 mil variedades em todo o mundo, porém, apenas pequena parte é comestível (SOUZA, 2013).

No que se refere à produção mundial deste grão, sabe-se que mais da metade (61%) de toda a produção do planeta é originária de apenas seis países, sendo eles Índia, Myanmar, Brasil, Estados Unidos, China e México, o que na safra agrícola de 2019 representou 19 milhões de toneladas. Ressalta-se ainda, que a produção de feijão destes países destina-se basicamente ao consumo interno, o que faz com que a maior parte destes necessitem importar o grão de outras regiões, como é o caso do Brasil, que adquire no mercado externo cerca de 150 mil toneladas anualmente, que são oriundas principalmente da Argentina (CONAB, 2018).

O consumo de feijão pela população mundial é afetado principalmente pelo nível de desenvolvimento social e pelo poder aquisitivo, uma vez que quanto maior a renda per capita, maior é a preferência por proteína de origem animal. Outrossim, o feijão é intrínseco à cultura de algumas nacionalidades, o que faz com que países como a Alemanha, que não costumam consumir este alimento, não produzem o mesmo (CONAB, 2018).

No Brasil, contrariando o citado e de acordo com Chiorato (2004), o feijão é considerado como uma das principais fontes de proteína vegetal utilizadas na alimentação da população, visto que o custo-benefício desta leguminosa se encaixa na renda familiar desde as classes mais baixas até as mais altas. Tal informação justifica o fato de que os estados do Paraná, Minas Gerais, Bahia, Santa Catarina e São Paulo são os maiores produtores desse grão no Brasil, realizando até três colheitas anuais em um sistema quase contínuo de cultivo e que leva em consideração o zoneamento ecológico das regiões e épocas de semeadura (feijoeiro das águas, da seca e de inverno). Dessa forma, tem-se o feijão de primeira safra semeado entre agosto e dezembro, o de segunda safra entre janeiro e abril e o de terceira safra, de maio a julho.

A partir disso, sabe-se que a maior parte do feijão produzido no Brasil é oriunda da agricultura familiar que totaliza cerca de 60% da produção nacional, apesar deste setor ser considerado pouco especializado e tradicional. A baixa taxa de cultivo observada por parte dos grandes produtores se deve ao fato de que estes, optam por produzir a leguminosa como uma aposta de curto prazo (os três meses entre o plantio e a colheita) em meio a suas atividades principais, visando o acréscimo de renda, quando os preços estão em patamares elevados. Assim, o cultivo de feijão por parte destes agricultores, ocorre somente quando a cotação da cultura encontra-se com elevados valores, uma vez que por ser uma espécie muito sensível a estresses ambientais e de manejo, as chances de perdas são muito grandes (EPAGRI, 2012).

A agricultura brasileira tem passado por grandes mudanças tecnológicas, que apresentam reflexos na cadeia produtiva de várias culturas, principalmente daquelas que necessitam do uso de grande quantidade de insumos, como fertilizantes e defensivos agrícolas. Como consequência, notou-se o aumento anual do custo de produção, o que obriga os produtores a buscar novas opções para seus arranjos produtivos. O feijão-comum e o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) tem sido citados como duas opções interessantes. Segundo Wander (2007), nos últimos 20 anos a cultura do feijão (passou por intensas modificações, destacando-se o aumento da produtividade, principalmente na terceira safra, e a concentração da produção em regiões mais favorecidas (FREIRE FILHO, 2011).

A produção brasileira de feijão advém de agricultores familiares, que em sua maioria não possuem tecnologias aplicadas às suas produções, alguns até mesmo utilizam maquinários alugados ou emprestados, além disso a assistência técnica que recebem não é devidamente suficiente. Portanto, necessitam um maior amparo, como o emprego de tecnologia. A utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANTs) seria uma das alternativas, pois este tem o objetivo tomar decisões acerca das lavouras, como aplicações no melhor momento para controle de plantas daninhas, doenças e insetos-pragas, entre outras aplicações. Isto contribui com o manejo, tanto no aspecto financeiro quanto no aspecto biológico, fazendo com que sejam evitadas situações que contribuirão para que haja resistência destes organismos.

Apesar de, em sua maioria as tecnologias de VANT possuírem alto custo inicial, o seu custo-benefício é compensatório, uma vez que se comparado a imagens de satélites, por exemplo, que necessitam ser adquiridas em vários momentos e que possuem valor elevado, quando de boa qualidade, a utilização de aeronaves remotamente pilotadas, se paga a longo prazo. Contudo, independentemente da técnica utilizada é necessário conhecimento técnico para interpretação correta das imagens obtidas e realizar a tomada de decisão adequada para cada situação ajustando a realidade de campo com os conhecimentos agrônômicos, a fim de potencializar a produção.

Segundo Tsouros *et al.* (2019), as VANT atualmente são muito utilizadas para monitorar campos de cultivo. Carregando diferentes sensores e pode ser utilizado pelos agricultores para identificar locais de cultivo que necessitam de melhorias ou algum tipo de insumo, além de agir de modo adequado, no tempo correto e também viabilizar economicamente, uma vez que possibilita atuar na área somente quando e onde é necessário. Esta técnica pode ser usada em uma infinidade de aplicações da Agricultura de Precisão, como detecção e gerenciamento de dados, monitoramento o crescimento da vegetação e estimativa de rendimento, monitorar a saúde da vegetação e detecção de doenças, gerenciamento de irrigação, além disso pode ser utilizado para realizar pulverizações.

Apesar de em outras culturas a utilização de VANT já ser difundida e pesquisada, na cultura do feijão esta é bastante deficiente, e necessita de maiores aprofundamentos para que assim possa incrementar a produtividade do mesmo nas lavouras brasileiras. Assim, o acompanhamento da lavoura faz-se necessário, uma vez que é de suma importância e ainda pode ser facilitado através do emprego de VANT, para que se atenda o objetivo de aumento na produtividade, através do stand de planta, densidade de semeadura, índice de área foliar (IAF), pragas, doenças e plantas daninhas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão através de VANT (Veículo aéreo Não Tripulado), a fim de correlacionar os aspectos de produção com índices espectrais descritos na literatura.

### 2.2 ESPECÍFICOS

Identificar em qual estágio fenológico é possível correlacionar os componentes de rendimento com os índices espectrais NGRDI, RI, EXG, EXR, EXGR, CIVE, VEG e COM;

Identificar qual índice matemático é mais indicado para estimar os componentes de rendimento do feijão;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 MANEJO DE LAVOURA

O sistema de Integração Lavoura Pecuária (ILP) é uma estratégia de produção que integra culturas anuais e pecuária, no mesmo espaço, em consórcio, sucessão ou rotação, e busca potencializar a sinergia entre os componentes pecuária e lavoura. Dentre os objetivos desse sistema estão: recuperar a capacidade produtiva do solo; intensificar o uso da terra; disponibilizar alternativas de produção para agricultura de baixo carbono; contribuir para diminuir o desmatamento e melhorar o nível tecnológico e gerencial de técnicos, produtores e colaboradores.

#### 3.2 CLASSIFICAÇÃO BOTÂNICA E FENOLOGIA

O feijão é um alimento habitual na dieta de vários povos, dentre estes dos brasileiros, a qual é caracterizada por uma combinação, considerada tradicional, baseada no arroz com feijão, essa combinação resulta em um prato rico em nutrientes (BRASIL, 2013). Contudo, no Brasil são consumidos vários tipos de feijão, destacando-se o feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) consumido principalmente na região Sudeste e no Sul e o feijão-caupi (fradinho ou feijão-de-corda) na região Nordeste (HOFFMANN, 1995).

*Phaseolus vulgaris* L. pertence à família Fabaceae, gênero *Phaseolus*, trata-se de uma planta anual herbácea, que pode ser trepadora ou não (TROPICOS, 2019). Tem como origem as Américas, porém não possui um centro específico de localização, isto se deve à diversidade de faseolina (proteína específica do feijão); no entanto há três possíveis centros de origem localizados na América Latina, sendo centro mesoamericano, centro-norte andino e centro-sul andino (CHIORATO, 2004).

Modelos teóricos são propostos para explicar e descrever o desenvolvimento de cultivares de diferentes hábitos de crescimento, o que se faz necessário para relacionar a necessidade de uma prática agrônômica com determinado estágio de desenvolvimento da planta (MAFRA, 1979).

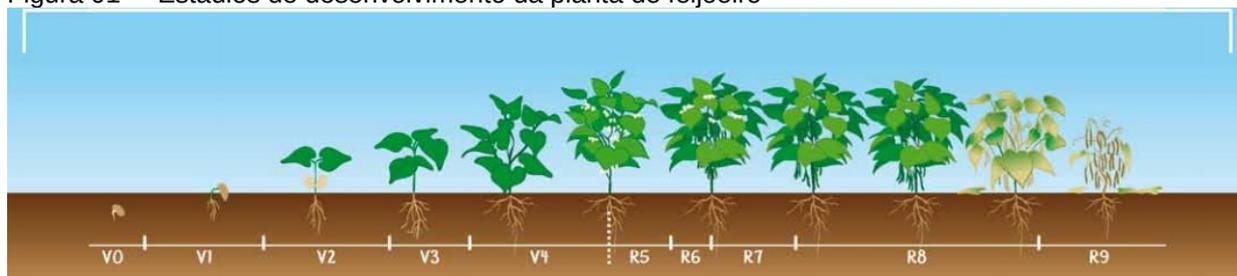
O ciclo fenológico é dividido em duas fases: Fase vegetativa (V0 até V4) e fase reprodutiva (R5 a R9), conforme apresentado na Tabela 01 e Figura 01.

**Tabela 01** – Ciclo Fenológico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)

Fase	Etapa	Descrição
Vegetativa	V0	Germinação: semente absorve a água; emergência da radícula e transformação em raiz primária;
	V1	Emergência: quando 50% dos cotilédones aparecem ao nível do solo e iniciam a separação. Começa o desenvolvimento do epicótilo;
	V2	Folhas primárias: folhas primárias abrem-se completamente;
	V3	Primeira folha trifoliolada: primeira folha trifoliolada abre-se e aparece a segunda folha trifoliada
	V4	Terceira folha trifoliolada: abertura da terceira folha trifoliolada, as gemas e os nós inferiores produzem ramas.
Reprodutiva	R5	Pré-floração: surgimento do primeiro botão floral e do primeiro cimo.
	R6	Floração: abertura da primeira flor;
	R7	Formação das vagens: surgimento da primeira vagem;
	R8	Enchimento das vagens: inicia o enchimento da primeira vagem (crescimento das sementes). Ao desfecho desta etapa, as sementes perdem a cor verde e começam a mostrar as características da cultivar, assim como ocorre o início da desfolha
	R9	Maturação fisiológica: As vagens perdem a pigmentação, começam a secar e as sementes adquirem a coloração típica da cultivar.

Fonte: Adaptado de QUINTELA, 2001.

Figura 01 – Estádios de desenvolvimento da planta de feijoeiro



Fonte: Oliveira *et al*, 2018

O ciclo do feijoeiro varia de 70 a 110 dias, sendo mais comum entre 90 e 100 dias, é considerado uma cultura atípica, pois pode ser cultivado por três safras anuais (SILVA; WANDER, 2013).

### 3.3 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

O feijão é um produto agrícola de grande importância socioeconômica, uma vez que seu destaque vai além da sua relevância como alimento das populações brasileira e mundial, trata-se de um produto relevante na cadeia de produção, beneficiamento e comercialização do feijão, que geram ocupação e renda (GONÇALVES, 2013).

A produção brasileira de feijão é realizada por diversos tipos de produtores, em diversas regiões do país, utilizando diferentes níveis tecnológicos. Dentre estes produtores, a agricultura familiar é apontada como a grande responsável pela produção de feijão no país (SILVA; WANDER, 2013).

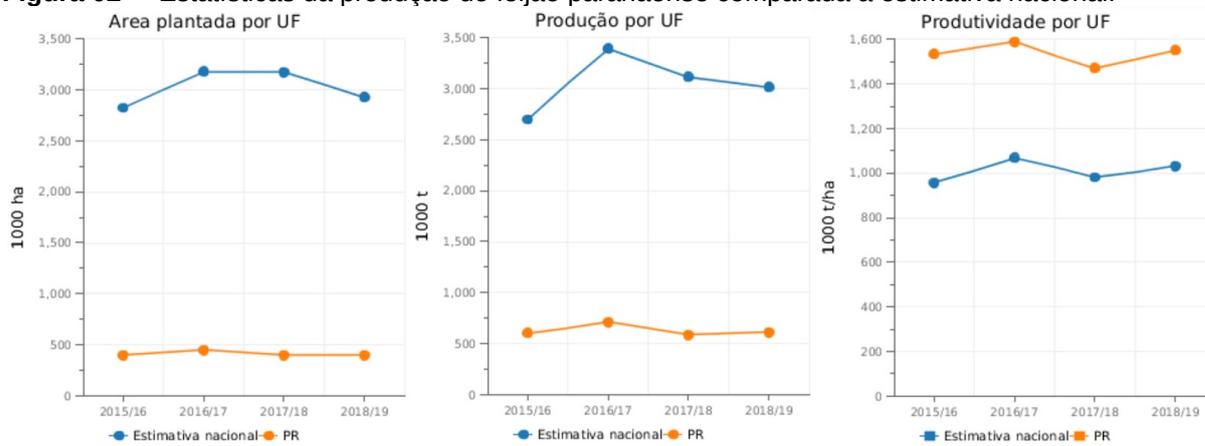
No âmbito mundial o feijão possui pouca importância comercial, pois os grandes produtores são também os que mais consomem, tornando pouco o excedente exportável, aliado a isto existe a falta de um real conhecimento do seu mercado e ao pequeno consumo entre os países do primeiro mundo, o que limita a expansão do comércio internacional. Cerca de 61% da produção mundial deste produto é provenientes de apenas seis países. Myanmar é o maior produtor mundial dessa leguminosa, seguido da Índia, Brasil, China, EUA e México, respectivamente. O Brasil apesar de ser um dos maiores produtores de feijão, ainda importa cerca de 150 mil toneladas ano, sendo a maioria de feijão-comum-preto proveniente da Argentina (RUAS, 2019).

Como já esperado nos países que compõem o Mercosul, onde a produção ficou em 3,6 milhões de toneladas, o Brasil é o principal produtor, seguido da Argentina, do Paraguai, e do Uruguai. Em um panorama nacional, a produção de feijão-comum-cores representou 62,8% do volume produzido e sua produção é distribuído uniformemente nas três safras anuais; a de feijão-preto, representa 16,4%, mas concentra-se no sul do país e cerca de 59,3% de sua produção é oriunda da 1ª safra; e a de caupi, 20,8%, é cultivado nas regiões Norte e Nordeste e

no Mato Grosso, concentra-se na 2ª safra, que exceção da produção da Bahia (RUAS,2019).

No Brasil, o cultivo de feijão ocorre na primeira safra, principalmente nas regiões Sul e Sudeste e na região de Irecê, na Bahia, cuja colheita está concentrada nos meses de dezembro a março. Já, a colheita da segunda safra, que acontece entre abril e julho e a terceira safra, em que prevalece o cultivo irrigado, está concentrada nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás/Distrito Federal e oeste da Bahia, sendo obtida entre julho e outubro (FERREIRA, 2019). Contudo, apesar de ocorrer somente na primeira e segunda safra, o estado do Paraná se destaca como um dos maiores produtores do grão de feijão. Na safra de 2018/2019, a produção paranaense foi de 613 mil toneladas em 395 mil ha, apesar de a área cultivada ter diminuído, a produção e consequente produtividade das lavouras paranaenses subiu e atingiu 1.030 kg ha<sup>-1</sup> de média, conforme Figura 02 (CONAB, 2019).

**Figura 02** – Estatísticas da produção de feijão paranaense comparada a estimativa nacional.



Fonte: CONAB, 2019

A safra das "águas" ou primeira safra é plantada nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia e, também nos estados de Tocantins e Rondônia, sendo implantada entre os meses de agosto e novembro. A safra da "seca" ou segunda safra é cultivada entre dezembro e abril, e ocorre nas Regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e em único período de plantio no Norte. Já a terceira safra, também conhecida como safra irrigada, de inverno que acontece com o feijão-comum cultivado entre os meses de abril e julho, no Centro-Sul do Brasil (SILVA; WANDER, 2013).

### 3.4 EXIGÊNCIAS EDAFOCLIMÁTICAS

O rendimento do feijoeiro é afetado pela condição hídrica do solo, seja ela deficiência ou excesso de água, podendo ocasionar redução na produtividade em diferentes proporções. Geralmente, a demanda de água desta cultura está por volta de 250 mm a 350 mm por ciclo vegetativo, sendo que a sensibilidade à falta de água é ainda mais crítica durante a floração e o início da formação das vagens, embora também seja no período de enchimento de grãos e, em menor escala, na fase vegetativa., conforme Figura 03. Além disto, a produtividade do feijoeiro cresce com a quantidade de água disponível, até determinado limite. Contudo, são vários os fatores que interferem nesse processo: cultivar, manejo da cultura, manejo do solo, época de plantio, condições climáticas e também as fases fenológicas (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

**Figura 03** – Requerimento de água diário e total do feijoeiro, durante o ciclo de 92 dias



Fonte: OLIVEIRA *et al.*, 2018

A cultura do feijão é exigente em fertilidade e qualidade do solo, isto se deve ao ciclo curto e ao sistema radicular pouco desenvolvido. Deste modo, é de suma importância que os nutrientes estejam imediatamente disponíveis para as plantas. Esta cultura exige para seu pleno desenvolvimento 18 nutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Mo, Cl, Ni e Co), além disso, é importante a correção da acidez do solo antes da semeadura, o qual tem a função de neutralizar o Al tóxico, fornecer Ca, Mg e corrigir o pH para a faixa que permita maior disponibilidade de nutrientes (5,8 a 6,2) (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Além disto, a produtividade na cultura é influenciada por vários outros fatores, dentre estes tem-se a luz, fotossíntese, doenças, pragas, plantas daninhas, nutrição mineral, condições ambientais, sementes e densidade. O uso de melhores

práticas culturais vem possibilitando aumentos significativos em produtividade nas lavouras dessa cultura (DIDONET, 2005). Uma destas práticas que podem afetar significativamente a produtividade é a densidade de semeadura, que necessita estar bem equacionada para cada cultivar, uma vez que, está diretamente relacionada com os componentes de produção (número de vagens planta, número de sementes por vagem e massa de 100 grãos) (AZEVEDO *et al.*, 2008).

### 3.5 ENTRAVES DA PRODUÇÃO DE FEIJÃO E ACOMPANHAMENTO DE SAFRAS

Devido a sua importância nutricional, como fonte proteica de origem vegetal, além de ser um dos principais constituintes da cesta básica nacional, o feijão merece atenção especial dos governantes, da pesquisa e de toda sua cadeia produtiva (RAMOS JUNIOR; LEMOS; SILVA, 2005). Uma vez que comparando-o com as produtividades de milho, arroz e soja, constata-se que a cultura do feijão possui o menor rendimento por unidade de área (CRUSCIOL *et al.*, 2003), e é essencial para o aumento da produtividade, o desenvolvimento do nível tecnológico na produção do feijoeiro (YOKOYAMA *et al.*, 2000).

No Brasil, os órgãos responsáveis pelo levantamento de safras são da esfera pública, apesar destes, tratarem de um método vago, uma vez que são decorrentes da aplicação de questionários em unidades de recebimentos, produtores e em cooperativas, o que explana dados subjetivos, visto que estes não são validados a campo (JOHANN *et al.*, 2012; MERCANTE *et al.*, 2012). Por isso, métodos alternativos vêm sendo estudados para reduzir a subjetividade e o custo das estimativas de safra, entre elas estão as geotecnologias, as quais referem-se a ferramentas utilizadas para aquisição, processamento, interpretação e análise de dados espacialmente referenciados (ESQUERDO; ZULLO JÚNIOR; ANTUNES, 2009).

### 3.6 AGRICULTURA DE PRECISÃO E SENSORIAMENTO REMOTO

Em 2012, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), ao instituir a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), definiu a Agricultura de Precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (PIRES *et al.*, 2012).

O Sensoriamento Remoto é utilizado na estimativa de áreas plantadas, na identificação das culturas da área desejada e no monitoramento da expansão e da alteração de uso das áreas agrícolas. A associação de informações sobre áreas plantadas e dados de chuva e temperatura pode auxiliar na previsão de safras em nível nacional, visto que a deficiência hídrica é um fator fundamental para determinação de produtividade das mais variadas culturas. Sensores hiperespectrais de última geração associadas ao uso de espectroradiômetros auxiliam no mapeamento de espécies e variedades cultivadas, na estimativa de produtividade das culturas e na determinação das condições fitossanitárias relacionadas a pragas e doenças. Na agricultura de precisão, o SR pode auxiliar na detecção de áreas de lavouras com deficiência nutricional, ataques de pragas e doenças, baixa produtividade, baixo crescimento, etc. Isso possibilita que essas áreas recebam um tratamento diferenciado do restante da lavoura, como a aplicação localizada de adubos e defensivos, o que aumenta a eficiência e reduz os custos e os impactos ambientais (QUARTAROLI; VICENTE; ARAÚJO, 2021).

Sensoriamento Remoto é comumente usado para monitorar lavouras, fornecendo soluções para Agricultura de Precisão (AP), para isso, o Sensoriamento Remoto consiste na aquisição de informações sobre algum objeto sem fazer contato físico este. Nesse contexto, as tecnologias de imagem de satélite tornam-se uma ferramenta extremamente útil para aquisição de dados de imagens na agricultura de precisão, além disso oferecem a possibilidade de adquirir dados de campo, os quais podem ser aplicado na AP de forma rápida, fácil e econômica e maneira comparada para sistemas de satélite (TSOUROS *et al.*, 2019). Atualmente, imagens de sensores remotos podem ser resultados de variados meios, dentre eles pode-se citar, como satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados (VANTS), máquinas agrícolas autopropelidas, etc. Na AP, existem diversas aplicações através de SR,

dentre elas, a estimativa da biomassa e produtividade da cultura; monitoramento de estresse hídrico e do vigor nas plantas e a avaliação do estágio fenológico (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014; BRANDÃO, 2009)

Para avaliação das condições da cobertura vegetada e estimativa da produtividade, utiliza-se geralmente o Índice de Área Foliar (IAF), especialmente devido ao fato deste estar bem correlacionado ao status do nitrogênio foliar e conteúdo de clorofila (ZHAO; LI; QI, 2005).

Segundo Brandão *et al.* (2008), para tal, IAF podem ser obtidos dados remotamente tem sido a detecção de diferenças na reflectância, esta identifica a intensidade com que cada material reflete a radiação eletromagnética, em diferentes comprimentos de onda do espectro. Assim, dados da refletância têm sido associados às características das plantas como o índice da área foliar, a biomassa ou a fração radiativa interceptada fotossinteticamente (ATZBERGER, 2013).

O uso de índices espectrais relacionados aos intervalos espectrais das imagens de satélite influenciaram as primeiras pesquisas do SR, deste modo foi possível aprimorar ainda mais técnicas de detecção remotas.

### 3.7 SENSORIAMENTO SUB-ORBITAL

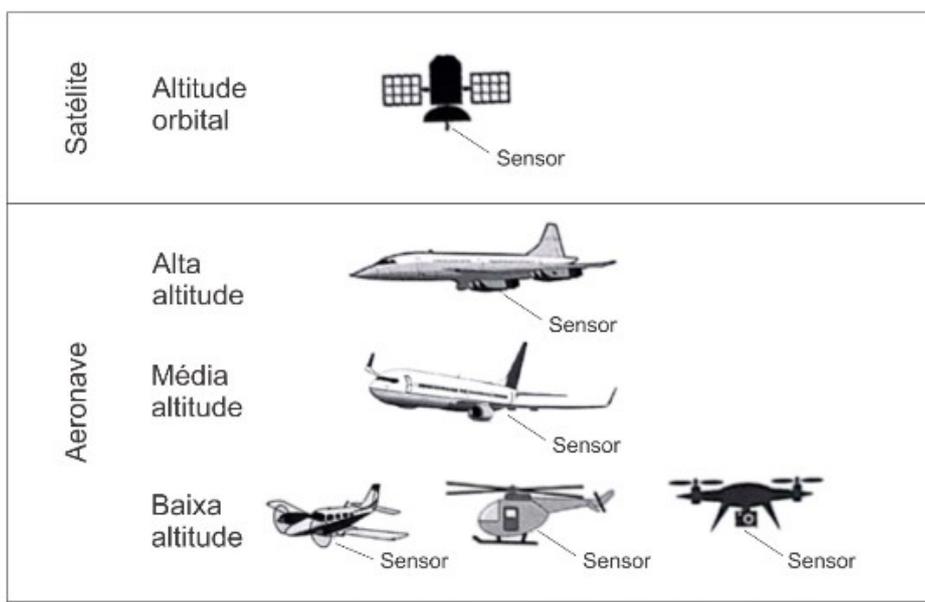
Na área da tecnologia de dados ou de mapeamentos, um dos instrumentos mais usados é o Sensoriamento Remoto, onde os sensores remotos podem ser acoplados em satélites orbitais, aviões de reconhecimento de área ou em plataformas terrestres (CAMARGO, 2005).

Pesquisadores estão sempre buscando aprimorar as técnicas de tratamento de imagens de satélite de baixa resolução por serem disponibilizadas gratuitamente, fornecerem extensa cobertura e alta resolução temporal. Essa é uma escolha vantajosa para detecção em larga escala, mas não fornece informações mais detalhadas. (LIU *et al.*, 2006).

Entretanto, há diversos níveis de coleta de dados no SR em função da distância entre o sensor e a vegetação. Deste modo, pode-se citar que o nível orbital é o mais utilizado, sendo oriundo de satélites em um nível de altitude orbital. Já os VANTs que possuem menores custos e um nível aéreo de coleta de dados de baixa

altitude, isto é, com excelente detalhamento dos dados. Estes podem ser equipados com câmeras multiespectrais para a obtenção de imagens eficientes e precisas, com alto potencial no aumento de produtividade nas lavouras (FORMAGGIO; SANCHES, 2017), como representado na Figura 04.

**Figura 04** – Níveis de coleta de dados orbital e suborbital em sensoriamento remoto.



Fonte: Adaptado de Formaggio e Sanches (2017)

Segundo Tsouros *et al.* (2019), as Aeronaves Remotamente Pilotadas, são uma tecnologia considerada o futuro do Sensoriamento Remoto em Agricultura de Precisão, uma vez que podem voar em baixa altitude, resultando o que aumentará a resolução, o que pode melhorar significativamente o desempenho do sistema. Além disso, conseguem coletar dados com alta resolução temporal, o que pode melhorar a flexibilidade do processo de aquisição de dados. Outro fator interessante é relacionado à economia, onde VANTs são muito mais baratos e mais simples em comparação a aeronaves tripuladas e mais eficientes que os sistemas terrestres, pois eles podem cobrir uma grande área em uma quantidade menor tempo de forma não destrutiva VANTs, são comumente utilizados para monitorar campos de cultivo.

Os VANTs carrega diferentes sensores e pode ser usado pelos agricultores para identificar intervenções necessárias e reagir no tempo necessário, estas podem ser aplicadas como, monitoramento do crescimento da vegetação e

estimativa de rendimento, saúde da vegetação e detecção de doenças, gerenciamento de irrigação, entre outros (TSOUROS *et al.*, 2019).

### 3.8 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Um veículo aéreo não tripulado (VANT, em inglês Unmanned Aerial Vehicle, UAV) é um tipo de aeronave que não necessita de pilotos embarcados para pilotá-la, seu modo de operação pode ser feito de maneira remota, autônoma ou uma combinação entre eles. Sua utilização geralmente consiste em decolar, seguir uma rota até o seu destino, coletar informações e retornar a origem (PAULA, 2012). Deste modo, Pecharromás e Veiga (2017), denotam que o termo “drone”, originado nos Estados Unidos da América (EUA), é utilizado para caracterizar todo e qualquer objeto voador não tripulado, seja ele de qualquer propósito (profissional, recreativo, militar, comercial etc.), origem ou característica, ou seja, é um termo sem amparo técnico ou definição na legislação. No Brasil, esse termo é mais associado às plataformas menores usadas para fins de lazer.

No entanto, VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), por outro lado, é a denominação oficial prevista pelos órgãos reguladores brasileiros do transporte aéreo para definir este tipo de plataforma, que se caracteriza como toda aeronave projetada para operar sem piloto a bordo, entretanto trata-se de caráter não recreativo. Em outras palavras, nem todo “drone” pode ser considerado um VANT, já que qualquer plataforma não tripulada utilizada como hobby ou esporte enquadra-se, por definição legal, na legislação pertinente aos aeromodelos e não à de VANT. Dentre estes ainda há dois tipos diferentes de VANT. O primeiro, mais conhecido, é o VANT. Nessa condição, o piloto não está a bordo, controlando-a remotamente por uma interface externa qualquer (computador, simulador, dispositivo digital, controle remoto etc.). Diferente de outra subcategoria de VANT, a chamada “Aeronave Autônoma” que, uma vez programada, não permite intervenção externa durante a realização do voo (PECHARROMÁN; VEIGA, 2017).

Segundo Paula (2012), as principais vantagens na utilização de VANTs frente a aeronaves tripuladas convencionais são: menores custo de produção e manutenção; maior flexibilidade, podendo executar manobras ou locomover-se em

locais de difícil acesso para aeronaves convencionais, longas jornadas de voo, além de eliminar prováveis riscos que uma aeronave tripulada possa expor a sua tripulação.

### 3.9 ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO

Os fatores relacionados à variabilidade das culturas, que influenciam sobre a produção agrícola são a densidade, altura de planta, falta de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, etc.), estresse hídrico, assim como as propriedades biofísicas, teor de clorofila nas plantas e qualidade dos grãos (ZHANG; WANG; WANG, 2002).

Em geral, a utilização de índices de vegetação (IV), em todo o seu ciclo ou em um determinado período do desenvolvimento das culturas, ou, ainda têm gerado boas relações com parâmetros agronômicos, como a produtividade, pois contemplam a história da evolução da biomassa (RASMUSSEN, 1992; MASELLI *et al.*, 1993)

Inúmeros IV já foram desenvolvidos para diferentes finalidades, sendo assim, pesquisadores no mundo inteiro usam as características de absorção associadas com constituintes bioquímicos para avaliar a vegetação em estudo. Assim, diferentes índices são utilizados na agricultura e são otimizados para avaliar um processo de interesse (BRANDÃO, 2009). Para tal, alguns índices espectrais foram propostos para capturar os processos fotoquímicos associados a fotossíntese, assim como o uso da eficiência da luz( $\epsilon$ ) ou estimar o conteúdo de pigmentação da folha (clorofila) (DAUGHTRY *et al.*, 2000; BRITO *et al.*, 2011), enquanto que outros foram projetados para obter o índice de área foliar (IAF).

O Índice de Área Foliar (IAF) é uma importante propriedade estrutural do dossel das culturas, o qual é definido como a razão entre a superfície total superior da folha da vegetação dividida pela área da superfície da terra em que a vegetação cresce. O qual serve como um bom indicador do desenvolvimento da cultura e da saúde do dossel, servindo como resposta as práticas de manejo adotadas (LAN *et al.*, 2009).

Com algumas dificuldades encontradas na detecção de vegetação em diferentes ambientes, alguns autores criaram equações com o objetivo de atender as

suas demandas. Dentre estes, Escadafal e Huete (1991), criaram a equação denominada Redness Index – RI (Índice de vermelhidão), que consiste em uma razão simples entre bandas do verde e vermelho, facilitando a aplicação em ambientes áridos, focando na identificação de ervas daninhas em colheitas sob a presença de iluminação/sombreamento, resíduos e solos distintos. O cálculo de RI, é realizado de acordo com a fórmula (1)

$$RI = \frac{(R - G)}{(R + G)} \quad (1)$$

Contudo, Woebbecke *et al.* (1995) testaram IV com o propósito da distinção do material vegetativo de outros materiais não-vivos, onde os valores norteiam as regiões de interesse das plantas, pelo qual chamaram Excess Green Index – ExG. Tal índice apresentou resultado satisfatório para áreas sombreadas e não protegidas; evidenciando a utilização do ExG em monitoramentos agrícolas de pragas no plantio para sua eliminação posterior. Ademais, tal índice é calculado através das bandas normalizadas de verde (g), vermelho (r) e azul (b), as quais são derivadas das bandas R (red), G (green) e B (blue). Meyer *et al.* (1998) também desenvolveu o Excess Red Vegetative Index – ExR, ainda utilizando-se das bandas normalizadas de “.r” e “g”. A fórmula utilizada para o cálculo do EXG, é demonstrada pela equação ( 2 ).

$$EXG = 2g - r - b \quad (2)$$

Já em 2002, Marchant e Onyango (2002) tendo como base modelos físicos de compensação de sombras iluminadas pela luz do dia, aplicam a premissa da lei do corpo negro e as relaciona com as bandas azul, verde e vermelho dos filtros da câmera. Desta forma, classificando e transformando as bandas RGB em histogramas bimodais; o qual trata-se da existência de dois grupos, com valores centrados em dois pontos diferentes do eixo de valores, derivando em produtos com relevância satisfatória para a premissa utilizada, o qual é denominado índice de

Vegetative – VEG, onde o “a” presente na fórmula trata-se de uma constante de valor experimental (a = 0,667). A determinação deste indicador é realizada através da equação ( 3 )

$$VEG = \frac{G}{r^a \times b^{1-a}} \quad (3)$$

Kataoka *et al.* (2003) entendendo a importância do acompanhamento dos plantios mediante a gestão da agricultura de precisão, desenvolveu um sistema experimental de estimativa do estado das culturas utilizando imagens de câmera RGB, intitulada de CIVE – Color Index of Vegetation Extraction. Em algumas pesquisas percebeu-se discordância na detecção das plantas como um todo, conseguindo este apenas detectar algumas amostras de plantas, podendo em caso de generalização e replicação para grandes áreas resultar em significativas imprecisões. A expressão do indicador CIVE, é realizada através do cálculo ( 4 ).

$$CIVE = 0,441 * R - 0,811 * G + 0,383 * B + 18,78745 \quad (4)$$

No entanto, Camargo Neto (2004) descreve um algoritmo baseado nos índices ExG e ExR, denominando-o de ExGR - Excess green minus Excess red (também encontrado na literatura como ExGExR, o qual foi considerado satisfatório, pois conseguiu classificar e mapear espécies vegetais usando imagens de cores na faixa do visível em sistemas de plantio. O ExGR é calculado através da equação 5.

$$ExGR = ExG - ExR \quad (5)$$

Baseando-se no Triangular Greenness Index (TGI), fórmula que identifica a vegetação no histograma a partir de uma triangulação, compila-se uma série de índices com o principal objetivo do fracionamento das regiões onde há a presença ou não de plantas em ambientes de agricultura de precisão,

desenvolvendo assim o índice denominado Combination (COM), a qual identificou-se que o método é eficiente na identificação de plantas (daninhas ou não) mesmo com contaminação destas ao solo. A utilização do COM no período de pós colheita também é possível, devido ao potencial de monitoramento das ervas daninhas e áreas remanescentes (GUERRERO *et al.*, 2012). Assim, tal índice é determinado ao calcular-se as bandas, de acordo com a fórmula 6.

$$COM = 0,3EG + 0,47CIVE + 0,17VEG$$

(6)

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

A abordagem metodológica geral deste estudo foi monitorar o desenvolvimento do feijão durante as fases críticas do seu ciclo fenológico para que fosse possível avaliar os parâmetros desejados na condução da lavoura, através destas para bem mapear as variações espaciais nessa cultura, perfazendo quatro etapas principais: aquisição de imagens de alta resolução utilizando o sistema de câmera do VANT; processamento dessas imagens para formação do ortomosaico; extração de índices de vegetação colorida a partir de imagens ortomosaico; extração de índices de vegetação, por fim a análise das variações espaciais do feijão, além de criar estatísticas por zona de cada uma das parcelas de estudo

O trabalho foi dividido em quatro voos, onde o primeiro foi na fase de definição do estande de plantas, segundo voo de acompanhamento para verificação de incidência de doenças e pragas em R6, já o terceiro voo com o intuito de observar o comportamento das plantas frente aos fatores edafoclimáticos e já o último voo tem a finalidade de observar o momento posterior a aplicação do dessecante, para auxiliar na decisão do momento de colheita.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

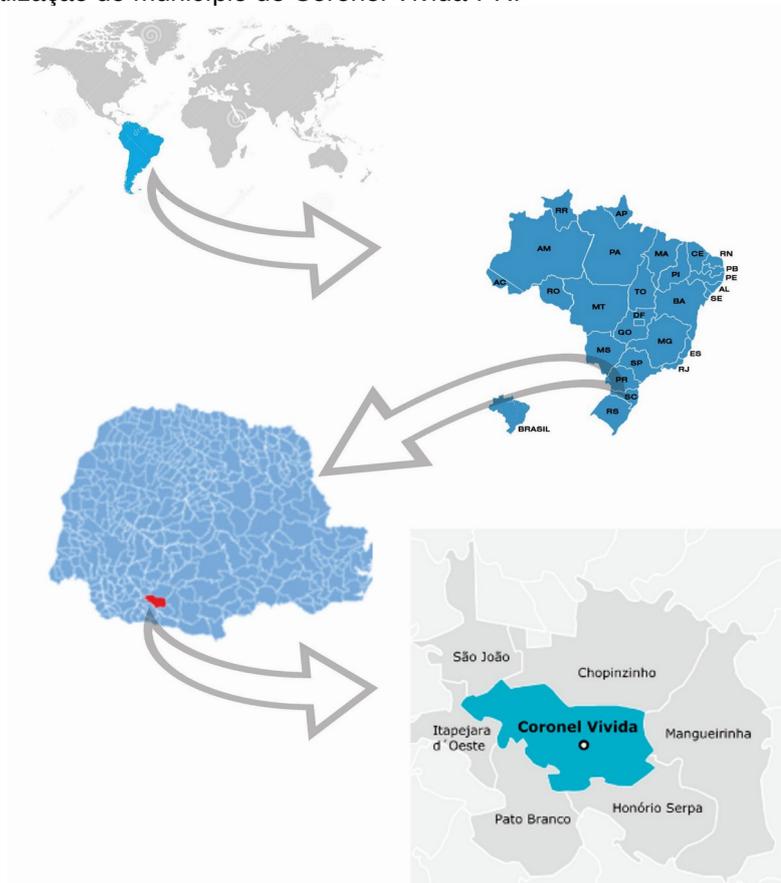
O presente experimento foi conduzido sem interferências nos tratos culturais decididos pelo proprietário em conjunto com seu agrônomo, o mesmo foi desenvolvido na comunidade de Santo Antônio do Jacutinga, no município de Coronel Vivida (PR), localizada especificamente nas coordenadas 26°00'44.32''S e 52°31'36.91''O, na altitude de 622 m.

O estudo foi realizado no município paranaense de Coronel Vivida, localizado na região sudoeste do estado do Paraná, tendo como municípios limitantes Chopinzinho, São João, Itapejara D' oeste, Pato Branco, Honório Serpa e Mangueirinha (CORONEL VIVIDA, 2018), como mostra a figura 05.

Predomina na região o clima do tipo Cfb (classificação de Köppen) que corresponde ao clima temperado, com temperatura média no inverno abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no verão abaixo de 22°C e

sem estação seca definida. Precipitação de 1.100 a 2.000 mm. Geadas severas e frequentes, num período médio de ocorrência de 10 a 25 dias anualmente. O solo da área experimental se trata de latossolo vermelho distrófico (IAPAR, 2020).

**Figura 05** – Localização do município de Coronel Vivida-PR.



Fonte: Adaptado de IPARDES (2019); DNIT (2019) e DREAMSTIME (2019)

## 4.2 HISTÓRICO DA ÁREA

A área de estudo possui sistema de plantio direto implantado a aproximadamente 20 anos, estabelecendo espécies de acordo com as condições edafoclimáticas regionais. Pode-se observar na Tabela 2, que não existe um sistema de rotação de culturas e sim de sucessão.

Além disto, deve-se destacar que ainda é utilizado o sistema de integração Lavoura-Pecuária (ILP), uma vez que durante o inverno com o cultivo de pastagem de aveia, a mesma é utilizada como fonte alimentar para gado de corte.

**Tabela 02** – Sistema de sucessão de culturas entre 2018 e 2020 . UTFPR, Pato Branco – PR, 2020.

<b>Estação de cultivo</b>	<b>Culturas</b>
Verão 2019/20	soja ( <i>Glycine max</i> )
Inverno 2019	aveia-preta ( <i>Avena strigosa</i> )
Entressafra 2019	feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )
Verão 2018/19	soja ( <i>Glycine max</i> )
Inverno 2018	aveia-preta ( <i>Avena strigosa</i> )

Fonte: Autoria Própria, 2021.

### 4.3 TRATOS CULTURAIS

Tal experimento foi implantado no dia 13 de fevereiro de 2020, em uma área de 7,84 hectares cultivados com a cultivar de feijão ANfc 5, com espaçamento entre linhas de 45 centímetros, semeado sobre resteva de soja. Tal cultivar pertence a Agro Norte Pesquisa e Sementes, e trata-se de feijão carioca com 76 dias de ciclo, apresentando flores brancas, com massa de mil sementes de 260 g (AGRONORTE, 2021).

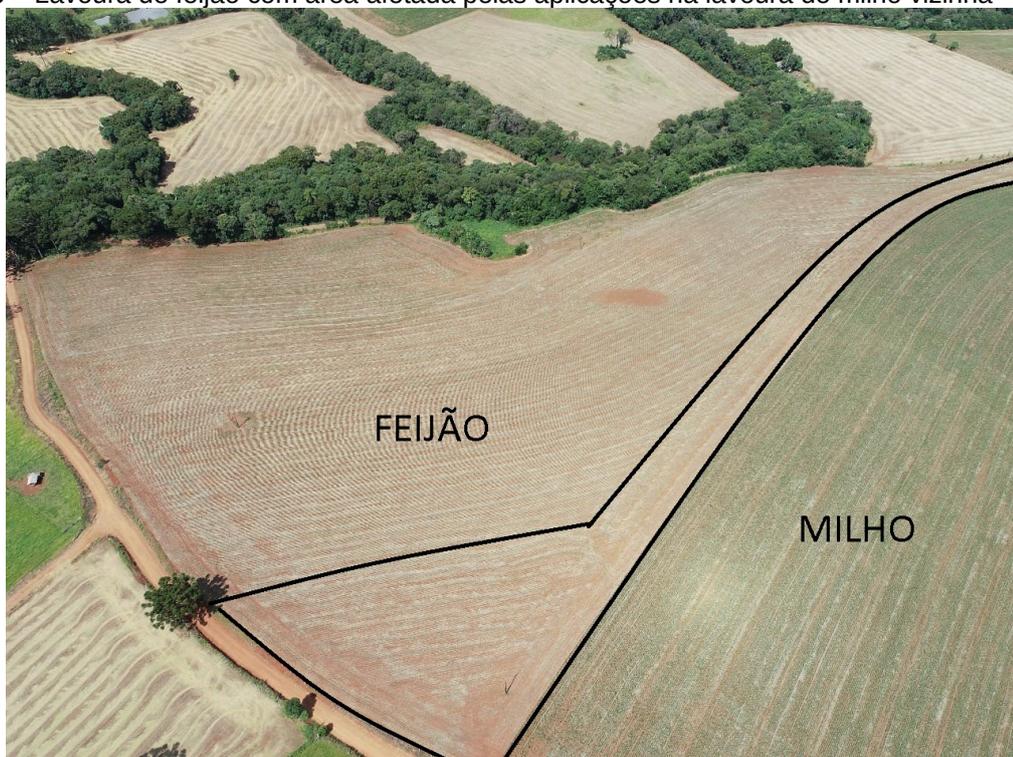
Para realizar a semeadura foi utilizado Trator Massey Ferguson 283 TDA (tração dianteira auxiliar), com espaçamento de 1,8 m, com semeadora adubadora metasa PDM 9810 (7 linhas) regulada para o semear 15 sementes/ha. A semeadura foi realizada a 4 cm de profundidade, com 86,77 Kg ha<sup>-1</sup> de adubação de base através de formulado NPK + S (Nitrogênio, Fósforo, Potássio e Enxofre) 15-15-15-11S.

As sementes foram tratadas através do tratamento de sementes industrial (TSI), composto por 1 ml/kg Tiabendazol, Metalaxil-M e Fludioxonil (Maxim Advanced - fungicida); 2 ml/kg de Thiamethoxam (Cruizer 350 FS - inseticida) e 1 ml/kg de Booster MO.

A lavoura de feijão em questão faz divisa com uma lavoura de milho, onde foi realizado tratamento com glyphosathe + atrazina, esta aplicação houve

deriva, resultado em fitotoxicidade em parte da lavoura de feijão, quando o mesmo estava em V2.

**Figura 06** – Lavoura de feijão com área afetada pelas aplicações na lavoura de milho vizinha



Fonte: Autoria Própria, 2021.

No dia 20 de março de 2020 foi realizado a primeira aplicação com pulverizador jacto AM14, esta aplicação objetivando o controle de plantas daninhas, a calda foi composta por 25 gramas de Etoxissulfurom ( Gladium - herbicida); 495 ml de Fomesafem (Flex – herbicida), 165 ml de Cypermethrin (Cyptrin 250 CE - Inseticida), 413 ml de Booster (micronutrientes), 331 ml de Etilenoxi (Energic – Espalhante adesivo) e 83 ml de TA 35 (espalhante). No dia 09 de abril de 2020, foi realizado a segunda aplicação para controle de plantas daninhas, na qual a recomendação do Engenheiro Agrônomo, foi a aplicação da calda, com as mesmas doses e produtos.

No dia 01 de maio de 2020, foi realizada a dessecação pré-colheita, onde a mistura de calda consistiu em 62 ml de TA 35 (espalhante), 2,1 Litros de

Diquat (Reglone – Diquat) e 413 ml de Agral por hectare, e então realizou-se a colheita no dia 25 de maio de 2020.

#### 4.4 VOO COM VANT

Segundo Figueiredo e Figueiredo (2018), o sucesso dos mapeamentos com VANTs começa com a descrição do plano de voo adequado para cada objeto de interesse, porém para o bom desempenho dos trabalhos existem inúmeras possibilidades de combinações de alturas de voo, velocidade de cruzeiro da VANT, configuração das câmeras, luminosidade do dia, características do ambiente a ser mapeado e overlap lateral e longitudinal das linhas de sobrevoo.

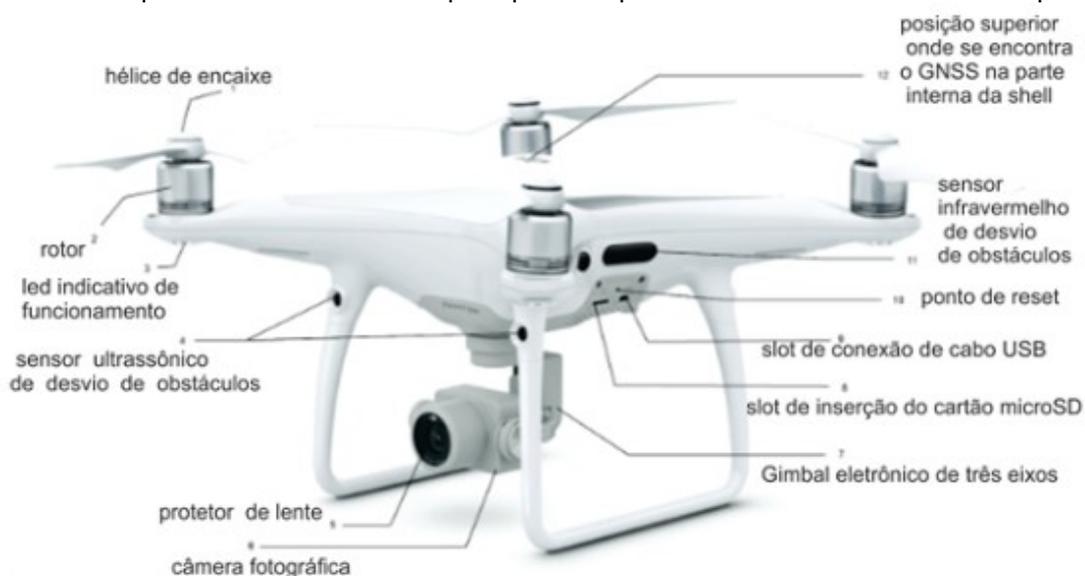
O voo foi realizado com o VANT modelo DJI Phantom 4 Pro, qual é classificada como classe 3 (VANT com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg). A operação realizada foi em linha de visada visual (VLOS), na qual o piloto mantém o contato visual direto com a aeronave para gerenciar a missão de voo a qualquer momento.

Esta VANT foi lançada no final de 2016 pelo fabricante Chinês DJI. Apresenta um dos melhores custo-benefício, ao que se refere aos sensores de anti-colisão, sistema inercial assim como tempo de voo de aproximadamente 30 minutos, sendo responsável pela bateria inteligente de 6000mh (DJI, 2021).

Uma de suas vantagens deste equipamento, é sua compatibilidade com diversos programas de planejamento de voo, além de sua câmera com o sensor embarcado de 20 megapixel e tamanho do CCD de 1”, apresenta um sistema inercial com dois sensores inerciais proprietários, junto com um processador de bordo para corrigir derivas de voo. Outro fator a ser considerado, e deve ser incluído no planejamento de voo, é o tempo de voo de 30 minutos devido a sua bateria inteligente. A sua câmera foi projetada inicialmente para fotógrafos, com resolução

de filmagem e tomada de fotos em formato de 4K, conforme a tendência do imageadores. Seu sistema de estabilização da câmera, conhecido como Gimbal, contando com o disparador mecânico e outro automático, evitando o efeito de arrasto na imagem.

**Figura 07** – Esquema demonstrativo dos principais componentes da VANT DJI Phantom 4 pro



Fonte: Adaptado de DJI (2019).

#### 4.4.1 Planejamento de voo

O planejamento de voo é o primeiro passo de um aerolevanteamento, para que possa-se controlar as melhores condições de voo, visto que a época, o horário e as condições atmosféricas podem exercer grande influência no nível de informações obtidas pela fotografia aérea, sendo estes fatores decisivos para o êxito de um aerolevanteamento.

O planejamento foi realizado através do aplicativo Maply Mission Planner, com o auxílio de um tablet e garantindo que as linhas de voo sejam alocadas no mapa de forma que as faixas vizinhas se sobreponham aproximadamente de 75% da cobertura da foto, esta é chamada de sobreposição lateral. Já quanto ao recobrimento longitudinal entre fotos sucessivas, é esperado um valor de no aproximadamente 60%, a qual tem finalidade de permitir a produção

de pares para a observação e medição estereoscópica, a construção de mosaicos (aproveitando-se somente a porção central de cada fotografia, pois devido ao relevo e as distorções serem menores) e a geração de pontos de apoio por métodos fotogramétricos, isto é, a fototriangulação.

**Figura 08** – Planejamento de voo



Fonte: Maply Mission Planner, 2021.

A altura de voo também é um parâmetro a ser compreendido no planejamento, onde esta foi definido através de uma análise na topografia do local. Com a análise, utilizando do perfil do terreno, pode-se definir a altura de voo máxima de 80 m, com um nível de detalhamento do terreno, mais conhecido como GSD (do inglês ground sample distance), em torno de 2,19 cm/pixel.

#### 4.4.2 Execução dos voos

O primeiro voo foi realizado no dia 3 de março de 2020 às 13:45 horas com aproximadamente seis minutos de duração, e a contagem manual de plantas foi realizada logo em seguida e tabelada em LibreOffice Calc, a cultura estava em V2.

Já o segundo voo foi realizado no dia 01 de abril de 2020, próximo às 13 horas, onde houve a avaliação visual da sanidade das plantas, em estágio R6, constatando-se que os principais danos foram ocasionados pela larva-minadora (*Liriomyza huidobrensis*), além de indícios de abortamento de flores.

O terceiro ocorreu em 16 de abril, pois a lavoura encontrava-se em sua maioria no estágio fenológico R8, o qual trata-se do período crítico responsável pelo enchimento de vagens, onde a planta demanda mais água do que nas demais fases. Contudo, os sintomas da larva-minadora aumentaram consideravelmente, e logo pode-se perceber sintomas de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) nas vagens além de sintomas de fototoxicidade.

O voo com o objetivo de verificar o melhor momento de colheita pós dessecação, ocorreu no dia 07 de maio, contudo visualmente nessa data observou-se que ainda existiam plantas com umidade elevada.

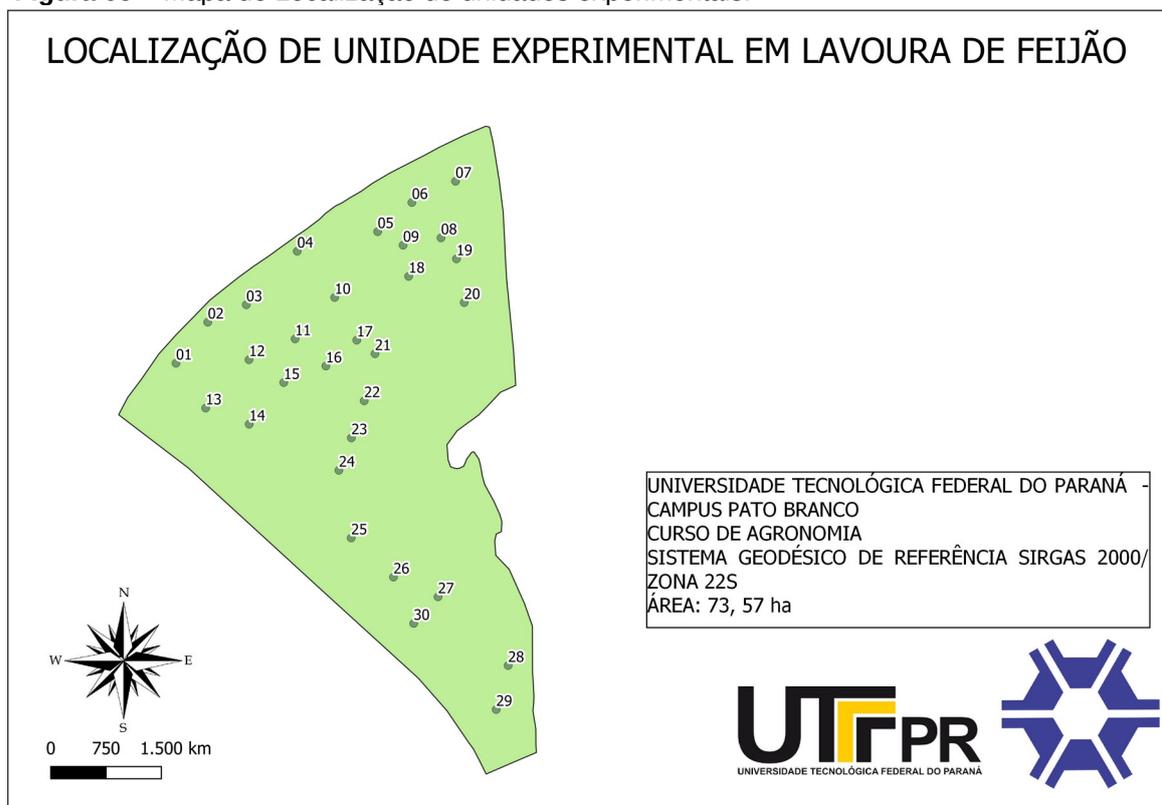
Deste modo, o proprietário optou pela colheita no dia 18 de maio, com o objetivo também de relacionar a eficácia operacional e logística ao momento de colheita. Portanto no dia anterior a colheita, as plantas das parcelas determinadas anteriormente foram colhidas inteiramente e contabilizadas os aspectos da cultura, como o número de plantas (NP), número de plantas/ metro (PM), número de vagens/ planta (VP), número grãos por vagens (GV), peso de mil sementes (PMS) e enfim calcular a produtividade estimada (PROD).

Contudo, a primeira tentativa de colheita pelo produtor foi falha, uma vez que operacionalmente não foi possível devido a alta umidade que ainda persistia. Entretanto, no dia 21 de maio a colheita ocorreu alcançando uma média de 12 sacas por hectare na área.

#### 4.4.3 Processamento dos dados

O delineamento experimental foi delineamento inteiramente casualizado, o qual foi demarcado através do GPS Essentials, para posteriores processamento de dados, no software QGis, deste modo foram 30 repetições e 04 tratamentos, conforme apresentado na Figura 08.

**Figura 09** – Mapa de Localização de unidades experimentais.



Fonte: Autoria Própria, 2021

Os conjuntos de imagens foram processados no software comercial Agisoft Photoscan Professional. Este programa representa o pacote de soluções fotogramétricas por Structure from Motion Multiview Stereo (SfM-MVS) mais acessível comercialmente atualmente. Sua solução é completa em termos de fluxo de trabalho SfM-MVS e bastante utilizado para aplicações em geociências. Deste modo, criou-se através deste software um ortomosaico para cada um dos quatro voos.

Em seguida o processamento se deu através do software QGIS Las Palmas, onde delimitou-se cada parcela como zonas de trabalho, para assim neste mesmo aplicativo criar estatísticas referentes às bandas do visível R, G e B. Os dados gerados das estatísticas foram exportados para o LibreOffice Calc, então utilizá-los para executar o cálculo dos índices de vegetação: NGRDI, RI, EXG, EXR, EXGR, CIVE, COM, VEG.

Concluído este processo, então através do software Genes (CRUZ, 2013), gerou-se estatística, através do método correlação de Pearson, com objetivo

de correlacionar os índices de vegetação encontrados através do processamento de dados obtidos pelo VANT e os aspectos produtivos da cultura.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como pode-se observar na Figura 10, que devido a pouca área foliar na imagem gerada é possível verificar a alta exposição de solo e de restos culturais derivada da cultura da soja. Já Tabela 03, observa-se as correlações obtidas para os índices espectrais e os componentes de produtividade a partir da realização do voo em estágio fenológico de V2.

**Figura 10** – Mapa de situação da lavoura de feijão no momento do primeiro voo, ocorrido no estágio fenológico V2



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Nota-se que nenhum índice apresentou correlação com os aspectos produtivos, o que permite inferir que neste estágio de desenvolvimento, estes indicadores não são eficientes para determinar previamente tais parâmetros.

Tais resultados são explicados pois neste período a cultura encontra-se no seu início de desenvolvimento, ou seja, neste momento o estande de plantas ainda está sendo definido e não há o total fechamento de linhas e pois isso, a lavoura apresenta baixa reflectância nas faixas do visível (RUBENS FILHO *et al.*, 2001).

**Tabela 03** – Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis Índice s espectrais (NGRDI, RI, EXG, EXR), EXGR, CIVE, VEG, COM, número de plantas (NP), plantas por metro (PM), vagens por planta (VP), grãos por vagem (GV), peso de mil sementes (PMS) e produtividade (PROD) obtidas em estágio fenológico de V2, de um experimento realizado em Coronel Vivida – PR, visando realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão da cultivar ANFc 5, afim de avaliar aspectos de produção através de VANT (Veículo aéreo não tripulado) e correlacioná-los com índices espectrais descritos na literatura. Pato Branco, 2021.

Variáveis	NP	PM	VP	GV	PMS	PROD
NGRDI	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>
RI	0,16 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
EXG	0,23 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>
EXR	0,14 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
EXGR	0,23 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>
CIVE	0,34 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>
VEG	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>
COM	0,34 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>
NP	-	0,98 <sup>**</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>**</sup>
PM		-	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>**</sup>
VP			-	0,49 <sup>**</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>**</sup>
GV				-	-0,08 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>**</sup>
PMS					-	-0,14 <sup>ns</sup>
PROD						-

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste T; ns não significativo a nível de 1% de probabilidade de erro pelo teste T.

Fonte: Autoria Própria, 2021.

No que se refere aos componentes de produção, ressalta-se a correlação positiva e quase perfeita entre NP e PM, ou seja, quanto maior o número de NP por área, maior será a quantidade de PM. Este resultado explica-se pelo fato de que a variável NP, é utilizada para calcular o número de PM. Outrossim, a NP e a PM, apresentaram correlação positiva com a PROD, de modo que quanto maior o número de plantas por área e por metro linear, maior será a produtividade da cultura em questão, nas condições deste experimento.

Os resultados descritos acima, são justificados pelo fato de que o número de ramificações secundárias e totais por planta correlacionam-se com a produção de grãos por planta, que por sua vez, é diretamente relacionada com o número de vagens por planta, que é uma característica de alta herdabilidade (Nakagawa; Rosolem, 1982) e que influencia a produtividade final da cultura. A alta correlação entre estes componentes de rendimento, é segundo Falconer (1996) influenciado por um processo conhecido como pleiotropismo, no qual um mesmo gene influencia na expressão de mais de um aspecto produtivo.

O VP demonstrou correlação positiva mediana tanto para a variável GV, quanto para PROD. Assim, entende-se que quanto mais vagens uma planta

apresentar, maior é a tendência de ocorrência de vagens com maior número de grãos, o que por sua vez, refletirá na PROD final da lavoura.

O mesmo foi constatado em diferentes culturas agrícolas, a exemplo do observado por Bisneta *et al.* (2015) na cultura da soja, que relatam que as correlações entre número de vagens por planta e de grãos por vagem foram significativas em diferentes hábitos de crescimentos, ou seja, ações que aumentam o número de vagens aumentam também o número de grãos por vagem.

Além de correlacionar-se com o VP, o número de GV expressou correlação positiva mediana com a PROD, o que permite inferir que, quanto maior o número de grãos por vagem que uma planta de feijão da cultivar ANFc 5 apresenta, maior será a PROD da lavoura. Neste sentido, Ramos Junior, Lemos e Silva (2005), em trabalho visando avaliar os componentes da produção, a produtividade de grãos, e as características tecnológicas de cultivares de feijão, concluíram que o número médio de GV de feijão-carioca, depende de boas condições durante o ciclo da cultura, principalmente da ausência de estresse hídrico e térmico, que são capazes de afetar consideravelmente o número de vagens e número de grãos por vagem, que no geral, possuem entre 4 a 6 grãos.

**Tabela 04** – Número de plantas (NP), plantas por metro (PM, em 3 metros de área útil), vagens por planta (VP), grãos por vagem (GV), peso de mil sementes (PMS, em g) e produtividade (PROD, em kg ha<sup>-1</sup>) obtidas em estágio fenológico de V2, de um experimento realizado em Coronel Vivida – PR, visando realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão da cultivar ANFc 5, a fim de avaliar aspectos de produção através de VANT ( Veículo aéreo não tripulado ) e correlacioná-los com índices espectrais descritos na literatura. Pato Branco, 2021.

NP	PM	VP	GV	PMS	PROD
78,53	11	8,47	3,57	232,99	1636,79

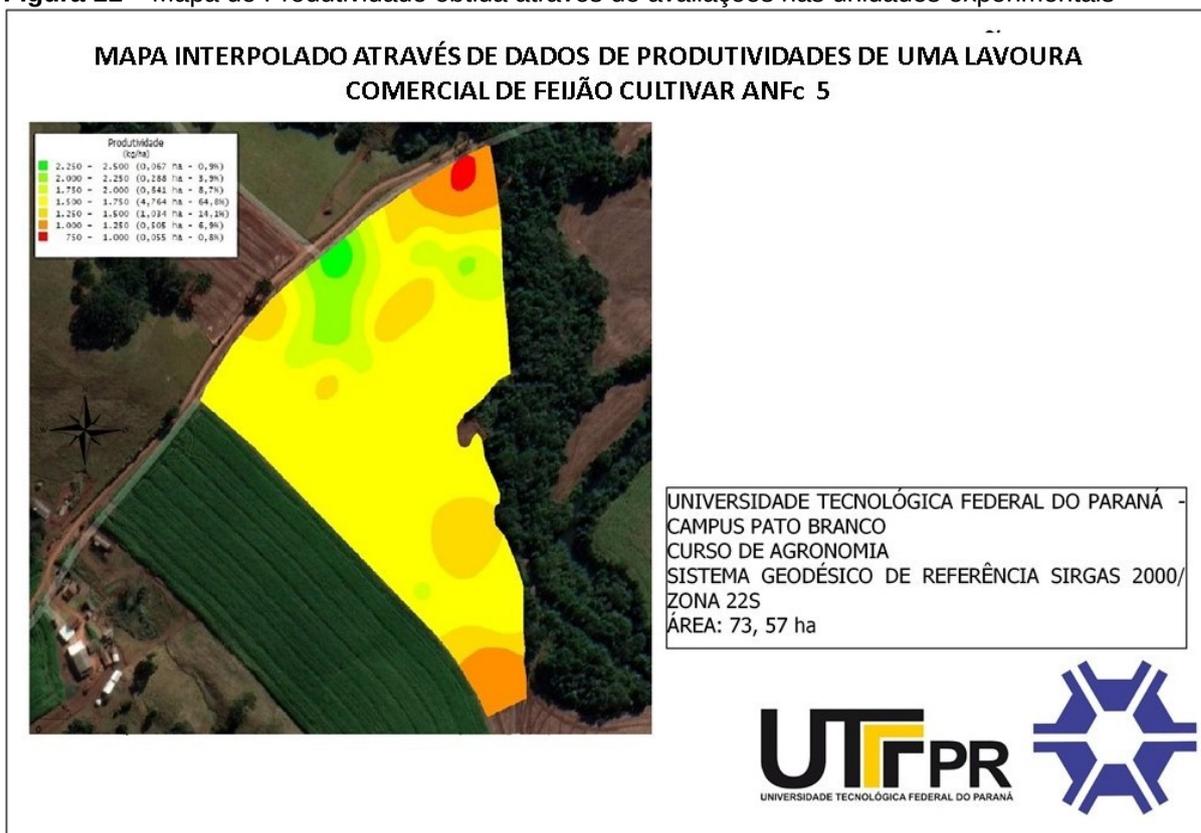
Fonte: Autoria Própria, 2021.

Os resultados ponderados pelos autores acima, estão de acordo com a média obtida no presente experimento, onde de acordo com a Tabela 04, a cultivar de feijão ANFc 5, resultou em 3,57 grãos por vagem, em uma média de 8,47 VP. Contudo, apesar destes valores serem similares aos descritos acima, entende-se que estes poderiam ser maiores, mas que as médias foram reduzidas, visto que durante todo o ciclo da cultura choveu uma média de 30 mm, onde na fase reprodutiva, somente registrou-se a ocorrência de 6 mm, que foram mensurados através de pluviômetro instalado próximo ao local de condução deste experimento.

Ainda de acordo com a Tabela 04, a média do NP por parcela foi de 78,53 plantas, o que resultou em um total de 11 PM, que de acordo com a Agronorte (2021), a densidade de semeadura recomendada encontra-se entre 10 e 13 plantas por metro, ou seja, o estande de plantas efetivo está de acordo com o recomendado pela detentora da cultivar ANFc 5.

Ademais, segundo Bisneta *et al* (2015), o estande de plantas e a densidade de semeadura adequada (segundo a recomendação dos detentores de cada cultivar) são considerados aspectos essenciais para o bom desenvolvimento desta cultura, uma vez que, em altas densidades o número de vagens por planta é menor, devido à competição entre plantas, mas a produtividade é compensada pelo maior número de plantas.

**Figura 11** – Mapa de Produtividade obtida através de avaliações nas unidades experimentais



Fonte: Autoria Própria, 2021

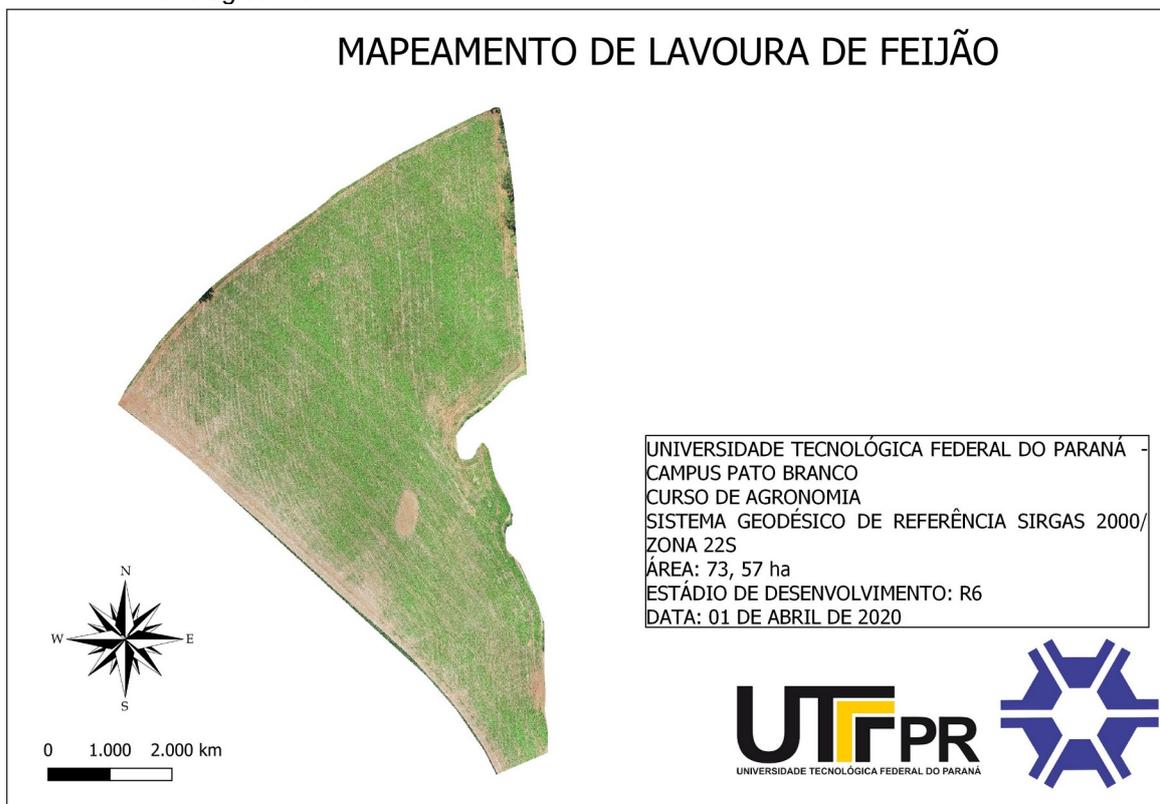
Outrossim, o PMS obtido neste experimento para a cultivar ANFc 5 foi de 232,99 gramas, o que é inferior ao esperado pela cultivar que apresenta PMS médio de 260 gramas, mas que é justificado pela baixa ocorrência de chuvas na

fase de enchimento de grãos da cultura. Entretanto, a associação destes componentes de rendimento resultou em uma produtividade estimada de 1636,79 quilogramas por hectare, o que foi descrito como esperado para esta cultivar pela obtentora da mesma (AGRONORTE, 2021).

A média de produtividade citada acima, é comprovada pelo disposto na Figura 11, onde nota-se que a maior parte da área apresentou produtividade entre 1500 e 1750 kg ha<sup>-1</sup>.

As correlações observadas no segundo voo, realizado quando a cultura encontrava-se em estágio fenológico de R6, ao contrário do observado no primeiro voo (Tabela 1), demonstram que nesta fase, os índices espectrais que indicam a reflectância das faixas do visível estão relacionados e são capazes de indicar o comportamento de alguns componentes de rendimento da cultura do feijão, o que pode ser explicado, pois em fase R6 há maior índice foliar, conforme Figura 12.

**Figura 12** – Mapa de situação da lavoura de feijão no momento do segundo voo, ocorrido no estágio fenológico R6.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Assim, observa-se na Tabela 05, que a variável VP, é correlacionada com os indicadores NGRDI, CIVE, EXG e COM. Ressalta-se que o VP possui correlação negativa com NGRDI, CIVE e COM, o que indica que quanto menor estes índices, maior será a VP. No entanto, EXG possui correlação positiva o que infere que quanto maior seu valor, maior será o número de VP.

**Tabela 05** – Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis Índice s espectrais (NGRDI, RI, EXG, EXR), EXGR, CIVE, VEG, COM e componentes de rendimento NP, PM, VP, GV, PMS e PROD obtidas em estádio fenológico de R6, de um experimento realizado em Coronel Vivida – PR, visando realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão da cultivar ANFc 5, afim de avaliar aspetos de produção através de VANT (Veículo aéreo não tripulado) e correlacioná-los com índices espectrais descritos na literatura. Pato Branco, 2021.

Variáveis	NP	PM	VP	GV	PMS	PROD
NGRDI	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,37*	-0,42*	0,02 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>
RI	0,08 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
EXG	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	0,39*	0,41*	0,01 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
EXR	0,17 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
EXGR	0,17 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
CIVE	0,13 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,38*	-0,41*	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>
VEG	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,41*	0,29 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>
COM	0,13 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,37*	-0,41*	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>
NP	-	0,98**	-0,23 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,67**
PM		-	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,67**
VP			-	0,49**	-0,19 <sup>ns</sup>	0,47**
GV				-	-0,08 <sup>ns</sup>	0,49**
PMS					-	-0,14 <sup>ns</sup>
PROD						-

\*Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste T; \*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste T; ns não significativo a nível de 1% de probabilidade de erro pelo teste T.

Fonte: Autoria Própria, 2021.

Outrossim, o componente de rendimento GV também correlaciona-se com diversos dos índices espectrais avaliados neste estudo, sendo eles: NGRDI, EXG, CIVE, VEG e COM. Assim como visualizado para VP, NGRDI, CIVE e COM, resultaram em correlação mediana e negativa, ou seja, à medida que estes índices diminuem os valores GV aumentam, sendo afetadas de maneira inversamente proporcional.

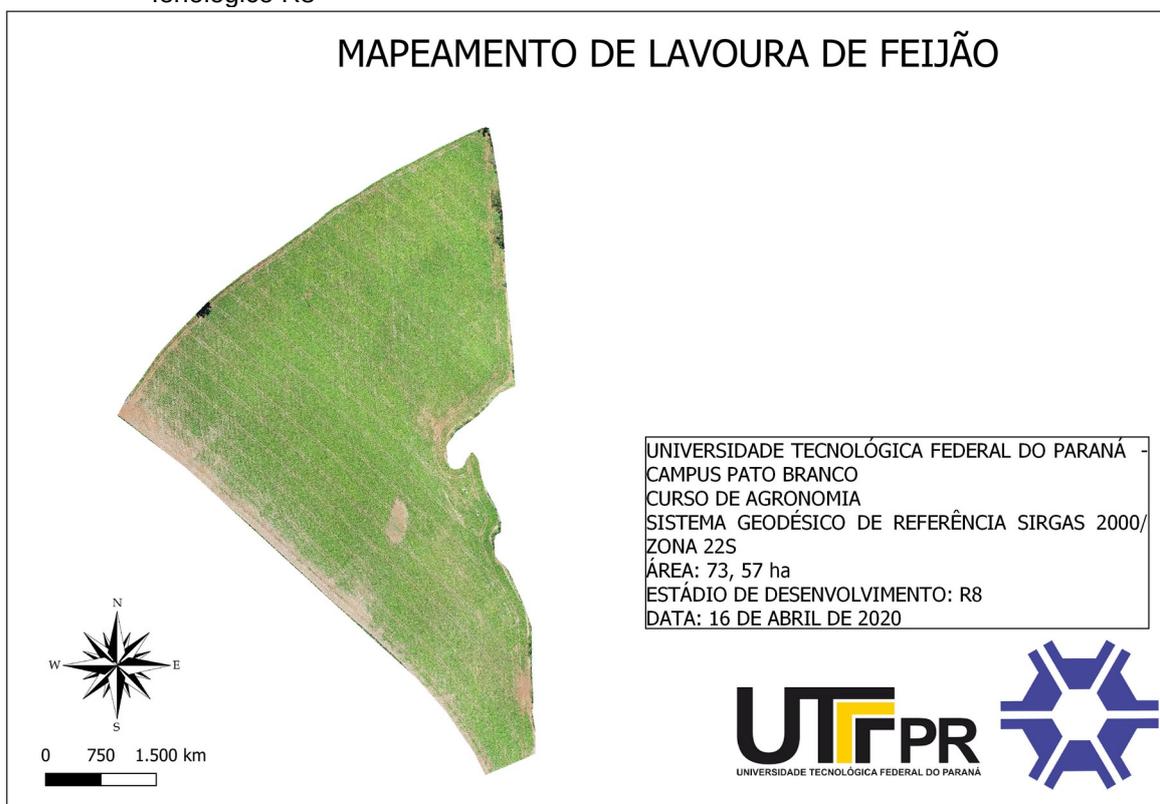
Neste contexto, de acordo com Costa e Zimmermann (1988), na cultura do feijão a produtividade é altamente correlacionada com os componentes de produção: número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa de grãos. Entretanto, sabe-se estas características são altamente afetadas pelas condições do ambiente produtivo, de modo que alguns componentes de produção podem aumentar e outros diminuir, facilitando a estabilidade produtiva (CASQUERO

*et al.*, 2006). Assim, a realização da estimativa dos componentes de produção através do sensoriamento remoto e dos indicadores acima citados que se correlacionam ao GV e com a VP, é uma forma eficiente de auxiliar o produtor, para que este consiga tomar decisões assertivas antes mesmo da realização da colheita da cultura.

Ressalta-se ainda, que neste voo e nos voos posteriores, obteve-se a mesma correlação entre componentes de rendimento, o que se justifica pelo fato de que a mensuração destes valores para todos os voos foi realizada somente uma vez, no final do ciclo da cultura.

Como observa-se na Figura 13, plantas mais desenvolvidas com índice foliar mais significativo, porém devido a sua genética e fatores edafoclimáticos as plantas não compõe totalmente a linha, ou seja, é facilmente visualizado as linhas de plantio.

**Figura 13** – Mapa de situação da lavoura de feijão no momento do terceiro voo, ocorrido no estágio fenológico R8



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Desta forma na Tabela 6, tem-se as matrizes de correlação de Pearson obtidas a partir da realização do terceiro voo, que deu-se quando a cultura encontrava-se em R8. Nota-se que neste estágio de desenvolvimento, ao contrário do observado em R6, a variável GV não correlacionou-se com nenhum índice matemático, o que pode ser justificado por este ser um período em que a planta inicia a sua desfolha e por isso, tem-se uma menor reflectância, o que reduz o reconhecimento das faixas do visível. Este resultado está de acordo com o constatado por Almeida e Fontana (2009), que ao estudarem as respostas espectrais da cultura da soja ao longo do ciclo, submetida a diferentes sistemas de preparo do solo e níveis de irrigação, observaram que quando as plantas encontravam-se em processo de senescência, os índices de vegetação demonstraram redução acentuada, com valores inferiores aos visualizados no início do ciclo.

**Tabela 06** – Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis Índices espectrais (NGRDI, RI, EXG, EXR), EXGR, CIVE, VEG, COM e componentes de rendimento (NP, PM, VP, GV, PMS e PROD) obtidas em estágio fenológico de R8, de um experimento realizado em Coronel Vivida – PR, visando realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão da cultivar ANFc 5, afim de avaliar aspectos de produção através de VANT (Veículo aéreo não tripulado) e correlacioná-los com índices espectrais descritos na literatura. Pato Branco, 2021.

Variáveis	NP	PM	VP	GV	PMS	PROD
NGRDI	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
RI	0,04 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>
EXG	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,39*	0,26 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
EXR	0,17 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,30 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
EXGR	0,08 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,37*	-0,25 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>
CIVE	0,14 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,38*	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>
VEG	0,03 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,12*	-0,10 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>
COM	0,15 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,38*	-0,32 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>
NP	-	0,98**	-0,23 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,67**
PM		-	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,67**
VP			-	0,49**	-0,19 <sup>ns</sup>	0,47**
GV				-	-0,08 <sup>ns</sup>	0,49**
PMS					-	-0,14 <sup>ns</sup>
PROD						-

\*Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste T; \*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste T; ns não significativo a nível de 1% de probabilidade de erro pelo teste T.

Fonte: Autoria Própria, 2021.

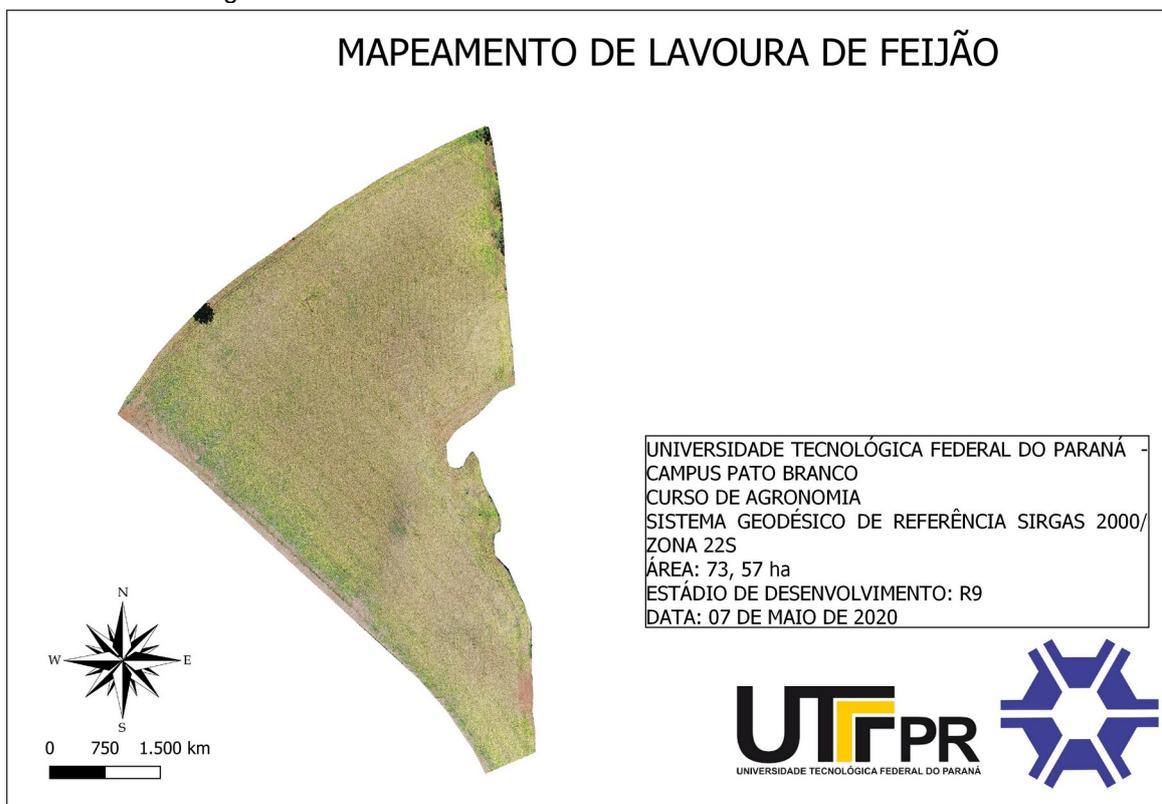
O VP, por outro lado, no terceiro voo continuou apresentando correlação com diversos índices, tais quais EXG, EXGR, CIVE e COM. Ressalta-se que somente o índice EXG demonstrou correlação positiva com esta variável,

demonstrando que quanto maior o seu valor, maior será o número de vagens por planta.

Entre os índices correlacionados com o VP, o COM merece destaque, uma vez que este indicador é capaz de identificar plantas, sendo estas daninhas ou não, mesmo em condições de contaminação destas no solo, ou seja, mesmo quando as espécies vegetais encontram-se sujas, o que é comumente observado após períodos chuvosos ou realização de irrigação (SILVA *et al.*, 2019). Assim, entende-se que a utilização deste índice é uma forma eficiente de determinar os componentes de rendimento de plantas de uma lavoura, já que, sua utilização é possível mesmo em condições limitantes.

Na Figura 14, é possível verificar um menor índice vegetativo que se justifica pela senescência das plantas, que se encontravam-se em final de ciclo, além da aplicação de herbicida pré-colheita para homogeneização da área para facilitar o manejo operacional de colheita.

**Figura 14** – Mapa de situação da lavoura de feijão no momento do quarto voo, ocorrido no estágio fenológico R9



Fonte: Autoria Própria, 2021

Na Tabela 07, verifica-se que a variável GV correlacionou-se com todos os índices espectrais avaliados neste experimento, de modo que somente os índices RI, EXGR e CIVE, correlacionaram-se positivamente com este aspecto produtivo. O CIVE, no entanto, apesar de ter apresentado correlação positiva necessita de atenção especial ao fazer-se uso do mesmo, uma vez que de acordo com Silva *et al.* (2019), a generalização e replicação para grandes áreas da utilização deste índice podem resultar em significativas imprecisões. Além disso, salienta-se que no estágio de desenvolvimento em que a cultura encontrava-se (R9), as plantas haviam passado pelo processo de dessecação pré-colheita e por isso, apresentavam senescência foliar, o que para Pedrali *et al.* (2019), interfere na faixa espectral do vermelho reduzindo a reflectância e afetando o cálculo dos demais índices.

**Tabela 07** – Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis Índices espectrais (NGRDI, RI, EXG, EXR), EXGR, CIVE, VEG, COM e componentes de rendimento NP, PM, VP, GV, PMS e PROD obtidas em estágio fenológico de R9 (pré-colheita), de um experimento realizado em Coronel Vivida – PR, visando realizar o acompanhamento de uma lavoura de feijão da cultivar ANFc 5, afim de avaliar aspectos de produção através de VANT (Veículo aéreo não tripulado) e correlaciona-los com índices espectrais descritos na literatura. Pato Branco, 2021.

Variáveis	NP	PM	VP	GV	PMS	PROD
NGRDI	0,13 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,55**	-0,009 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>
RI	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,55**	0,009 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>
EXG	0,24 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,44*	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
EXR	0,17 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,41*	-0,27 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>
EXGR	-0,20 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,26*	0,51**	0,02 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
CIVE	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,27*	0,48*	0,06 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
VEG	0,04 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,54**	0,007 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>
COM	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,26*	0,06 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>
NP	-	0,99**	-0,28 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,68**
PM	-	-	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	0,67**
VP	-	-	-	0,49*	-0,14 <sup>ns</sup>	0,47*
GV	-	-	-	-	-0,20 <sup>ns</sup>	0,47*
PMS	-	-	-	-	-	-0,30 <sup>ns</sup>
PROD	-	-	-	-	-	-

\*Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste T; \*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste T; ns não significativo a nível de 1% de probabilidade de erro pelo teste T.

Fonte: Autoria Própria, 2021.

## 6 CONCLUSÕES

No estágio fenológico de R2, o voo com VANT não é capaz de resultar em índices correlacionados com os componentes de produtividade do feijão. Já a determinação do VP e GV de plantas de feijão da cultivar ANFc 5, pode ser realizada através de voos com VANT, nos estádios fenológicos de R6, R8 e R9. No entanto, no estágio fenológico de R6, o VP correlaciona-se com NGRDI, EXG, CIVE e COM e o GV correlaciona-se com NGRDI, EXG, CIVE, VEG e COM. Toda via, no estágio fenológico de R8, o VP correlaciona-se com EXG, EXGR, CIVE e COM e o GV, correlaciona-se com VEG. Por fim, no estágio fenológico de R9, o VP correlaciona-se com EXGR e CIVE, enquanto o GV, correlaciona-se com todos os índices espectrais avaliados neste experimento. O que se refere aos componentes de rendimento as variáveis NP, PM, PMS e PROD não apresentaram correlação com nenhum índice matemático avaliado em nenhum dos estádios fenológicos estudados.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensoriamento remoto é uma importante aliada dos produtores rurais, uma vez que é um método relativamente acessível, possuindo diversas vertentes que auxiliam desde produtores familiares, até grandes latifundiários a obterem informações que dão suporte para que estes tomem decisões assertivas.

Deste modo, entende-se que a utilização de índices de vegetação constituem-se em ótimas ferramentas de sensoriamento remoto para monitoramento de vegetação, sendo elas em áreas agricultáveis ou de preservação, especialmente quando utiliza-se de bandas do visível, pois pode-se utilizar câmeras comerciais, em vez de câmeras com sensores específicos que são mais onerosos e que dificultam o acesso desta tecnologia a uma grande parcela dos pequenos e médios produtores brasileiros.

Entretanto, salienta-se que esta ferramenta apesar de encontrar-se disponível no mercado a alguns anos, ainda necessita de estudos mais aprofundados em relação aos distintos métodos e em diferentes culturas agrícolas.

Deste modo, sugere-se que em trabalhos futuros, utilize-se além dos índices espectrais descritos neste trabalho, o índice VDVI - (Visible Band Difference Vegetation Index), uma vez que este é altamente indicado para avaliação e acompanhamento de áreas agricultáveis através de VANTs.

## REFERÊNCIAS

- AGRONORTE PESQUISA E SEMENTES. **Semente de feijão carioca – ANFc 5**. Disponível em: [https://www.agronorte.com.br/Produtos/FeijaoCarioca/42-Anfc\\_5](https://www.agronorte.com.br/Produtos/FeijaoCarioca/42-Anfc_5). Acesso em: 15 jul. 2021.
- ALMEIDA, Tatiana S. de; FONTANA, Denise. Utilização de índices de vegetação na diferenciação de condições de manejo na cultura da soja. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETERELOGIA, 16. Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: INPE, 2009.
- ANGULO FILHO, Rubens *et al.* Comportamento espectral da cultura do feijão (IAC, Carioca 80) irrigado por diferentes lâminas de água. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: INPE, 2001.
- ATZBERGER, Clement. Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. **Remote Sensing**, v. 5, n. 2, p.949-981, 2013.
- AZEVEDO, Juscelino Antonio de *et al.* **Produtividade do Feijão de Inverno Influenciada por Irrigação, Densidade de Plantio e Adubação em Solo de Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 4 p.
- BRANDÃO, Ziany Neiva. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- BRANDÃO, Ziany Neiva *et al.* Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. *In*: AZEVÊDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.1300-1309.
- BRITO, Giovani Greigh *et al.* Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in cotton plants. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33,n. 4, p. 671-678, 2011.
- CAMARGO NETO, João. **Combined Statistical – Soft computing approach for classification and mapping weed species in minimum tillage systems**. Lincoln: University of Nebraska, 2004.
- CAMARGO, Wander Bueno de. **Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto no Mapeamento da Vegetação do Fundo de Vale do Córrego Barreiro-Londrina/Pr**. Monografia (Graduação em Geografia) - Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.
- CHIORATO, Alisson Fernando. **Divergência genética em acessos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) do banco de germoplasma do Instituto Agronômico - IAC**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Concentração em Melhoramento Vegetal, Instituto Agronômico, Campinas, 2004.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, 2013.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária: safra 2018/2019**. v., n.1. Brasília: Conab, 2018.

CONAB. **Portal de informações agropecuárias: Grãos – Série Histórica**. 2019. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-dashboard> . Acesso em: 16 set. 2019.

CORONEL VIVIDA, Prefeitura Municipal. **Plano Diretor Municipal**. Coronel Vivida: Empresa Líder Engenharia e Gestão de Cidades Ltda, 2018. 344 p.

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa *et al.* Efeito do nitrogênio sobre a qualidade fisiológica, produtividade e características de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 1, p. 108-115, 2003.

DAUGHTRY, Craig *et al.* Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. **Remote Sensing Of Environment**, v. 74, n. 2, p229-239, 2000.

DIDONET, A. D. Ecofisiologia e rendimento potencial do feijoeiro. *In*: DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. (Eds.). **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro comum**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p. 9-37.

DJI. **Phantom4 PRO**. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4-pro> . Acesso em: 10 out. 2019.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Mapa do Brasil**. Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/dnit-geo/mapas-multimodais/mapaBrasil220213.jpg/view> . Acesso em: 10 out. 2019.

DREAMSTIME. **Azul do continente de América do Sul marcado na silhueta cinzenta do mapa do mundo Ilustração lisa simples do vetor**. 2019. Disponível em: <https://pt.dreamstime.com/azul-do-continente-de-%C3%A1m%C3%A9rica-sul-marcado-na-silhueta-cinzenta-mapa-mundo-ilustra%C3%A7%C3%A3o-lisa-simples-vetor-image107469204> . Acesso em: 10 out. 2019.

Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Catálogo de Cultivares de Feijão Comum da Embrapa**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2017. 15 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Integração Lavoura-Pecuária em pequenas propriedades: o que o produtor precisa saber**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/26123732/artigo---integracao-lavoura-pecuaria-em-pequenas-propriedades-o-que-o-produtor-precisa-saber> . Acesso em: 15 out. 2020.

EPAGRI, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Comissão Técnica Sul-brasileira de Feijão**: Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira. 2. ed. Florianópolis: EPAGRI, 2012. 157 p.

ESCADAFAL, Richard; HUETE, Alfredo. Étude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à l'amélioration des indices de végétation obtenus par télédétection. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, v. 312, n. 1, p. 1385–1391, 1991.

ESQUERDO, Júlio César Dalla Mora *et al.* Uso de perfis multi-temporais de NDVI/AVHRR no acompanhamento da cultura da soja no oeste do Paraná. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 145-150.

HILL, William G. and Mackay, Trudy F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. Longmans Green: Essex, 1996, 464p.

FERREIRA, Carlos Magri. **Feijão: Mercado**. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_69\\_1162003151646.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_69_1162003151646.html) . Acesso em: 10 set. 2019.

FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2011. 84 p.

FORMAGGIO, Antonio Roberto; SANCHES, Ieda Del'arco. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2017. 49 p.

GOOGLE MAPS. **Local de Estudo**. Disponível em: <https://www.google.com/maps/dir/Coronel+Vivida,+PR/-25.9627381,-52.6023035/@-25.9634839,-52.603702,545m/data=!3m1!1e3!4m9!4m8!1m5!1m1!1s0x94effa2862ada8f5:0xff166a2c67851c7a!2m2!1d-52.5678016!2d-25.979821!1m0!3e0> . Acesso em: 11 out. 2019.

GUERRERO, J. M. *et al.* Support vector machines for crop/weeds identification in maize fields. **Expert Systems with Applications**, v.39, n.1, p. 11149–11155, 2012.

HOFFMANN, Rodolfo. A diminuição do consumo de feijão no Brasil. **Estudos Econômicos**, v. 25, n. 2, p. 189-201, 1995.

HUNT, E.R., *et al.* Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible band index. **Agronomy Journal**, v. 103, n.1, p. 1090–1099, 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Coronel Vivida: Censo Agropecuário**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/coronel-vivida/pesquisa/24/76693> . Acesso em: 10 out. 2019.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno estatístico: Município de Coronel Vivida**. Curitiba: IPARDES, 2019. 47 p.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Leituras regionais: Messorregião Geográfica Sudoeste Paranaense/Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social**. Curitiba: IPARDES, 2004. 139 p.

JOHANN, Jerry Adriani. **Calibração de dados agrometeorológicos e estimativa de área e produtividade de culturas agrícolas de verão no estado do Paraná**.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, Campinas, 2012.

LAN, H. Y. *et al.* Development of an Integrated Sensor and Instrumentation System for Measuring Crop Conditions. **Agricultural Engineering International**, v. 11, n. 8, p.1-16, 2009.

LIU, Liangyun *et al.* Predicting winter wheat condition, grain yield and protein content using multi-temporal EnviSat-ASAR and Landsat TM satellite images. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 27, n. 4, p.737-753, 2006.

MAFRA, R. C. **Contribuição ao estudo da cultura do "feijão-de-corda"**: fisiologia, ecologia e tecnologia da produção. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1979. 39 p.

MANCAHRT, John A; ONYANGO, Christine M. Shadow-invariant classification for scenes illuminated by daylight. **Journal of the Optical Society of America**, v. 17, n. 1, p. 1952–1961, 2002.

MASELLI, F. *et al.* Environmental monitoring and crop forecasting in the Sahel through the use of NOAA NDVI data. A case study: Niger 1986–89. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 14, n. 18, p. 3471-3487, 1993.

MERCANTE, Erivelto *et al.* Detection of soybean planted areas through orbital images based on culture spectral dynamics. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, p. 920-931, 2012.

MEYER, George E. and CAMARGO NETO, João Camargo. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 63, n. 1, p. 282-293, 2008.

NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A. Correlação entre algumas características da planta da cultivar "Tatu" de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Ecossistema**, v. 7, n. 1, p. 5-7, 1982.

NOGUEIRA, Ana Paula Oliveira *et al.* - Ana Paula Oliveira Nogueira; Tuneo Sedyama; Larissa Barbosa de Sousa; Osvaldo Toshiyuki Hamawaki; Cosme Damião Cruz; Derval Gomes Pereira e Eder Matsuo - Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012.

OLIVEIRA, Márcia Gonzaga de Castro *et al.* **Conhecendo a Fenologia do Feijoeiro e Seus Aspectos Fitotécnicos**. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 2018. 59 p.

PAULA, Júlio César. **Desenvolvimento de um vant do tipo quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definição**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PECHARROMÁN, José María Peral; VEIGA, Ricardo. **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados**. Brasília: Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil, 2017. 92 p.

PEDRALI *et al.* - Leticia Pedrali; Norton Borges; Rudiney Soares Pereira e Juliana Tramontina- Remoto multiespectral para determinação de níveis de severidade de seca de ponteiros em *Eucalyptus spp.* **Scientia Forestalis**, v. 47, n.122, p. 224-234, 2019.

PIRES, João Leonardo Fernandes *et al.* **Discutindo Agricultura de Precisão: Aspectos Gerais**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 21 p.

QUARTAROLI, Carlos Fernando; VICENTE, Luiz Eduardo; ARAÚJO, Luciana Spinelli. **Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103388/1/Cap.-4.pdf> . Acesso em: 15 out. 2020.

QUEIROZ, José E. R.; GOMES, Herman M. Introdução ao processamento digital de imagens. **RITA**, v. 8, n. 1, p. 1-31, 2001.

QUINTELA, Eliane D. **Manejo integrado de pragas do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2001. 28 p.

RAMOS JUNIOR, Edison Ulisses; LEMOS, Leandro Borges; SILVA, Tiago Roque Benetoli da. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 75-82, 2005.

RASMUSSEN, M. S. Assessment of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from the AVHRR. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 18, p. 3431–3442, 1992.

RUAS, João Figueiredo. **Perspectivas para a agropecuária / Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília: CONAB, 2018. 104 p.

SHIRATSUCHI, Luciano Shozo *et al.* Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. *In*: BERNARDI, Alberto Carlos de Campos (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 58-73.

SILVA, Osmira Fátima da; WANDER, Alcido Elenor. **O feijão-comum no Brasil: Passado, presente e futuro**. 21. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. 61 p.

SOUZA, Climaco Cezar de. **Produção e suprimento mundial de feijão**. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/colunistas/producao-e-suprimento-mundial-de-feijao\\_386836.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/producao-e-suprimento-mundial-de-feijao_386836.html) . Acesso em: 11 out. 2019.

TROPICOS. ***Phaseolus vulgaris* L.** Disponível em: <https://www.tropicos.org/Name/13031753> . Acesso em: 12 set. 2019.

TSOUROS, Dimosthenis C. *et al.* Data Acquisition and Analysis Methods in UAV-based Applications for Precision Agriculture. **International Conference On Distributed Computing In Sensor Systems**, v. 15, n. 15, p.377-384, 2019.

VAZ BISNETA, M. *et al.* Correlação entre componentes de produção em soja como função de tipo de crescimento e densidade de plantas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6. **Anais [...]** Brasília: APROSOJA, 2015.

WOEBBECKE, D. M. *et al.* Color indices for weed identification under various soil, residue and lighting conditions. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 1, p. 259–269, 1995.

YOKOYAMA, L. P. *et al.* Sementes de feijão: produção, uso e comercialização. *In*: VIEIRA, E. H. N.; RAVA, C. A. (Eds.) - Carlos Agustín Rava Edson Herculano Neves Vieira Gabriela Alves Moreira. **Sementes de feijão**: produção e tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2000. p. 249-270.

ZHANG, Naiqian; WANG, Maohua; WANG, Ning. Precision agriculture – a worldwide overview. **Computers And Electronics In Agriculture**, v. 36, n. 2, p.113-132, nov. 2002.

ZHAO, D. H.; LI, J. I.; QI, J. G.. Identification of red and NIR spectral regions and vegetative indices for discrimination of cotton nitrogen stress and growth stage. **Computers And Electronics In Agriculture**, v. 48, n. 2, p. 155-169, ago. 2005.