



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**ANÁLISE DE IMAGENS DO ESPECTRO VISÍVEL DOS ESTÁGIOS
FENOLÓGICOS R8 E R9 NA CULTURA DO FEIJÃO, POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E VANT**

CARMIRAN BATISTA TURÍBIO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA – DF
FEVEREIRO 2023



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**ANÁLISE DE IMAGENS DO ESPECTRO VISÍVEL DOS ESTÁGIOS
FENOLÓGICOS R8 E R9 NA CULTURA DO FEIJÃO, POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E VANT**

CARMIRAN BATISTA TURÍBIO

ORIENTADOR: JOÃO JOSÉ DA SILVA JUNIOR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA – DF
FEVEREIRO 2023



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ANÁLISE DE IMAGENS DO ESPECTRO VISÍVEL DOS ESTÁGIOS
FENOLÓGICOS R8 E R9 NA CULTURA DO FEIJÃO, POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E VANT

CARMIRAN BATISTA TURÍBIO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE DE AGRONOMIA E
MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRA EM
AGRONOMIA.

APROVADO POR:

JOÃO JOSÉ DA SILVA JUNIOR, Dr. (ORIENTADOR) / Faculdade de Agronomia e
Medicina Veterinária - Universidade de Brasília / e-mail: jjsjunior@unb.br

TIAGO PEREIRA DA SILVA CORREIA, Dr. (EXAMINADOR INTERNO) / Faculdade de
Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília / e-mail: tiagocorreia@unb.br

MARINA ROLIM BILICH NEUMANN, Dr. (EXAMINADOR INTERNO) / Faculdade de
Agronomia e Medicina Veterinária - Universidade de Brasília / e-mail: marinabilich@unb.br

JOSÉ ANTÔNIO DO VALE SANTANA, (EXAMINADOR EXTERNO), Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso / e-mail: jose.santana@cfs.ifmt.edu.br

BRASÍLIA- DF

FEVEREIRO/2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Turíbio, Carmiran Batista.

Análise de imagens do espectro visível dos estágios fenológicos r8 e r9 na cultura do feijão, por meio de sensoriamento remoto orbital e vant / Carmiran Turíbio; orientação de João José da Silva Júnior – Brasília, 2023.

56 p.: ii

Dissertação de mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2023

1. Feijão. 2. Índice de vegetação. 3. Drone. 4. VANT. 5. Agricultura de precisão
I. Silva Júnior, J. II. Doutor

CDD OU CDU

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

TURÍBIO, C. B. Análise de imagens do espectro visível dos estágios fenológicos r8 e r9 na cultura do feijão, por meio de sensoriamento remoto orbital e vant.

Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2023, 56 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Carmiran Batista Turíbio

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **Análise de imagens do espectro visível dos estágios fenológicos r8 e r9 na cultura do feijão, por meio de sensoriamento remoto orbital e vant.**

GRAU: Mestra ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Carmiran Batista Turíbio

CPF: 050.171.471-52

Endereço: SCRN 710/711 BL F EN 24 EDIFÍCIO ASPEN – Asa Norte- Brasília - DF

Telefone: (61) 99306-2981

e-mail: carmiranturibio@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à Deus, pelo privilégio da vida, pelos momentos que me aconselhou, sobretudo naqueles em que mais precisei, nesta caminhada acadêmica.

A meu pai, José Turíbio Neto que me educou, amou e me ensinou a buscar o conhecimento, saudades eternas e saiba que o senhor é o melhor pai. A meus familiares, especialmente minha avó Antônia, minha mãe Rita de Cássia e meus tios Reginaldo e Márcia por me apoiarem desde sempre.

A FAP/DF pela bolsa concedida e a Faculdade de Agronomia e Veterinária, ao programa de Pós-Graduação em Agronomia e à Universidade de Brasília.

Aos meus amigos, primeiramente a Ma. Adriana Andrade, Amanda Aguiar, Ma. Amanda Medrado, Kallene Souza, Geovanna Gualberto, Lorena Reis, Flávia Mariah, Pedro Haddad, Raphaela Jácomo, Samila Dourado e Jordanny Costa.

A meu orientador, Dr. João José da Silva Junior, pelos ensinamentos, incentivo e sobretudo, por aceitar um novo desafio e principalmente pela contribuição ímpar para a realização deste trabalho, sem a qual não seria possível.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema do Sensoriamento Remoto (SR)	17
Figura 2 - Espectro de radiação eletromagnética	18
Figura 3. Mapa de Localização da Área em estudo	26
Figura 4. Fluxograma das etapas de campo e escritório visando à obtenção dos valores dos índices GLI, VARI, NGRDI e VEG.	Erro! Indicador não definido.
Figura 5. Mapas dos índices de vegetação do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) 68 e 69 dias após a semeadura do pivô 1	34
Figura 6. Mapas dos índices de vegetação do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) 71 dias após a semeadura pivô 1	36
Figura 7. Mapas dos índices de vegetação do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) 74 dias após a semeadura pivô 1.	38
Figura 8. Mapas dos índices de vegetação do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) 78 dias após a semeadura.....	40
Figura 9. Mapas dos índices de vegetação do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) 84 e 85 dias após a semeadura.....	42
Figura 10. Mapas dos índices de vegetação do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) 73 dias após a semeadura pivô 2	44
Figura 11. Mapas dos índices de vegetação do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) 84 e 86 dias após a semeadura pivô 2.	46
Figura 12. Histograma do teste de normalidade dos dados GLI, NGRDI, VARI e VEG	47
Figura 13. Gráfico Q-Q Plot do GLI.....	48
Figura 14. Gráfico Q-Q Plot do NGRDI.....	49
Figura 15. Gráfico Q-Q Plot do VARI.....	49
Figura 16. Gráfico Q-Q Plot do VEG	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Características dos tipos de VANT	19
Tabela 2. Características Técnica do espectro de câmeras	21
Tabela 3. Datas e horários referentes aos voos	27
Tabela 4. Características dos equipamentos utilizados à campo.....	28
Tabela 5. Tempo de processamento	30
Tabela 1. Descrição de índices de vegetação utilizados	31
Tabela 7. Descrição de índices de vegetação utilizados	30
Tabela 8. Estatística descritiva.....	32

ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GIL	Green Leaf Index
NGRDI	Green Red Difference Index
NIR	Near Infrafer
SR	Sensoriamento Remoto
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VARI	Index Resistant to Atmosphere in the Visible Region
VEG	Vegetative
RGB	Red Green Blue

ANÁLISE DE IMAGENS DO ESPECTRO VISÍVEL DOS ESTÁGIOS FENOLÓGICOS R8 E R9 NA CULTURA DO FEIJÃO, POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E VANT

RESUMO

O uso de tecnologias voltadas para agricultura de precisão atualmente tem sido mais acessível e são ferramentas fundamentais para gestão e monitoramento de cultivos. O feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma das culturas de maior importância econômica no Brasil, além de ser uma leguminosa rica em proteínas, carboidratos e aminoácidos. Considerando isso, o presente estudo tem como objetivo avaliar os estágios fisiológicos de enchimento das vagens (R8) e maturação (R9) da cultura do feijão utilizando imagens RGB adquiridas por VANT e satélite. Os produtos gerados no processamento das imagens são mapas temáticos dos índices de vegetação, sendo Índices de Vegetação Green Leaf Index (GLI); Normalized Green-Red Difference Index (NGRDI); Index Resistant to Atmosphere in the Visible Region (VARI) e Vegetative (VEG). Nos testes de normalidade a um nível de significância estatística de 5% para os conjuntos de dados satélite e drone, ambos apresentaram os mesmos comportamentos, em todas os dados do drone indicaram pressupostos de normalidade ($p\text{-value} = 2.2e^{-16}$) e os dados do satélite seguiram o mesmo comportamento, ($p\text{-value} < 2.2e^{-16}$). No que diz respeito aos valores da raiz quadrada média do erro, a resposta dos valores advindos de drone foi equivalente a ($y:0,42x+0,25$; RMSE:0,2; $R^2:0,81$) e os valores de satélite é ($y:0,12x+0,25$; RMSE:0,04; $R^2:0,93$). O modelo foi aplicado para desenvolver mapas de índices de vegetação mostraram a variabilidade dos estágios finais da cultura do feijoeiro R8 e R9. Esses resultados destacam o grande potencial do uso de imagens do espectro visível advindas por VANT e Sentinel-2 para o gerenciamento de colheita em razão da variabilidade espacial de maturação do feijão.

Palavras-chave: Feijão; Índice de Vegetação; Drone; VANT e Agricultura de precisão.

**ANALYSIS OF IMAGES OF THE VISIBLE SPECTRUM OF R8 AND R9
PHENOLOGICAL STAGES IN BEAN CROP, USING ORBITAL AND UAV
REMOTE SENSING**

ABSTRACT

The use of technologies aimed at precision agriculture is currently more accessible and they are fundamental tools for managing and monitoring crops. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are one of the most economically important crops in Brazil, in addition to being a legume rich in proteins, carbohydrates and amino acids. Considering this, the present study aims to evaluate the physiological gains of pod filling (R8) and advanced (R9) of the bean crop using RGB images acquired by UAV and satellite. The products generated in image processing are thematic maps of vegetation indices, namely the Green Leaf Index (GLI); Normalized Green-Red Difference Index (NGRDI); Atmosphere Resistance Index in the Visible Region (VARI) and Vegetative Region (VEG). In the normality tests at a statistical significance level of 5% for the satellite and drone datasets, both adopted the same behaviors, in all drone data they indicated normality budgets ($p\text{-value} = 2.2e-16$) and the satellite data followed the same behavior, ($p\text{-value} < 2.2e-16$). With regard to the values of the root mean square error, the response of the values coming from the drone was equivalent to ($y:0.42x+0.25$; RMSE:0.2; $R^2:0.81$) and the values of satellite is ($y:0.12x+0.25$; RMSE:0.04; $R^2:0.93$). The model was applied to develop maps of vegetation indices appreciating the variability of the end of bean crop R8 and R9. These results highlight the great potential of using visible spectrum images from UAV and Sentinel-2 for harvest management due to the spatial variability of beans.

Keywords: Bean; Vegetation Index; drone; UAV and Precision Agriculture

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Sensoriamento Remoto.....	16
3.2 Veículo Área Não Tripulado	18
3.3 Câmera Termal e Multiespectral	21
3.4 Agricultura de precisão	22
3.5 Índices de Vegetação.....	23
3.5.1 Índice de vegetação de folha verde (GLI).....	23
3.5.2 Índice de vegetação da diferença normalizada do verde e do vermelho (NGRDI).....	24
3.5.3 Índice de vegetação com resistência atmosférica ao visível (VARI).....	24
3.5.4 Vegetativo (VEG).....	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 Caracterização da área de estudo.....	26
4.3 Equipamentos e planejamento de voo	27
4.4 Aquisição das imagens satélite.....	29
4.5 Processamento dos dados	29
4.6 Análise estatística	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1 Estatística descritiva	31
5.2 Produtos gerados	33
5.3 Análises de variância.....	47
6. CONCLUSÕES	50
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

As práticas agrícolas são modificadas constantemente, com isso para alavancar os resultados, a agricultura de precisão (AP) atrelada juntamente com a inovação tecnológica tornou-se indispensável ao agricultor, melhorando às deficiências e destacando as potencialidades da produção agrícola. A inovação tecnológica é um elemento chave na perspectiva por novas chances de crescimento de mercado, e dentro do setor agrícola ocorre uma constante inovação de maquinários, equipamentos e biotecnologias (CIRANI et al., 2010; DELAY et al., 2022).

Estima-se que no ano de 2050 o planeta terra irá alimentar cerca de 9 a 10 bilhões de pessoas. Em contrapartida, é necessária uma maior capacidade hídrica visando garantir a sustentabilidade de futuras gerações e do meio ambiente. Contudo, o uso de tecnologias que auxiliam no monitoramento agrícola contribui no aumento de produção sem elevar o consumo de água (FAO, 2022).

Uma das técnicas que auxiliam no monitoramento agrícola é o sensoriamento remoto (SR). O SR é ferramenta capaz de buscar informações de um objeto, área ou fenômeno por meio da análise de dados. Esses dados são adquiridos através de dispositivos que não possuem contato direto com fontes de informação (LILLESAND et al., 2014). Essa tecnologia contribui de maneira positiva no gerenciamento da produção agrícola, possibilitando uma variabilidade espacial da área em estudo.

A agricultura de precisão consiste no monitoramento da variação espacial e temporal das atividades agrícolas e tem ganhado grande ascensão dentro das atividades de gestão agrícola. Segundo Coelho et al. (2009), a AP está diretamente ligada a utilização de hardware e software a fim de monitorar e analisar a situação atual de uma determinada área, sendo utilizada de forma ampla em diversas cadeias produtivas. A utilização desses equipamentos tecnológicos auxilia nas tomadas de decisões e consequentemente contribui para fomentar a produtividade e diminuir os impactos ambientais gerados pela produção agrícola.

A AP é crucial para a rastreabilidade real da produção de interesse, visando sempre um melhor retorno econômico atrelado a sustentabilidade. Diante disso, o futuro da precisão agrícola depende dos estudos atuais para atender as necessidades e aperfeiçoar a mão de obra técnica qualificada, a fim da obtenção de resultados assertivos e precisos.

Mediante a evolução no setor tecnológico, as aeronaves não tripuladas têm ganho bastante acesso na agricultura de precisão, para a obtenção de dados ópticos é possível captá-los através do uso de sensores acoplados em um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), além

de possibilitar a aquisição das coordenadas de cada captura. (HERWITZ et al., 2004; EINSEENBEISS. 2004).

Os VANT's vêm conquistando cada vez mais espaço na agricultura. As imagens coletadas são analisadas em softwares auxiliando o gerenciamento dos mais diversos aspectos de uma cultura, sendo bastante utilizado para realizar levantamentos topográficos, mensurar áreas de plantio e na divisão de talhões como por exemplo. Durante o desenvolvimento das lavouras, os drones fornecem dados quantitativos e qualitativos para mensurar a eficiência da semeadura/plantio, quantificar áreas com falhas diversas, detectar doenças e/ou pragas, bem como excesso/ausência de irrigação.

O monitoramento de um cultivo por sua vez se tornou uma das principais ferramentas necessárias no acompanhamento de uma cultura no campo. De acordo com Oliveira (2020) e colaboradores, é possível familiarizar os agricultores sobre os conceitos básicos de AP e VATNS, apresentando as diversas técnicas para o produtor rural, tornando-se em um mercado promissor o qual permite otimização de diagnósticos.

A análise do estágio fenológico da cultura pode ser adquirida através do cálculo de índices de vegetação a partir das imagens visíveis composta por bandas RGB. Em busca do custo-benefício a aplicação de técnicas da AP, vêm sendo aprimorados índices de vegetação que utilizam essas bandas visíveis. a exemplo do Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) e Normalized Green Red Difference Index (NGRDI), assim como abordado nos trabalhos de (ANDRADE et al., 2019; CRUZ, 2020; DA SILVA et al., 2022).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo avaliar os estágios fisiológicos de enchimento das vagens (R8) e maturação (R9) da cultura do feijão utilizando imagens RGB adquiridas por VANT e satélite.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar, por meio da comparação do produto Índice de Vegetação gerado com fotografias aéreas obtidas por um VANT e satélite, avaliando -se a capacidade destas para retratar a dinâmica dos estágios fenológicos R8 e R9 da cultura do feijão.
- Analisar a relação de produtos (mapas) para avaliação das fases finais do feijão, tal como a resposta espectral em diferentes resoluções (pixel), na perspectiva de um sistema de avaliação pré-colheita da cultura do feijão.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sensoriamento Remoto

Em meados do ano de 1960, a terminologia Sensoriamento Remoto (SR) foi criada, com isso contextualizando de forma simplificada, constitui na adoção de metodologias e tecnológicas capazes de captar informações via sensores específicos, sem o contato físico direto com alvo de interesse. A utilização dessa ferramenta vem sendo aperfeiçoada frequentemente e com isso o desafio é a obtenção cada vez mais rápida e precisa, a fim de auxiliar na produção á campo e apresentar uma interpretação do alvo em estudo (FUSSELL J.; et al., 1986).

O primeiro satélite lançado na órbita do planeta terra foi nomeado de *Rudimentar Sputnik-I*, pela União das Repúblicas Socialistas Soviética (URSS) no ano de 1957, tinha o intuito de analisar a capacidade de transportar objetos ao espaço. No ano de 1960 os Estados Unidos da América (EUA) lançaram o satélite batizado de *Television Infrared Operational Satellite* (TIROS-1), tendo como finalidade a captação de dados meteorológicos. Em 1972 foi lançado o satélite *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS-1, logo depois teve seu nome alterado para Landsat-1, ele é responsável pela captação de dados ambientais. (HOUSE et al., 1986; MELESSE et al., 2007).

Quanto ao funcionamento do SR, sabemos que são os responsáveis por adquirir informações de múltiplas finalidades. Diante disso é importante o entendimento sobre algumas características básicas do sistema remoto, sabendo assim a finalidade de cada produto gerado via sensores, além de conhecer softwares que atuam exclusivamente no tratamento de imagens.

De forma simplificada e direta, segundo o conceito definido por Jensen, (2007), sensoriamento remoto é a aquisição de dados sobre objeto sem tocá-lo diretamente. O Esquema da (Figura 1) ilustra as etapas de obtenção de imagens por via do sensoriamento remoto. A energia gerada oriunda de uma fonte de energia (sol) incide sobre o alvo de interesse (talhão de um plantio) e ocorre uma interação e logo parte dessa energia refletida diretamente com a energia emitida pela superfície, sendo captadas por sensores a bordo (satélite/drone) que é recebida por uma estação de dados e distribuída para bancos de dados.

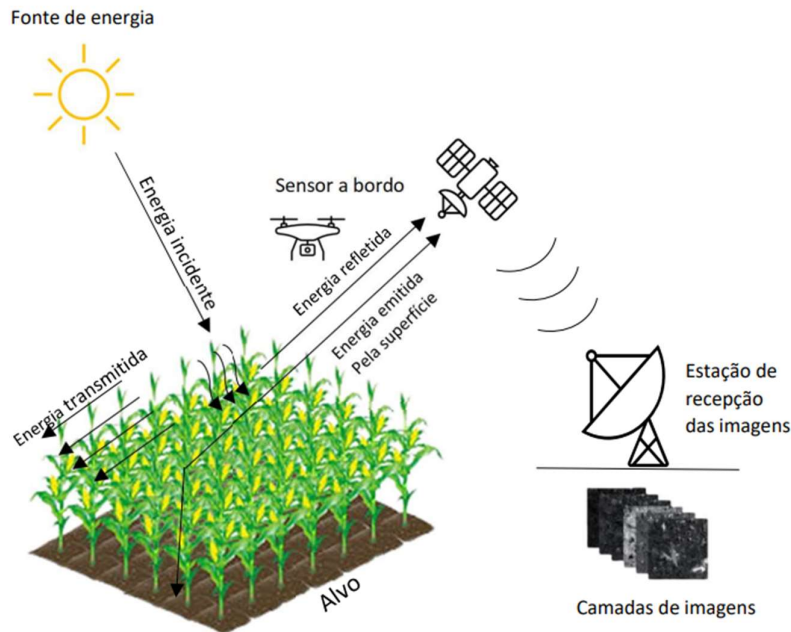


Figura 1. Esquema do Sensoriamento Remoto (SR)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Na atualidade existe inúmeros satélites na órbita da terra, e cada um exercer uma função de fonte de captação de dados das mais diversas áreas de conhecimento, atribuindo positivamente com a compreensão das características geofísicas do uso e ocupação do solo, qualidade ambiental, previsão meteorológicas e entre outras.

A relação entre o alvo e a radiação eletromagnética (REM), se baseia em uma interação das propriedades físicas, químicas e biológicas oriunda da fonte de energia com o alvo e posteriormente os dados são transformados, aptos a serem analisados e interpretados. (LIU. 2006; NOVO. 2010). O comportamento da planta na região do visível, quando suas funções fotossintéticas estão em funcionamento normalmente, é o de absorção da REM (SHIMABUKURO, et al., 2010).

Dessa forma, é possível a obtenção de imagens de um determinado alvo, através da radiação refletida ou absorvida por alvos da superfície, analisando a partir do comportamento espectral. O espectro solar consiste na distribuição a radiação eletromagnética emitida pelo Sol em razão do comprimento de onda, pode variar de raios gama até ondas de rádio. O espectro visível se enquadra entre a faixa de 400 nm a 700 nm.

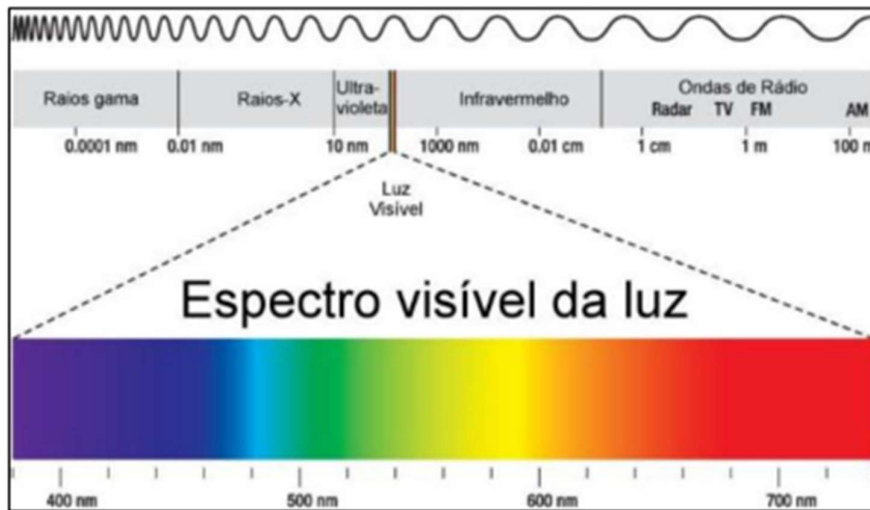


Figura 2 - Espectro de radiação eletromagnética

Fonte: Furian (2014)

3.2 Veículo Área Não Tripulado

Uma aeronave que não leva uma tripulação a bordo no Brasil é nomeada de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), essa expressão é oriunda da terminologia em inglês, *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) cuja conceito é:

“Um veículo automotor, que não transporta nenhum operador humano. Que pode ser autônomo ou pilotado remotamente, que pode ser descartável ou recuperável. Que carregue uma arma letal ou não. Veículos balísticos ou semibalísticos, mísseis de cruzeiro. Projéteis de artilharia, torpedos, minas, satélites e sensores autônomos (sem mecanismo de propulsão) não são considerados Veículos Não Tripulados” (Tradução do autor). (UNITED STATES. DEPARTMENT OF DEFENSE. 2007. p.1).

De acordo com histórico da origem do VANT, foi a cerca de 2500 anos na Grécia e na China já se estudavam a ideia de construir mecanismos voadores autônomos. A primeira máquina voadora foi creditada ao Arquitas de Tarento - sul da Itália, onde desenvolveu um projeto que tinha similaridade com pássaro no qual foi batizado e “o pombo”. Anos depois, Leonardo da Vinci elaborou projetos para construir mecanismos capazes de voar sem tripulação (DALAMAGKIDIS, VALAVANIS e PIEGL, 2012; GELLIUS, 1927).

No ano de 1909 no Estados Unidos o inventor Elmer Sperry criou um dispositivo capaz de estabilizar aeronaves em pleno ar, considerado um marco da história o dispositivo ficou conhecido como giroscópio de Sperry. O projeto teve apoio da Marinha do Estados Unidos e



após muitos testes e estudos o primeiro voo bem-sucedido do Curtiss-Sperry ocorreu no ano de 1917. Além disso o pesquisador Charles F. Kettering tinha um projeto paralelo com Sperry e a aeronave batizada de Kattering Bug teve um voo no ano de 1915, diante disso é considerado o primeiro VANT (ALVES JÚNIOR. 2015; KEANE, et al., 2013).




No ano de 1982 a Companhia Brasileira de Tratores (CBT) lançou o primeiro drone com asas fixas e foi denominado de CTB BQM-1BR. Atualmente o modelo está em uma exposição no museu Asas de um Sonho da empresa aérea TAM. O mesmo, possui 92 kg sendo capaz de atingir 560 km/h, podendo alcançar altura de 6500 m e autonomia de voo de 45 minutos. (ALVES JÚNIOR. 2015).

Os incentivos para os projetos voltados para tecnologia dos VANT's, iniciaram ao longo das grandes guerras, sendo que a primeira aconteceu entre os anos de 1914 a 1918, a segunda foi 1939 a 1945 e a guerra fria que ocorreu de 1940 a 1991. Nesse período os líderes militares dos Estados Unidos, Alemanha, Inglaterra, Rússia, China e Japão, demonstraram bastante avanço para uso da tecnologia, com isso sabemos que os primeiros VANT's foram de extremo interesses civis. (DALAMAGKIDIS, et al., 2012; KEANE, et al., 2013).

No mercado atualmente, possui uma diversidade de modelos de VANT's, com características e finalidades específicas, sendo uma tecnologia de uso multidisciplinar. De acordo Alves Júnior (2015) a classificação do VANT possui 5 categorias. A **Tabela 1**, apresenta a classificação de cada categoria, descrição das características básicas, exemplos de modelos e a exemplificação visual de cada categoria.

Tabela 2. Características dos tipos de VANT

Características dos Tipos de VANT			
Categoria	Descrição	VANT	Modelo
Asa Fixa	Aeronaves com asas fixa. necessitam de pista de decolagem e pouso	Drone Magpy Ampir Surveeiring	
Asa rotativa	Aeronaves com rotor nas hélices	Phantom 4 - DJI	

Balões de ar	São balões e dirigíveis não tripulados com baixa velocidade	Blimp AS10 - Airship	
Flapping-Wing	Aeronaves com Asas flexíveis. inspiradas em pássaros	Flapping-Wing	
Híbridos	Voam como aviões convencionais. porém a decolagem ocorre na vertical.	GL-10 Greased Lightning - NASA	

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

O modelo representado na categoria de asa fixa é Magpy Surveying Drone de acordo o manual do fabricante MAPIR, sua duração de voo é cerca 30 minutos, cobertura de 70 a 100 hectares (400 pés/120m) dependendo da velocidade do vento, vem com a câmera Survey3 com disparo automático e imagens com geo-tags. Aplicativo de acesso a controladora pode ser executado em qualquer dispositivo android, seu valor de venda atualmente é US\$699,00 (+-R\$ 3.550,92) além das taxas de importação.

É possível planejar voos, executar missões automáticas e gerenciar dados de voo usando o GS Pro (principal aplicativo de plano de voo para iOS da DJI). Tem um tempo máximo de voo de 27 minutos e alcance até 7 km de transmissão. Permite o acesso de informações coletadas por uma câmera RGB e uma câmera multiespectral com um arranjo de 5 câmeras, incluindo as faixas de cores azul, verde, vermelho, borda vermelha e infravermelho próximo por meio de imagens em 2 megapixel.

O Blimp AS10 - Airship foi projetado com desempenho e conveniência, seu casco que mede 32 pés (10m) x 8 pés (2,4m). Com uma velocidade máxima que excede 60 km/h e uma capacidade de subida vertical fora do local, o desempenho do dirigível excede as condições em que a maioria dos operadores será capaz de manusear ou pousar o dirigível.

Ao contrário do voo tradicional de asa fixa ou rotativa, no caso de aeronaves de asa batente, o desenho da asa é um dos tópicos mais importantes, uma vez que as asas batentes são

a única fonte de geração de sustentação e empuxo. Um desafio significativo no projeto da asa é que a asa é fortemente influenciada pelo baixo efeito do número de Reynolds (normalmente entre $5 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$ para Dove) e características dinâmicas instáveis de flapping, tanto estrutural quanto aerodinamicamente, bem como planform, estrutura e design de aerofólio.

O GL-10 Greased Lightning é uma aeronave híbrida diesel-elétrica não tripulada. A energia será gerada por dois motores a diesel de 6 kW (8 hp). A aeronave foi projetada para realizar várias decolagens e aterrissagens verticais durante sua missão com uma resistência de loiter de 24 horas no modo de voo avançado.



3.3 Câmera Termal e Multiespectral

A câmera GoPro® HERO4 captura imagens RGB, a mesma possui capacidade de gerar vídeos de 1080p60, foto com resolução de 12MP, o seu campo de visão é amplo (FOV). As demais câmeras são Survey3N onde cada um tem filtro específico, sendo com sensor Red-Edge (RE 725nm), sensor Near infrared (NIR 850nm) e sensor RED (660nm) + Green (550nm) + NIR (850nm). Todas as câmeras possuem GPS conectados, assim todas as imagens são georreferenciadas com suas devidas coordenadas de altitude, longitude e latitude.

A câmera FLIR Lepton 3.5 possui um sensor térmico radiométrico resolução de 160x120. 57° HFOV. faixa de temperatura de -10°C a +400°C e outro sensor para imagens visíveis (RGB): 1/2.4" 21MP CMOS. recursos de gravação de vídeo 4K HD Imagens térmicas e RGB combinadas na visualização térmica (sincronização temporal de imagens térmicas e RGB). A **tabela 2** descreve as informações técnicas do espectro de algumas câmeras que são bastante utilizadas acopladas em drones.

Tabela 3. Características Técnica do espectro de câmeras

Características Técnica do espectro de câmeras		
Câmera	Modelo	Sensor
GoPro® HERO 4 (RGB)		Sensor de Imagem Visível (RGB): 12MP 4K RED (660nm) + Green (550nm) + B.3. (440- 485)

Survey3N Câmera		Red-Edge (RE 725nm)
		Near infrared (NIR 850nm)
		RED (660nm) + Green (550nm) + NIR (850nm)
FLIR Lepton 3.5		Sensor 1: Faixa de temperatura -10°C a +400°C
		Sensor 2: Imagem Visível (RGB): RED (660nm) + Green (550nm) + Blue (440-485)

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

3.4 Agricultura de precisão

O conceito de Agricultura de Precisão é definido por “A agricultura de precisão ou manejo por zonas uniformes, tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e culturas no espaço e no tempo” (COELHO, 2005, p. 9). Neste sentido, o produtor pode utilizar o SR para tomar decisão adotar ou não determina técnica. A aceitação por parte dos agricultores vem sendo positiva com passar dos anos, com isso a expansão dessa tecnologia tem apresentado uma crescente confiabilidade. Segundo Lamparelli (2016) a AP é caracterizada por uma série de técnicas com intuito de aumentar a produtividade com a análise da variabilidade espacial do local de interesse.

Um imenso passo foi o uso de satélites GPS, assim possibilitou que a agricultura obtivesse um banco de dados de mapeamento de produção e aplicação de taxa variável, permitindo uma produção mais sustentável (LAURSEN & MEIJBOOM, 2021; SASAKI et al., 2021). Neste caso, o conhecimento agrônômico faz toda a diferença, pois os profissionais devem andar lado a lado das inovações tecnológicas.

A AP é de suma importância para nosso país, devido ter um papel fundamental para fomentar a nossa economia. Além dos investimentos tecnológicos a Agricultura de Precisão auxilia na gestão de insumos e contribui positivamente para cada vez termos uma produção mais sustentável (THOMPSON et al..2019).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) definiu em 2012 que a Agricultura de Precisão é um sistema de gestão que tem com base a variabilidade espacial e estava vinculada diretamente com retorno econômico e sustentável. (BRASIL, 2012)

A abordagem sobre a AP é constante, uma vez que ela deve sempre estar emparelhada com o avanço tecnológico. Diante disso, podemos levar em consideração que a prática requer quase sempre um profissional qualificado e apto a exercer tomadas precisas de decisões. Com isso, as principais vantagens são o menor uso de insumos, alta produtividade e benefícios para produtor. Já as desvantagens estão ligadas ao alto custo, falta de mão de obra qualificada e dependência de fatores adversos com o clima (OFORI et al., 2021).

3.5 Índices de Vegetação

Os índices de vegetação são operações aritméticas aplicadas às bandas espectrais das imagens de SR, com o objetivo de realçar a presença ou vigor da vegetação. O principal intuito de estudos voltados para entendimento dos comportamentos de um cultivo é diagnosticar a interação da planta com valores diferentes dos comprimentos de onda (LIU. 2006; PONZONI; BOHRER et al., 2009 e SHIMABUKURO, 2010).

A folha é o principal elemento da planta que frequentemente tem interação com a energia eletromagnética. Com isso, o entendimento sobre a refletância espectral resultantes dos pigmentos existentes nas folhas é crucial para estudos de levantamento de índices de vegetação, no qual é um subproduto do sensoriamento remoto tendo enorme aplicabilidade no monitoramento da dinâmica das coberturas vegetais (PONZONI, 2001; AMRI et al., 2011).

A aplicabilidade de estudos no monitoramento da cobertura vegetal auxilia drasticamente a reduzir as falhas do cultivo, pois atinge diretamente nas respostas espectrais da vegetação, as mudanças são causadas por variação da irradiação solar, redução da taxa fotossintética, alterações na estrutura do dossel da planta e fatores climáticos. (MENESES, 2001; ZANZARINI et al., 2013).

3.5.1 Índice de vegetação de folha verde (GLI)

O Índice de Vegetação de Folha Verde, termo oriundo inglês *Green Leaf Index* (GLI) é um índice de vegetação constituído pela diferença normalizada das reflectâncias das faixas espectrais do vermelho (red), verde (green) e azul (blue) (LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, 2001). O principal objetivo é determinar a

intensidade de degradação da vegetação através de imagens aéreas, conforme a **equação 1**. Em estudos realizados por Hunt-Jr et al., (2011) e Ballesteros et al., (2018), os resultados foram satisfatórios. Os índices compilados demonstraram boas correlações na clorofila foliar apresentando uma aplicação promissora dessa metodologia.

(Equação 1)

$$GLI = \frac{(2 * G - R - B)}{(2 * G + R + B)}$$

Em que:

B: Valor de refletância na faixa espectral do azul;

G: Valor de refletância na faixa espectral do verde;

R: Valor de refletância na faixa espectral do vermelho.

3.5.2 Índice de vegetação da diferença normalizada do verde e do vermelho (NGRDI)

O *Normalized Green Red Difference Index* foi um índice apresentado por Tucker (1979). É um índice elaborado pela diferença normalizada das refletâncias das bandas espectrais do verde e do vermelho (**Equação 2**), bastante aplicado para estimar a fração de vegetação, biomassa verde e indicador de fenologias vegetais. Wan et al., (2018) realizou estudos e constatou que há altas correlações deste índice com o número de flores em campos de girassóis na China, demonstrando sua alta aplicabilidade do método, Hunt et al., (2005) nota a correlação do valor do índice com a biomassa verde.

(Equação 2)

$$NGRDI = \frac{(G - R)}{(G + R)}$$

Em que:

G: Valor de reflectância na faixa espectral do verde;

R: Valor de reflectância na faixa espectral do vermelho.

3.5.3 Índice de vegetação com resistência atmosférica ao visível (VARI)

O *Visible Atmospherically Resistant Index* foi proposto por Gitelson et al., 2002, por apresentar baixa sensibilidade aos efeitos atmosféricos e resultados adequados da porção da vegetação. Sua formulação das faixas espectrais do vermelho, verde e azul com detalhe quanto à subtração da banda azul no denominador proposta para reduzir os efeitos atmosféricos.

(Equação 3)

$$\text{VARI} = \frac{(G - R)}{(G + R - B)}$$

Em que:

B: Valor de refletância na faixa espectral do azul;

R: Valor de refletância na faixa espectral do vermelho;

G: Valor de refletância na faixa espectral do verde.

3.5.4 Vegetativo (VEG)

Vegetative (VEG), proposto por Marchant e Onyango, (2002) sendo o seu principal objetivo a identificação da existência de vegetação ou de solo exposto. Em estudos Da Silva, et al., (2022), demonstrou que há sensibilidade quando a coloração da vegetação, conseguindo assim diagnosticar onde havia áreas debilitadas e áreas com vegetação muito sadia.

(Equação 5)

$$\text{VEG} = \frac{G}{R^a B^{(1-a)}}$$

G: Valor de reflectância na faixa espectral do verde;

R: Valor de reflectância na faixa espectral do vermelho;

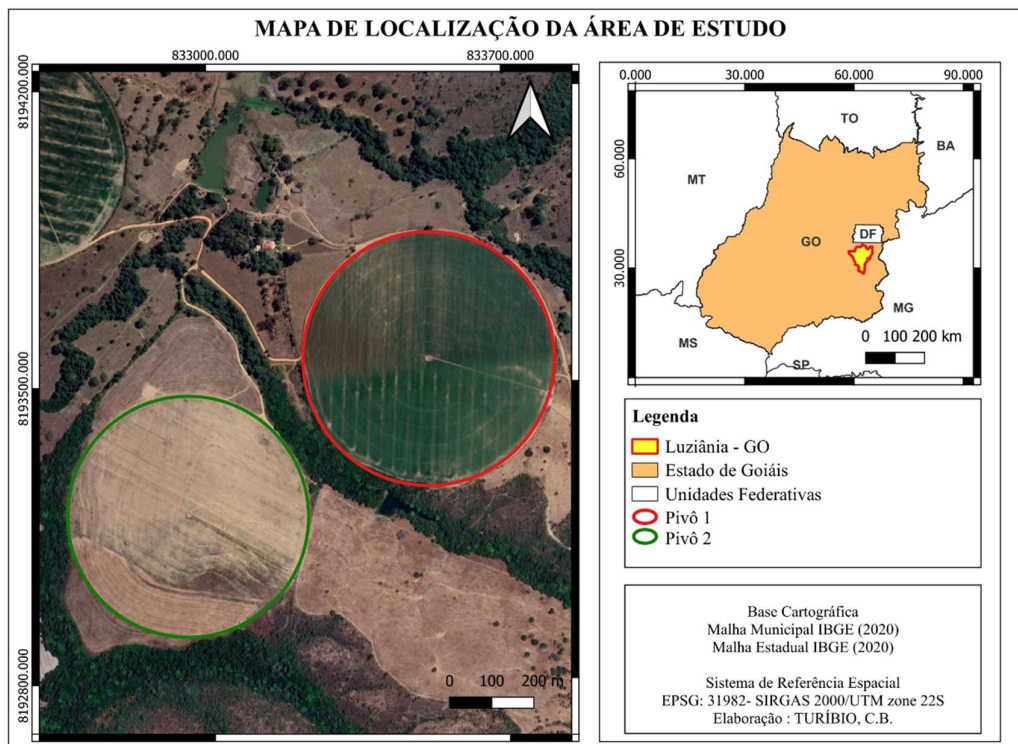
B: Valor de reflectância na faixa espectral do azul;

a: Valor igual a 0.667.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo representada na Figura 6, está situada na Fazenda Buenos Aires, localizada no município de Luziânia, estado de Goiás, o qual está inserido na região Centro-Oeste do Brasil. Situada sob as coordenadas geográficas $47^{\circ}52'55''\text{W}$ e $16^{\circ}19'00''\text{S}$. A precipitação média anual 1.804,7 mm. A propriedade se situa no bioma cerrado e a classificação climática da região, pelo método de Köppen (1972), é do tipo Cwa e apresenta duas estações climáticas bem definidas: a estação seca, que se inicia no final do mês de abril e se estende até setembro, e uma estação chuvosa que se inicia em outubro e vai até meados do mês de abril.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 3. Mapa de Localização da Área em estudo

As áreas de interesse simbolizada por pivô 1 e pivô 2, estavam sendo cultivadas com feijão (*Phaseolus vulgaris*). A semeadura do pivô 1 foi realizada no dia 26/06/2021 e pivô 2 foi realizada no dia 10/07/2021, ambas as áreas são irrigadas por pivô central.

4.2 Equipamentos e planejamento de voo

O plano de voo foi realizado pelo aplicativo Pix4D, com seguintes configurações: altura com 60 metros acima do nível do solo, velocidade de 1,5 m/s e a sobreposição das imagens foram definidas para 90% (quanto maior a sobreposição, menor a probabilidade de erros).

As coletas das imagens foram no período de 30 dias, iniciando no dia 02/09/2021 a 02/10/2021. A **tabela 4** apresenta as datas de coletas, horários de capturas das imagens e dia juliano (DJ) do ano 2021.

Tabela 4. Datas e horários referentes aos voos

Pivô	Voo	Data	Dia Juliano	Horário de captura	Minutos de voo
1	1°	02/09/2021	245	12:27 a 12:45	18
1	2°	04/09/2021	247	14:14 a 14:33	19
1	3°	07/09/2021	250	12:31 a 12:50	19
1	4°	11/09/2021	254	12:29 a 12:49	20
1	5°	18/09/2021	261	12:42 a 13:01	19
2	6°	21/09/2021	264	11:25 a 11:42	17
2	7°	02/10/2021	275	11:23 a 11:43	20

O Veículos Aéreo Não Tripulado (VANT) utilizado no estudo foi um multirrotor Modelo Anafi Thermal Parrot. Sua unidade ótica é a FLIR Lepton 3.5 que possui um sensor infravermelho à eletro-óptica, possibilitando a identificação de temperaturas entre -10 ° e + 400 °C, sendo possível definir a temperatura absoluta de cada pixel. A câmera é uma fusão de sensor térmico com multiespectral 4K.

Tabela 5. Características dos equipamentos utilizados à campo

Características Técnicas dos Equipamentos	
Veículo Aéreo Não Tripulado VANT	Modelo
<p>Parrot Anafi Thermal</p> <p>Distância máxima de transmissão: 4KM</p> <p>Resistência máxima ao vento: 13.9 m/s</p> <p>Tempo máximo de voo: 25 minutos</p> <p>Tamanho desdobrado: 242x315x64mm</p> <p>Peso: 315g</p>	
<p>Câmera/ Sensor</p> <p>FLIR radiometric thermal sensor</p> <p>Microbolômetro FLIR Lepton 3.5</p> <p>Resolução do sensor: 160x120</p> <p>Resolução da foto: 3264x2448</p> <p>Banda espectral: 8-14µm</p> <p>Sensibilidade térmica: <50mK (0.050 ° C)</p>	
Controle	Modelo
<p>Transmissão do controle: WI-FI/ USB</p>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Aquisição das imagens satélite

As três bandas B2, B3 e B4, que correspondem aproximadamente à luz azul, verde e vermelha, respectivamente, são normalmente usadas para gerar produtos de "cor verdadeira", mapeando diretamente essas refletâncias de banda para valores RGB de pixel.

As imagens do satélite Sentinel 2 são disponibilizadas pelo USGS, dessa maneira adquirimos as três bandas B2, B3 e B4, que correspondem aproximadamente à luz azul, verde e vermelha, respectivamente, são normalmente usadas para gerar produtos de "cor verdadeira", mapeando diretamente essas refletâncias de banda para valores RGB de pixel. Na tabela apresenta as datas de revisitação do satélite na área de interesse e as datas de coleta em campo.

Tabela 6. Descrição de índices de vegetação utilizados

Repetição	Sentinel	VANT
1	01/09/2021	02/09/2021
2	04/09/2021	04/09/2021
3	06/09/2021	07/09/2021
4	11/09/2021	11/09/2021
5	19/09/2021	18/09/2021
6	21/09/2021	21/09/2021
7	04/10/2021	02/10/2021

4.5 Processamento dos dados

Para a geração dos ortomosaicos foi utilizado o software Pix4Dmapper Desktop 3.0. Primeiramente foi criada uma pasta no computador para cada voo separadamente e nomeada conforme a data de realização e tipo de imagem. Posteriormente, a pasta de interesse foi selecionada no software para realizar a amarração de nós das imagens, ou seja, junção das imagens em conformidade com as geo-tag. O processamento pode ser demorado em razão da quantidade de fotos adquiridas e de acordo com processador do computador usado. Na **Tabela 6** está especificada o tempo de processamento.

Tabela 7. Tempo de processamento

Otomosaico	Data	Quantidade de fotos	Dimensões imagem	Tempo para Processamento PIX4Dmapper	Área (ha)
1°	02/09/2021	253	3264x2448	46m:48s	5.92
2°	04/09/2021	286	3264x2448	02h:41m:32s	5.40
3°	07/09/2021	269	3264x2448	01h:07m:25s	5.50
4°	11/09/2021	283	3264x2448	01h:03m:16s	5.13
5°	18/09/2021	228	3264x2448	41m:32s	4.41
6°	21/09/2021	247	3264x2448	46m:48s	5.04
7°	02/10/2021	288	3264x2448	41m:37s	5.39

Fonte: Elaborada pelo próprio autor.

No QGIS 3.10.12, na aba raster selecionamos a ferramenta “calculadora raster”, as bandas de cada ortomosaico foram separadas da camada alfa, assim formulamos as **equações 1, 2, 3 e 4**, respectivamente.

O GLI é classificado por Louhaichi et al., (2001), como a presença de plantas vivas, mortas e solo exposto, sendo um indicador de clorofila; o VARI proposto por Gitelson et al., (2002), representa a presença de baixa sensibilidade aos efeitos atmosféricos; NGRDI segundo Tucker (1979) é aplicado para estimar a fração de vegetação, biomassa verde e indicador de fenologias vegetais. Já o VEG para Marchant e Onyango, (2002), é utilizado para a identificação da existência de vegetação ou de solo exposto. A **tabela 6** apresenta cada equação com suas respectivas referências.

Tabela 6. Descrição de índices de vegetação utilizados

Nome	Sigla	Equação	Referência
<i>Green Leaf Index</i>	GIL	$GLI = \frac{(2 * G - R - B)}{(2 * G + R + B)}$	(LOUHAICHI. M. et al., 2001)
<i>Normalized Green-Red Difference Index</i>	NGRDI	$NGRDI = \frac{(G - R)}{(G + R)}$	(TUCKE. 1979)

<i>Visible Atmospherically Resistant Index</i>	VARI	$\mathbf{VARI = \frac{(G - R)}{(G + R - B)}}$	(GITELSON et al., 2002)
<i>Vegetative</i>	VEG	$\mathbf{VEG = \frac{G}{R^a B^{(1-a)}}}$	(MARCHANT et al., 2002)

4.6 Análise estatística

Para o desenvolvimento das análises estatísticas, foram utilizados os valores extraídos de cada um dos pixels contidos nos mapas de cada repetição do satélite e drone, cada pixels com resolução espacial de 100 metros quadrados. Dessa forma, todos os valores individuais dos pixels foram utilizados para as análises estatísticas, sendo empregadas no software RStudio Versão 4.1.0 de maneira independente em dois blocos: com dados satélite/sentinel2 (1), com dados VANT/drone (2).

Quanto aos testes e análises estatísticas em específico, o teste de normalidade de Shapiro-Wilk foi utilizado para a análise do comportamento das distribuições de probabilidade, uma vez que apresenta um melhor desempenho que outros testes existentes (SHAPIRO; WILK, 1965; TORMAN; COSTER; RIBOLDI, 2012).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Estatística descritiva

Ao observar os resultados expressos na Tabela 9, é notável um padrão de comportamento das imagens do VANT nas variações dos índices de vegetação GLI, NGRDI e VARI quando comparados com o VEG. Contudo, menores amplitudes são identificadas no GLI, NGRDI e VARI, enquanto no VEG essas variações se apresentam mais elevadas. É possível observar que nos dados do VANT o NGRDI ocorre o mesmo padrão de comportamento dos valores mínimos, máximos e médios, tornando bem similares ao VARI. Já os dados do satélite sentinel-2, os comportamentos dos índices de vegetação são bem próximos no NGRDI, entretanto os resultados obtidos no índice de VEG são bem distintos.

Tabela 7. Estatística descritiva

VANT								SENTINEL 2						
Índice	Data	Mín.	Máx.	Int.	Méd.	Des P.	Soma Qd.	Data	Mín.	Máx.	Int.	Méd.	DesP.	SomaQd.
GIL	02/09/2021	0.095	0.992	0.896	0.465	0.304	54.708	01/09/2021	-0.018	0.453	0.472	0.309	0.108	7.528
	04/09/2021	0.131	1.976	1.845	0.822	0.647	225.509	04/09/2021	-0.049	0.491	0.540	0.279	0.178	20.166
	07/09/2021	0.095	0.992	0.896	0.459	0.304	50.752	06/09/2021	-0.050	0.396	0.447	0.199	0.145	14.207
	11/09/2021	0.131	1.976	1.845	0.824	0.649	213.436	11/09/2021	-0.045	0.410	0.455	0.201	0.135	10.336
	18/09/2021	0.095	0.992	0.896	0.471	0.314	43.828	19/09/2021	0.034	0.407	0.373	0.232	0.108	5.608
	21/09/2021	-0.984	0.992	1.976	0.476	0.318	50.820	21/09/2021	-0.001	0.339	0.340	0.256	0.057	1.869
	02/10/2021	0.095	0.992	0.896	0.463	0.306	50.746	04/09/2021	0.048	0.392	0.344	0.265	0.076	3.666
NGRDI	02/09/2021	0.095	0.992	0.896	0.465	0.304	54.708	01/09/2021	-0.176	0.433	0.609	0.246	0.151	14.653
	04/09/2021	-0.226	0.471	0.697	0.177	0.227	32.639	04/09/2021	-0.243	0.992	1.236	0.205	0.422	95.989
	07/09/2021	-0.243	0.992	1.236	0.203	0.426	99.603	06/09/2021	-0.221	0.392	0.613	0.117	0.199	26.619
	11/09/2021	-0.243	0.992	1.236	0.219	0.435	95.835	11/09/2021	-0.224	0.385	0.610	0.100	0.180	18.282
	18/09/2021	-0.243	0.992	1.236	0.221	0.443	7.083	19/09/2021	-0.103	0.376	0.480	0.138	0.140	9.461
	21/09/2021	-0.992	0.992	1.984	0.225	0.422	9.008.176	21/09/2021	-0.131	0.362	0.493	0.232	0.090	4.667
	02/10/2021	-0.243	0.992	1.236	0.209	0.430	100.298	04/09/2021	-0.001	0.339	0.340	0.256	0.057	1.869
VARI	02/09/2021	-0.244	0.996	1.240	0.211	0.430	109.342	01/09/2021	-0.240	0.598	0.838	0.341	0.209	28.068
	04/09/2021	-0.244	0.996	1.240	0.206	0.423	96.699	04/09/2021	-0.297	0.624	0.921	0.230	0.297	55.850
	07/09/2021	-0.244	0.996	1.240	0.204	0.428	100.339	06/09/2021	-0.295	0.594	0.889	0.171	0.282	53.264
	11/09/2021	-0.244	0.996	1.240	0.220	0.436	96.547	11/09/2021	-0.288	0.549	0.837	0.141	0.248	34.699
	18/09/2021	-0.244	0.996	1.240	0.222	0.445	87.731	19/09/2021	-0.142	0.529	0.671	0.190	0.194	18.042
	21/09/2021	-0.996	0.996	1.992	0.225	0.424	9.075.999	21/09/2021	-0.189	0.573	0.762	0.356	0.140	11.269
	02/10/2021	-0.244	0.996	1.240	0.210	0.432	101.042	04/09/2021	-0.131	0.362	0.493	0.232	0.090	4.667
VEG	02/09/2021	1.281	84.915	83.633	18.797	33.182	65.338.811.568	01/09/2021	-0.631	-0.237	0.393	-0.476	0.092	5.313
	04/09/2021	1.281	84.915	83.633	18.679	33.092	575201.181	04/09/2021	-0.661	-0.213	0.448	-0.443	0.128	10.309
	07/09/2021	1.281	84.915	83.633	18.304	32.846	590.148.422	06/09/2021	-0.580	-0.220	0.359	-0.403	0.112	8.263
	11/09/2021	1.281	84.915	83.633	19.613	33.812	578.518.088	11/09/2021	-0.607	-0.231	0.376	-0.407	0.107	6.254
	18/09/2021	1.281	84.915	83.633	20.387	34.385	523781.08	19/09/2021	-0.614	-0.259	0.355	-0.425	0.096	4.427
	21/09/2021	0.008	84.915	84.906	18.042	32.516	530.767.096	21/09/2021	-0.555	-0.253	0.302	-0.459	0.055	1.772
	02/10/2021	1.281	84.915	83.633	18.934	33.330	600999.727	04/09/2021	-0.615	-0.283	0.332	-0.462	0.076	339.858

5.2 Produtos gerados

Em relação aos voos realizados com Anafi Thermal Parrot, é possível afirmar que estes alcançaram seu objetivo principal, no qual era a geração de ortomosaicos aptos aos cálculos de índices de vegetação (GLI, NGRDI, VARI e VEG) sobre o cultivo de feijão irrigado por pivô central. Todos os aerolevantamentos obtiveram dados com qualidade suficientes para mosaicagem, sem a necessidade de repetições de voos.

Com isso foram gerados 7 ortomosaicos representados da Figura 07 até a 13, com seus respectivos índices. Os ortomosaicos das imagens do VANT foram gerados no software Pix4D posteriormente os arquivos rasters de formato tif, foram exportados para software QGIS. As bandas RGB foram sobrepostas na ordem GRB e reprojetaadas com a resolução de cada pixel equivalente a 1 m². Com a utilização da calculadora raster foi gerado os respectivos índices de vegetação, através da fotointerpretação pode-se perceber claramente onde há plantas e onde há solo exposto.

A escala de desenvolvimento da planta de feijão divide o ciclo biológico nas fases vegetativas (V) que é constituída dos estádios V0, V1, V2, V3 e V4, e a reprodutiva (R) dos estádios R5, R6, R7, R8 e R9 (FANCELLI et al., (2007); DIEHL, 2010). As cores representadas nos mapas temáticos foram classificadas da seguinte forma: solo exposto (vermelho), estágio de maturação R9 (laranja), estágio de enchimento das vagens R8 (amarelo), folha verde (verde claro) e folha verde intenso (verde escuro).

A partir dos limites do ortomosaico do voo realizado dia 02 de setembro de 2021, realizamos o recorte sobre as camadas das imagens do satélite sentinel-2, sendo que a data de captura foi 01 de setembro de 2021, devido a revisitação do satélite na área de interesse. Nota-se na Figura 5 os resultados do VANT expressos a direita da imagem, sendo que no índice NGRDI e VARI apresentam o mesmo comportamento e o valores são similares.

De maneira específica podemos notar na Figura 5, que 68 e 69 dias após a semeadura, a cultura se apresenta no estágio reprodutivo R8, desta forma a classe representada pela coloração amarela é respectivamente o estágio fenológico R8 do feijoeiro, sabemos então que nessa etapa surgem a vagens e iniciado enchimento das primeiras vagens.

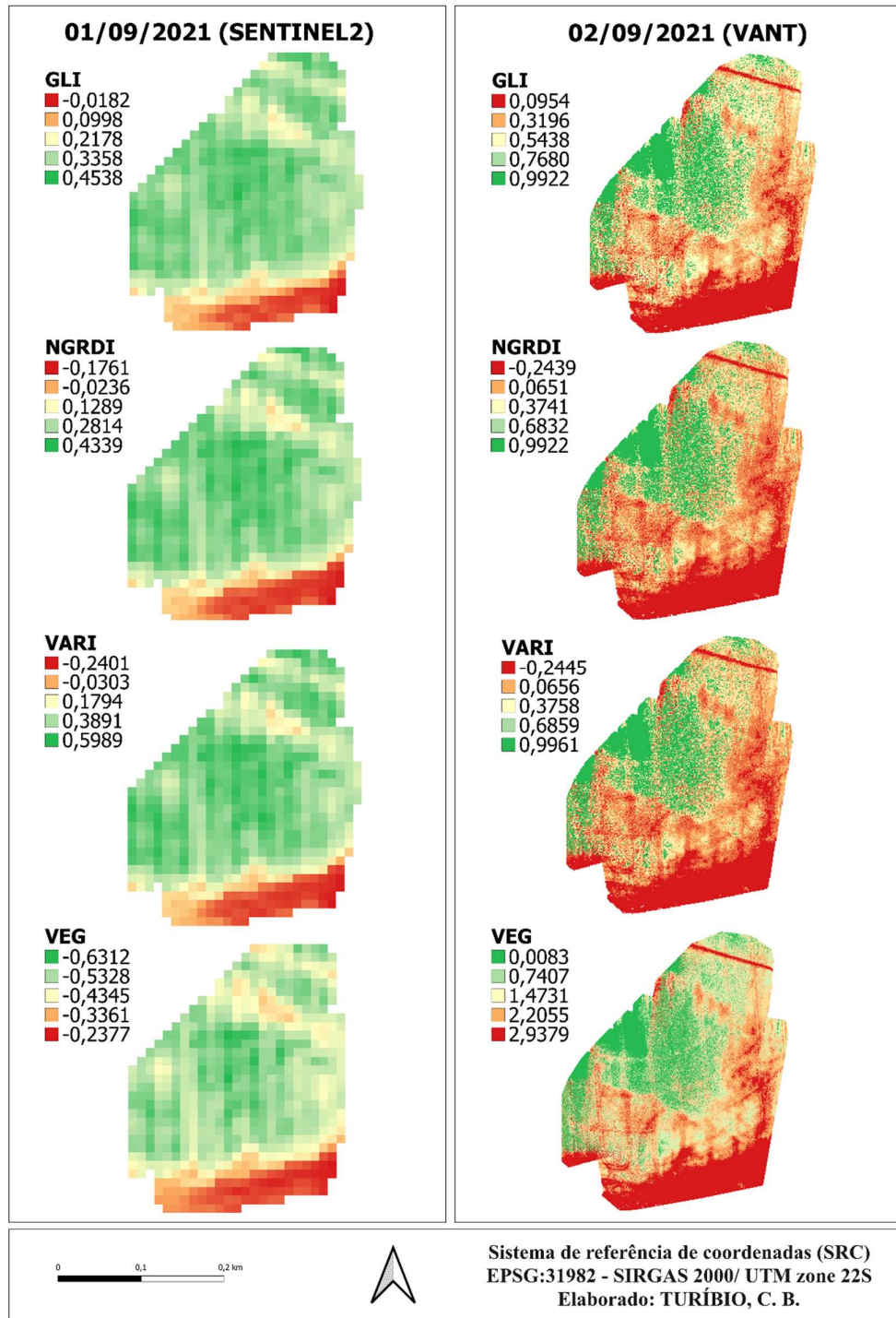


Figura 4. Mapas dos índices de vegetação do feijão (*Phaseolus vulgaris*) 68 e 69 dias após a semeadura do pivô 1

O ortomosaico do segundo sobrevoo realizado no sábado, DJ 247 referente ao dia 04 de setembro de 2021, a revisitação do satélite coincidiu com a mesma data de nossa coleta em campo. A área total é aproximadamente 5,40 hectares do pivô 1 (Figura 9).

A aquisição de índices de vegetação é uma técnica elaborada e aplicada mundialmente, sendo o seu principal intuito monitorar e estudar as formações vegetais. De acordo pesquisas conduzidas por Jensen (2009), os índices são resultados radiométricos adimensionais orbitais do comportamento espectral da vegetação de interesse, sendo um indicador de atividade fotossintética da vegetação, sendo capaz de distinguir os percentuais de cobertura vegetal, estimar o teor de clorofila e biomassa, mensurar o estágio de desenvolvimento, analisar a fenologia e fisiologia das culturas, além de apontar o estresse hídrico e diagnosticar o vigor de vegetação.

Os valores de NGRDI e VARI permanece padrão para imagens do VANT, além disso o percentual VEG possui o mesmo comportamento do primeiro voo (Figura 6). A borda do mapa é por solo exposto, significa que há maior concentração de área sem cultura.

A região nordeste dos mapas é representada pela classe de folha verde e folha verde intenso, caracterizada pela refletância e presença de clorofila descartando assim um verde mais escuro. O teor de clorofila é indicativo da quantidade de nitrogênio presente nas folhas (WINDER, 2018). Na medida que a cultura apresenta folhas e tons amarelos notamos assim uma zona de enchimento das vargens R8.

Levando em consideração os índices podemos observar que os valores NGRDI e VARI dos dados do VANT são similares, diferente das respostas do espectro do índice VEG, podemos observar que no sentinel a classe R9 corresponde a -0,3446 e para VANT o valor aproximado da classe R9 é 1,8598 e a classe folha verde intenso para satélite foi equivalente a -0,6762 e para VANT 84,9150.

Em comparação dos resultados VARI de ambos os blocos, nota-se que ocorre um comportamento comum, sendo que na medida que o valor se aproxima de 1 a resposta é folha verde intenso e conseqüentemente a aproximação do valor -1 é expressa por solo exposto.

As comparações que aqui foram realizadas, mostram também que o detalhamento alcançado pelo VANT pode representar uma maior sensibilidade na detecção de alterações ao longo do tempo, o que agrega valor se o interesse for à diagnose de uma área específica.

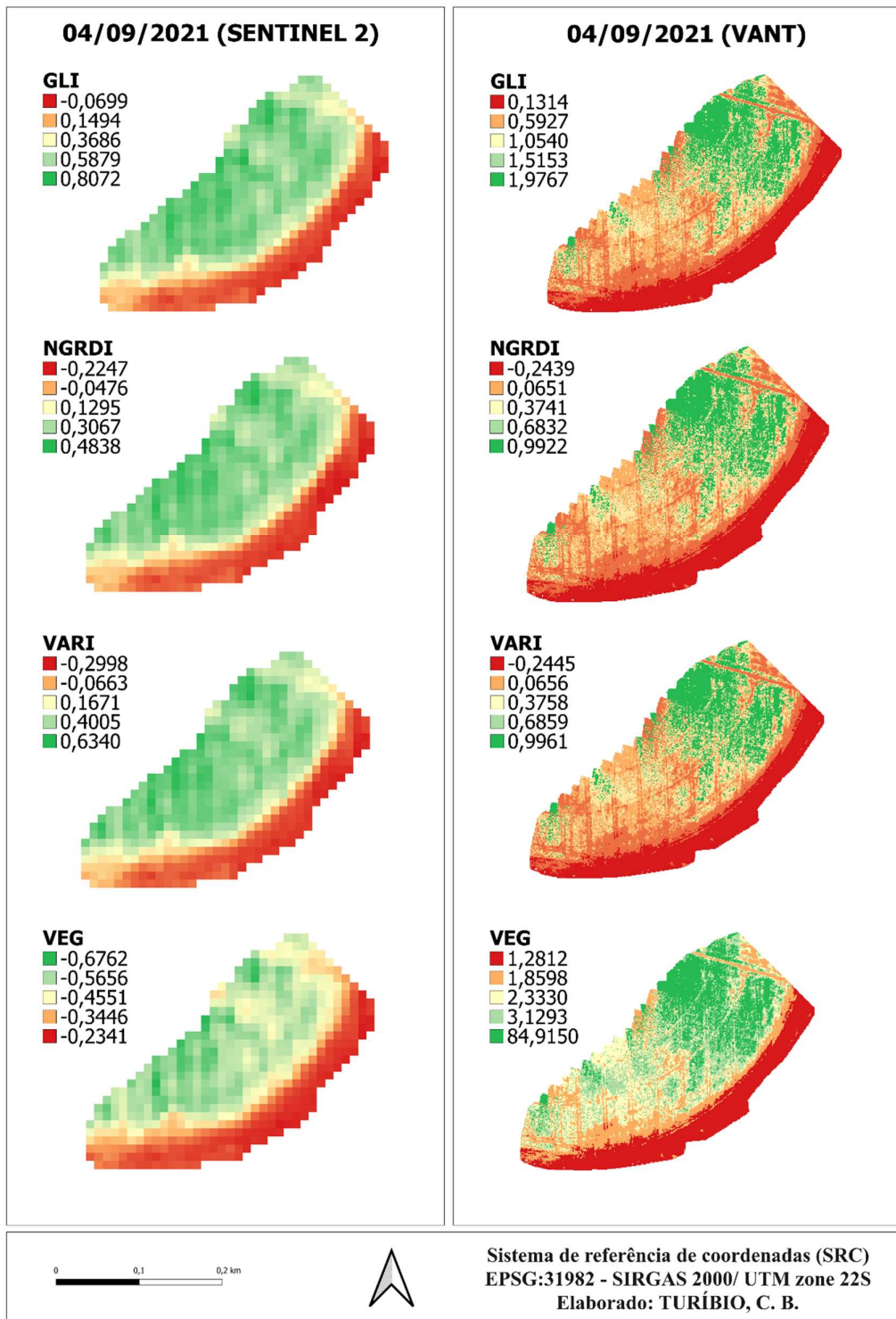


Figura 5. Mapas dos índices de vegetação do feijão (*Phaseolus vulgaris*) 71 dias após a semeadura pivô 1

Na Figura 7, o ortomosaico do terceiro voo realizado na terça-feira, dia 07 de setembro de 2021 (250 DJ), já os dados do satélite são referentes a data 06 de setembro de 2021, a área total é 5,50 hectares do pivô 1.

Podemos observar que na medida que os valores se aproximam de 1 são zonas com verde em sentido ao centro da área, logo as bordas são estradas que interligam outras áreas de cultivo da propriedade, sendo caracterizada pela cor vermelha e possui proximidade com valores GLI (0,09 a -0,0510), NGRDI (-0,2214 A -0,2439), VARI (-0,2445 A -0,2952) e VEG (1,28 A -0,5803) logo se aproxima de -1.

O índice GLI é uma ferramenta promissora devido apresentar acurácia nos resultados de pigmentos, o GLI quando correlacionado com VARI, por sua vez se destaca pela boa precisão experimental (COSTA DE OLIVEIRA et al., 2019). Próximo ao ponto de maturação fisiológica das plantas, a senescência das folhas mais velhas e sombreadas do dossel ocorrem naturalmente (DAVIES; ZANG, 1991). Diante o exposto podemos utilizar a ferramenta como indicadora de ponto de maturação em razão das respostas do espectro do cultivo.

Nessa área em estudo possui declividade de 908 m na região norte do pivô e 896 m na região sudeste e a região sul com 923 m. Em razão disso o uso de maquinário para realização da colheita é inviável e com isso a técnica utilizada é de arranque manual. Com isso o auxílio do monitoramento da fase final do cultivo pode ser favorável para tomada de decisões da escolha do momento ideal a se iniciar a colheita, otimizando na gestão do tempo e estimativa da mão de obra de hora homem.

Antes do período reprodutivo os fotoassimilados são canalizados para o crescimento vegetativo, sendo que no período reprodutivo surgem novos “drenos”, representados pelos órgãos de reprodução cujo desenvolvimento se torna prioritário (GUILFFORD; EVANS, 1981). Com isso, quanto mais próximo ao ponto de maturação fisiológica das plantas, a senescência das folhas mais velhas e sombreadas do dossel ocorrem naturalmente.

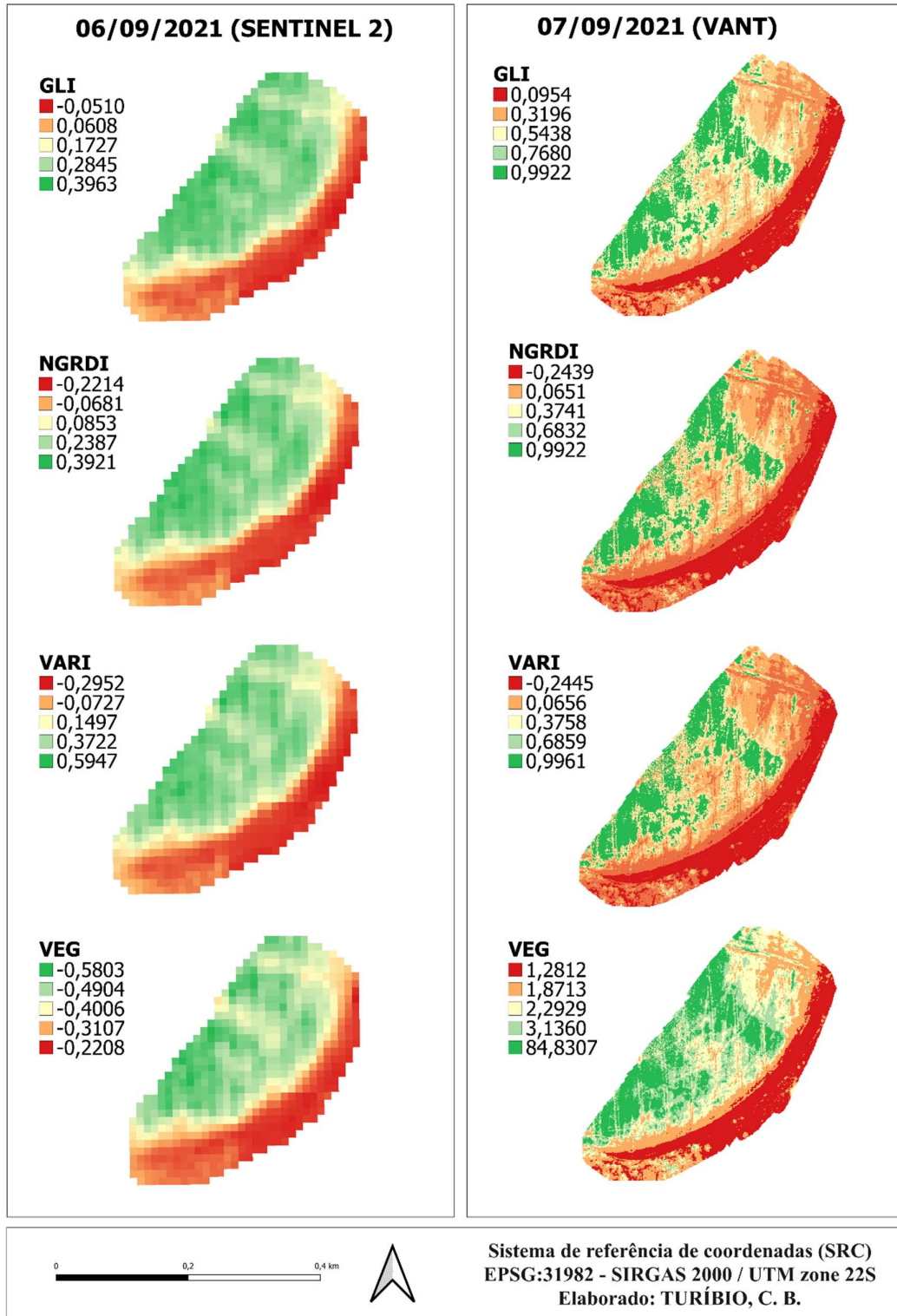


Figura 6. Mapas dos índices de vegetação do feijão (*Phaseolus vulgaris*) 74 dias após a semeadura pivô 1.

Os dados da Figura 8, é a quarta repetição de coleta de dados e foi realizado no sábado, dia 11 de setembro de 2021 (254 DJ), com a área total equivalente a 5,13 hectares do pivô 1. No mapeamento observa-se a predominância da classe de vegetação na fase R8 (amarelo). Na pesquisa do (Henrique da Silva et al., 2022), os resultados foram bastante semelhantes em todos os índices (GLI-TGI-VEG), porém, os mais coerentes com a imagem RGB vieram do VEG.

Em pesquisas realizadas pela EMBRAPA, (2018) apontava que os avanços tecnológicos e aplicabilidade do uso de VANT no imageamento do espaço-tempo em nível de propriedades rurais seria significativo, com dados de uma área experimental de milho forrageiro aplicaram os índices e vegetação GLI e VARI notaram um enorme potencial para monitoramento e obtenção de parâmetros agrônômicos ao longo do ciclo de um plantio.

Na extremidade norte da área podemos observar que aos 78 dias de semeadura a vegetação está em transição da fase R8 para R9, dessa forma a característica que traz a coloração expressa em amarelo para laranja é característico do início amarelecimento das folhas em virtude da morte da nossa cultura anual. Sendo assim a fase R9 é a onde acontece a maturação das vagens em razão disso ocorre a dessecação das folhas e inclusive das vagens, onde traz uma resposta refletiva devido a presença de maior exposição do solo e a cor que a planta se encontra em seu estado de senescência.

A senescência foliar é o processo metabólico, que ocorre nas folhas, levando ao envelhecimento das células dessas estruturas foliares. A interrupção dos processos metabólicos, que ocorrem a resposta nas folhas, levando a degeneração dos tecidos e à sua consequente degradação e destruição. Normalmente, ocorre após a maturação da planta (após a reprodução).

Se o déficit hídrico ocorrer durante a floração, provoca abortamento e queda das flores, com redução do número de vagens por planta; se ocorrer no enchimento de grãos, prejudica a formação de sementes ou reduz seu peso (GUIMARÃES, 1988). Portes (1996) diz que a principal fonte de assimilados para a formação dos grãos é obtida durante o período de pós-florescimento e durante o crescimento das vagens.

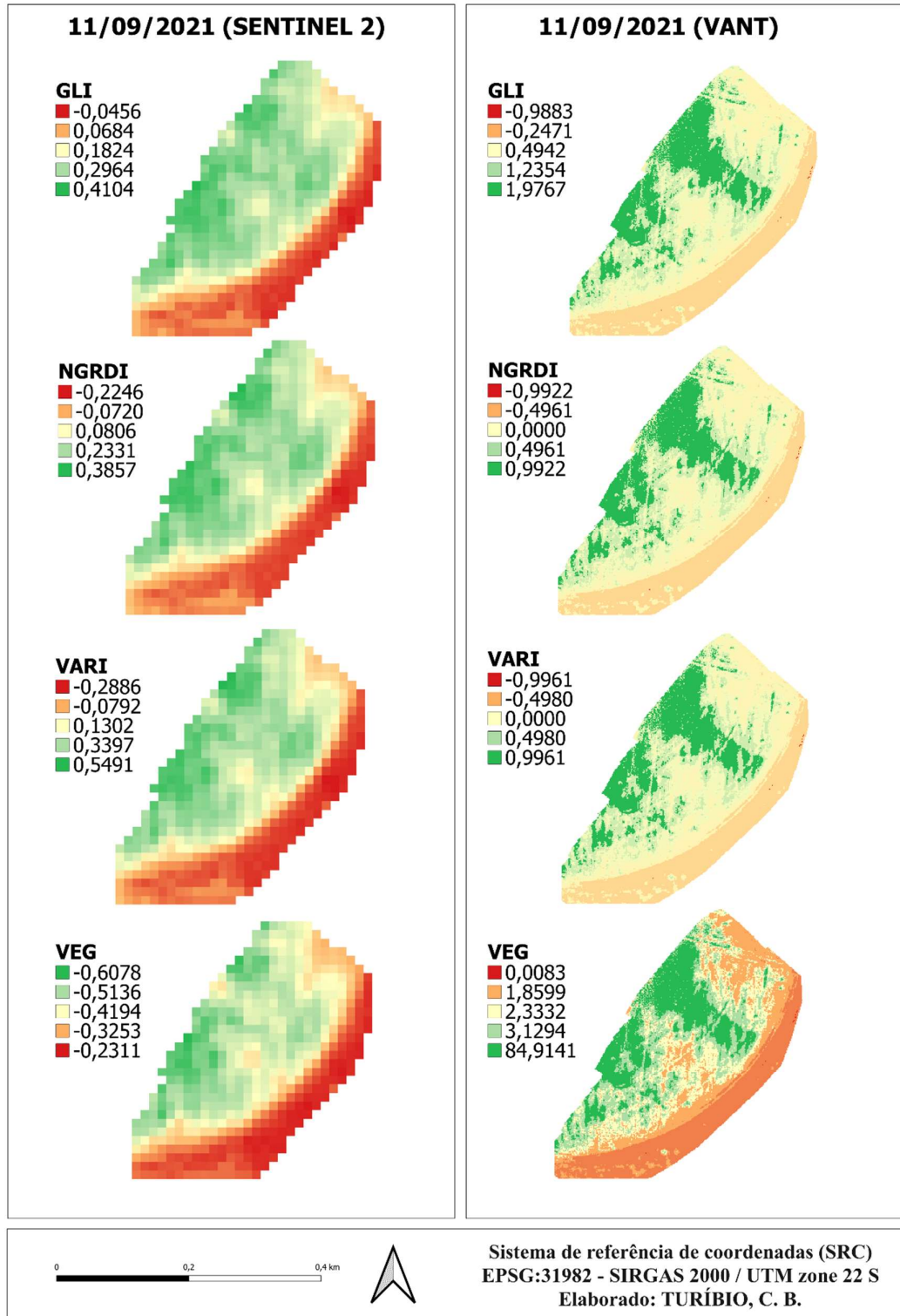


Figura 7. Mapas dos índices de vegetação do feijão (*Phaseolus vulgaris*) 78 dias após a semeadura

Na figura 9 a quinta repetição foi realizado no sábado, dia 18 de setembro de 2021 (261 DJ), sendo que sua área total é equivalente a 4,41 hectares, quanto as imagens do sentinel-2 são do dia 19 de setembro de 2021.

A leste da área notamos em destaque área que estava em fase de colheita, a técnica utilizada pela propriedade é colheita de arranque manual e são feitos parceladamente em conformidade com a disponibilidade de mão de obra dos colaboradores.

O GLI se caracteriza por tudo que for próximo de 1 é folha verde intenso e todos os comportamentos que se aproxima de -1 é característica de solo exposto. De acordo Lopes dos Santos et al., (2020), o índice GLI possibilitou visualizar claramente as áreas de maior vigor e áreas críticas, os menores valores reflete o índice de verde, logo áreas de pastagem muito secas são destacados pelo laranja.

Com isso, com o uso desta metodologia firma que é possível realizar o acompanhamento da cultura, auxiliando nas tomadas de decisões da colheita, assim estimando o percentual de área em ponto de colheita e podendo ter uma análise da variabilidade espacial da senescência da cultura.

Além da colheita ser de forma manual a propriedade não realiza aplicação de dessecantes nas áreas de cultivo, em virtude principalmente da declividade do terreno e devido a redução do uso de insumos. Dessa maneira observamos que a colheita está no sentido leste a oeste acompanhando por sua vez a linhas que apresentam ponto de maturação R9.

A praticidade da aplicação da metodologia se consiste em realizar um sobrevoo na área de interesse, por cerca de 20 a 30 minutos, posteriormente será necessário de 40 minutos a 2 horas para realização do ortomosaico da área. Essa técnica por sua vez traz ao produtor uma resposta imediata de qual estado real do cultivo em específicas áreas de sua propriedade.

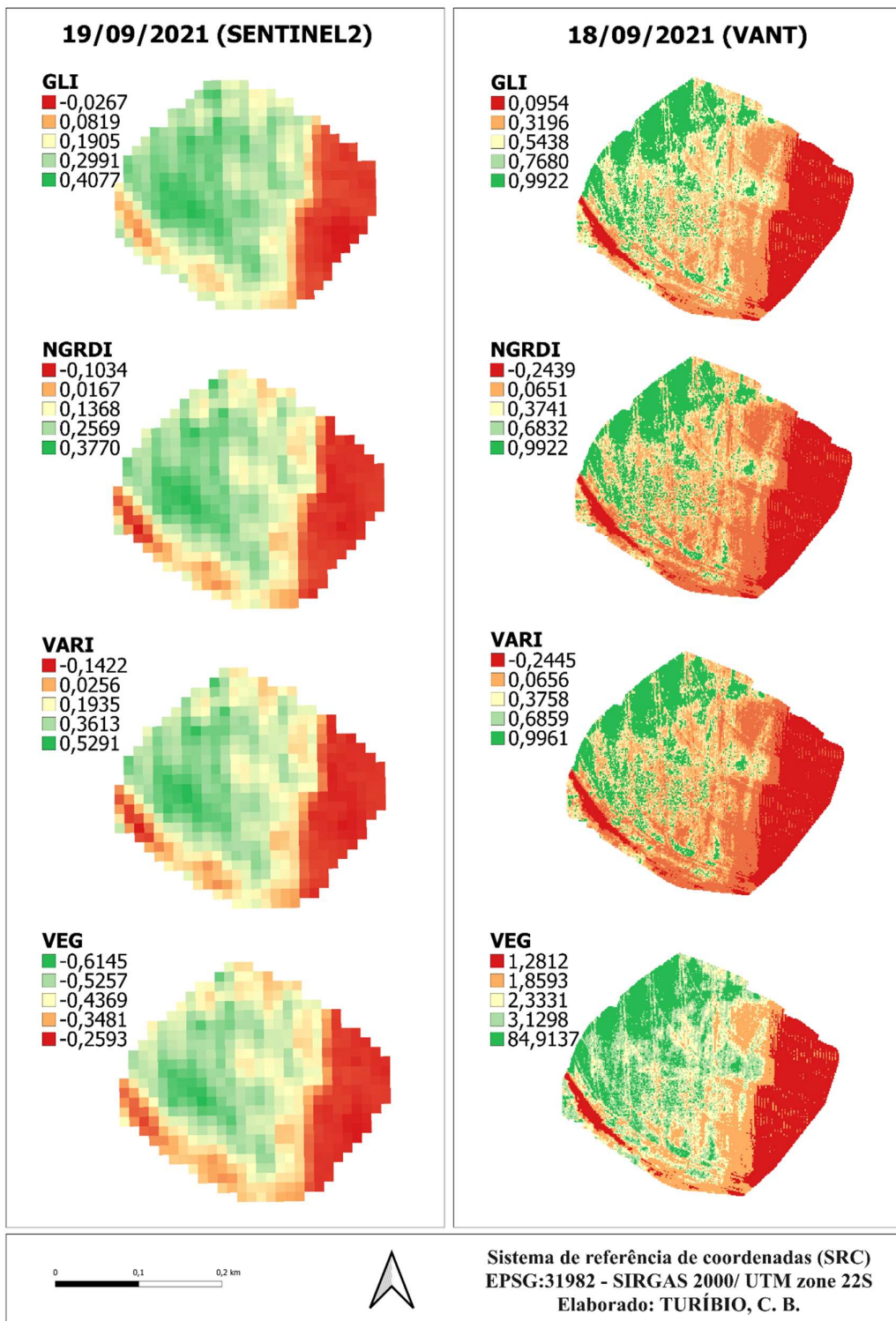


Figura 8. Mapas dos índices de vegetação do feijão (*Phaseolus vulgaris*) 84 e 85 dias após a semeadura

O primeiro sobrevoo do pivô 2, sendo a sexta repetição possui área de 5,04 hectares, foi realizado a coleta de dados na terça-feira, dia 21 de setembro de 2021 (264 DJ). Em razão da colheita do pivô 1 ter sido finalizada, no penúltimo voo tivemos que optar por sobrevoa um pivô central localizado a sudoeste o pivô 1, sendo cultivado a mesma cultura com intervalo de plantio de 15 dias dia 10 de julho de 2021.

Conforme representado na Figura 10 notamos a presença marcante os trilhos das torres do pivô, além disso a oeste do mapa a circunferência destacada de amarelo é o centro principal o pivô. Analisamos que aos 73 dias após semeadura do pivô 2 a bastante evidência de estágio de enchimento das vargens.

Conforme Lopes dos Santos et al., (2020), o índice de vegetação VARI mensura o quanto é verde uma imagem, recomenda-se a aplicação em plantios mais desenvolvidos e densos. Logo o GLI é apropriado para distinguir áreas, por exemplo áreas de solo exposto e áreas vegetadas, além de ser recomendado para plantios em estágio inicial e menos denso. Dessa forma, índices de vegetação que manifestam a cor verde na planta, podem correlacionar-se positivamente com a concentração de N na folha (BACKES et al., 2010).

O NGRDI se comporta da mesma maneira que o índice VARI e isso faz com que possamos ter uma maior precisão das repostas dos índices em análise. Carlesso et al. (2007) avaliando a senescência das plantas de feijão submetidas a diferentes lâminas de irrigação encontraram rápida retomada do crescimento das folhas das plantas na pré-floração e concluíram que esta retomada do crescimento deve ter sido facilitada pelo fato de ser relativamente maior a quantidade de folhas jovens em crescimento no dossel, em comparação à existente na fase de enchimento das vargens.

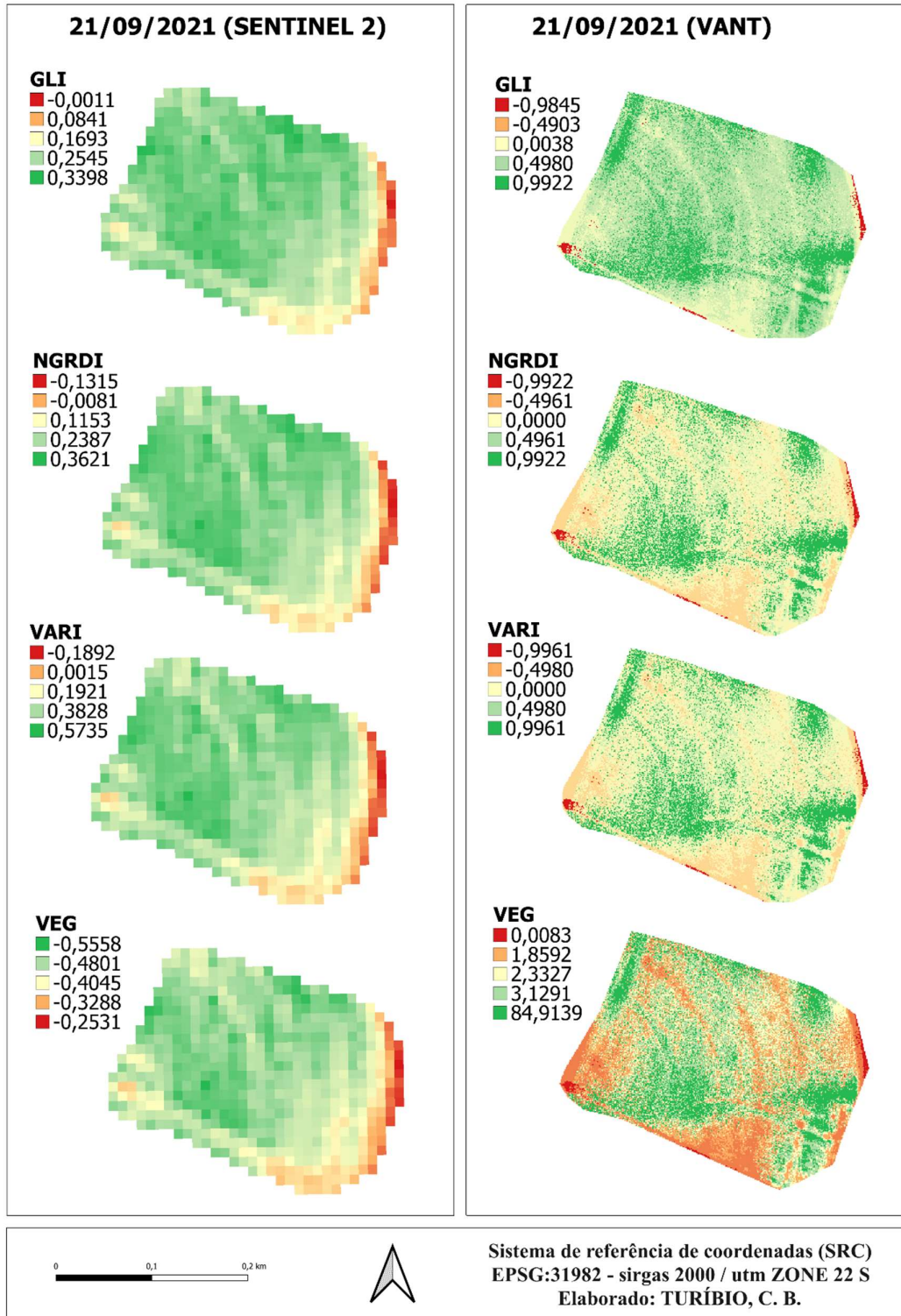


Figura 9. Mapas dos índices de vegetação do feijão (*Phaseolus vulgaris*) 73 dias após a semeadura pivô 2

Na Figura 11, os mapas possuem área de 5,39 hectares, a coleta de dados a campo foi conduzida no sábado, dia 02 de outubro de 2021 (275 DJ). Já a captura do sentinel-2 sobre a área foi no dia 04 de outubro de 2021.

Na região sudeste da área observamos o aumento de estágio R9 apontando que aos 86 dias após semeadura é uma data para tomar partida de colheita, inclusive dessa forma o delineamento do ponto de início da colheita pode ser onde ocorre maior presença de plantas em fase de dessecamento. Esse é o processo de senescência que leva a planta ou parte dela a morte (TAIZ, ZEIGER, 2009; VENÂNCIO et al., 2004)

Os últimos estudos que utilizam índices de vegetação derivados das bandas RGB (Red-Green-Blue), abordam que é uma ferramenta útil para monitorar e quantificar diferentes parâmetros agrônômicos, por meio de câmeras do visível acopladas em VANT (COSTA DE OLIVEIRA et al., 2019; LOPES DOS SANTOS et al., 2020; HENRIQUE DA SILVA et al., 2022).

O processo de senescência tardia do caule, *stay green*, é observado em algumas espécies de importância agrônômica como: milho, sorgo, girassol e feijão (DUVICK 1992; GENCHEV, 1993; THOMAS & SMART, 1993; WALULU et al., 1994). No feijão há informações sobre o controle genético do *stay green* que indicam um número pequeno de genes, embora o caráter possua elevada sensibilidade ao ambiente (AGUIAR et al., 2000).

O etileno é conhecido como sendo o hormônio primário da senescência de plantas a reações de estresse. Durante a abscisão foliar, a senescência da flor e o amadurecimento dos frutos, a produção de etileno aumenta. Tanto o estresse biótico (pragas e doenças, principalmente) quanto o abiótico (inundação, por temperatura ou por estresse hídrico) induz a síntese de etileno (TAIZ, ZEIGER, 2009).

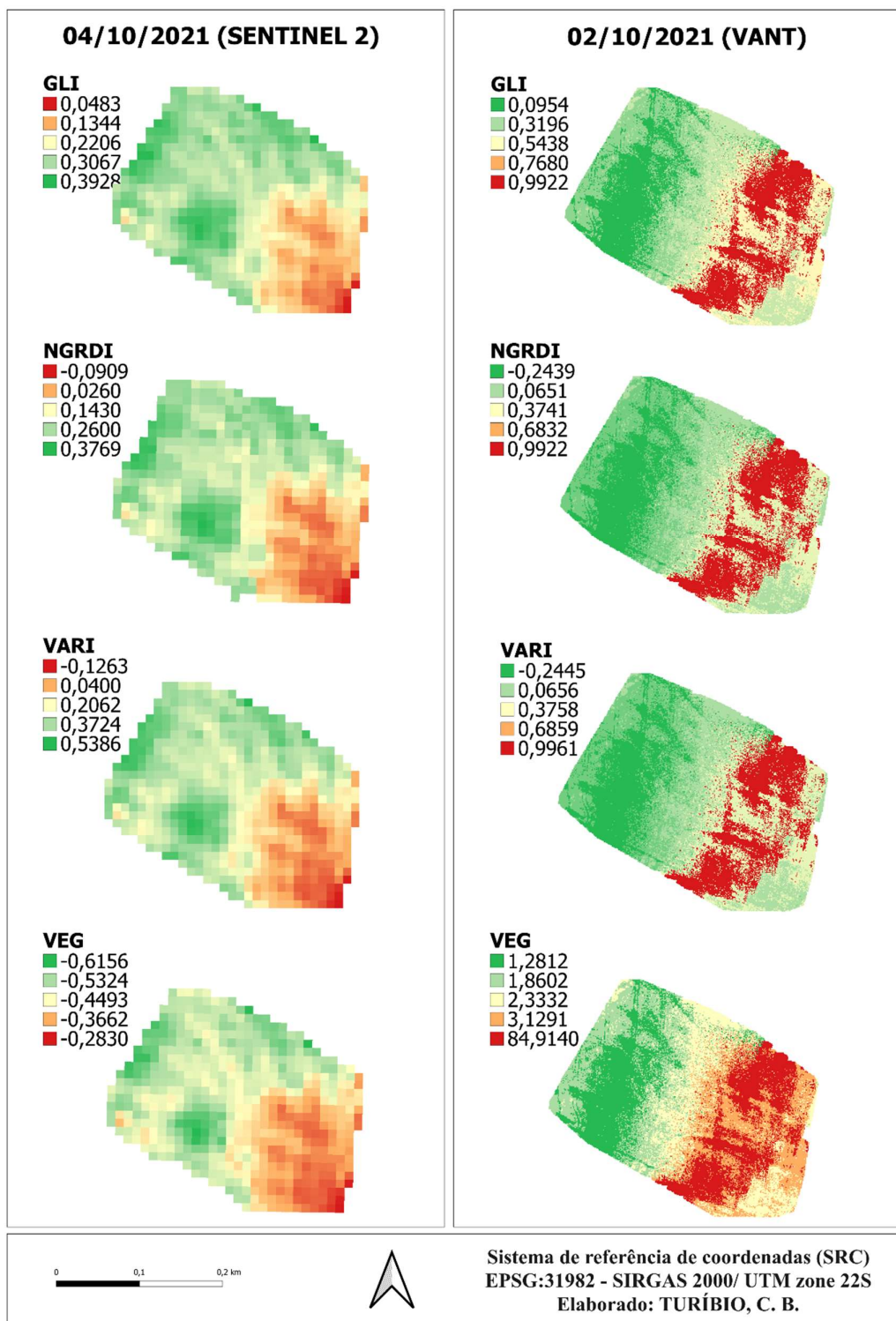


Figura 10. Mapas dos índices de vegetação do feijão (*Phaseolus vulgaris*) 84 e 86 dias após a semeadura pivô 2.

5.3 Análises de variância

Como um dos objetivos do estudo foi de analisar as relações existentes entre as variáveis. Dessa forma, uma análise de desvios residuais foi executada para verificar os menores erros, uma vez que houve a transformação dos dados ao quadrado, ao logaritmo e à normalização. Além disso, foi realizado uma análise de variância ANOVA, teste de hipótese “F”, para que assim possamos realizar as interações entre as médias das variáveis analisadas, com auxílio das significâncias e contrastes para evidenciar as diferenças, semelhanças e significâncias entre os tratamentos (CRAWLEY, 2007; CRISTALDO et al., 2016).

A Figura 15 apresenta os histogramas referentes aos testes de normalidade a um nível de significância estatística de 5% para os conjuntos de dados satélite e VANT. Como os resultados dos testes de normalidade apresentaram os mesmos comportamentos, em todas os dados do VANT indicaram pressupostos de normalidade ($p\text{-value} = 2.2e-16$) e os dados do satélite seguiram o mesmo comportamento, ($p\text{-value} < 2.2e-16$), é muito menor em comparação com $5\% = 0,05$, a hipótese nula é rejeitada.

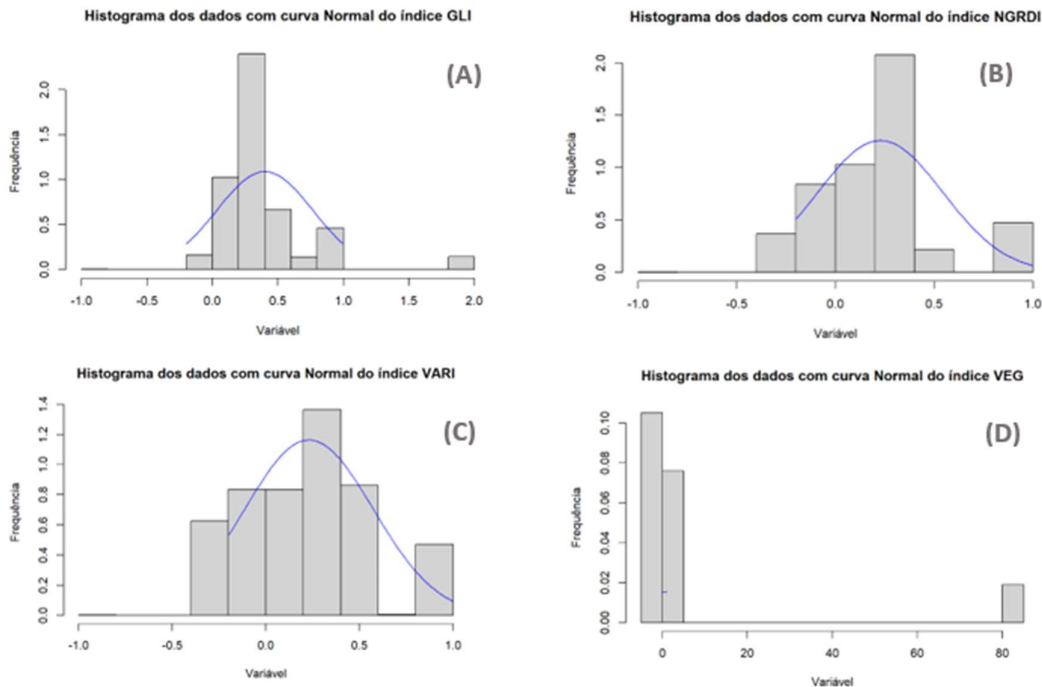


Figura 11. Histograma do teste de normalidade dos dados GLI, NGRDI, VARI e VEG

Dessa maneira podemos afirmar que a distribuição da normalidade para os índices GLI, NGRDI e VARI tiveram respostas satisfatórias sendo indicada para aplicabilidade dessa metodologia, porém a ausência da curva de normalidade dos valores do índice VEG nos trás uma insegurança quanto ao sua aplicação, nota-se que os resultados espectrais do satélite apresentar valores entre 1 e -1 e os valores o VEG originado de imagens de VANT apresentam respostas de 1,28 para solo exposto e acima de 84 para folha-verde-intenso.

Na figura 16 a 19, podemos observar a distribuição dos valores do pixel do índice GLI, NGRDI, VARI e VEG, quanto aos dados advindos do satélite possui uma distribuição normal das variáveis, notamos assim que o modelo estatístico se ajusta aos dados. Em contrapartida, os valores oriundos dos resultados do VANT podemos notar que ele não acompanha a normalidade crescente dos dados, essa razão se dar devido à realização da projeção do tamanho do pixel de origem para pixel de 10 x 10 m, com isso o resultado é a média dos pixels vizinhos mais próximos.

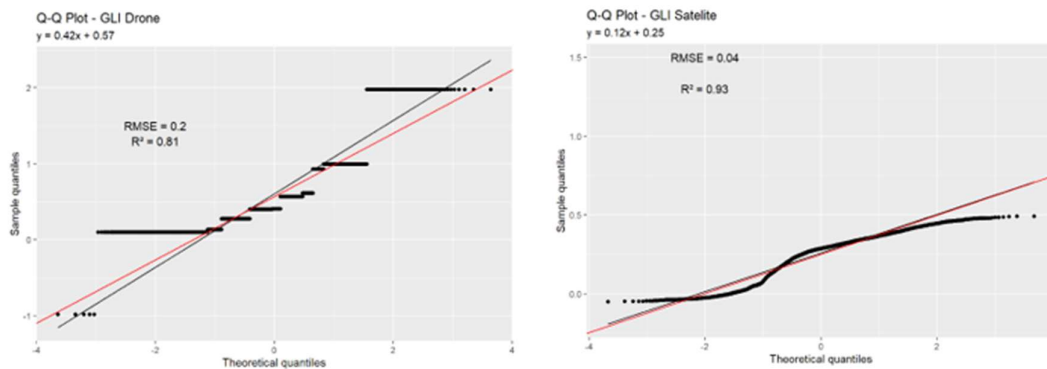


Figura 12. Gráfico Q-Q Plot do GLI

A dispersão dos dados expressa na Figura 27, apresenta a distribuição dos valores RMSE (*root mean squared error*) que é a medida que calcula a raiz quadrática média dos erros entre valores observados (reais) e previsões (hipóteses) e o R^2 é uma medida estatística de quão próximos os dados estão da linha de regressão ajustada referente, além de expressar os valores nos eixos y e x. Os gráficos referentes aos produtos gerados dos índices de vegetação Green Leaf Index (GLI), tivemos a resposta dos dados de VANT (RMSE: 0,2 – R^2 :0,81) e satélite (RMSE: 0,04 – R^2 :0,93).

A observação da dispersão dos valores da Figura 17, é sobre resultados dos índices de Normalized Green-Red Difference Index (NGRDI), sendo respectivo valor para VANT ($y:0,42x+0,25$; $RMSE:0,2$; $R^2:0,81$) e satélite ($y:0,12x+0,25$; $RMSE:0,04$; $R^2:0,93$).

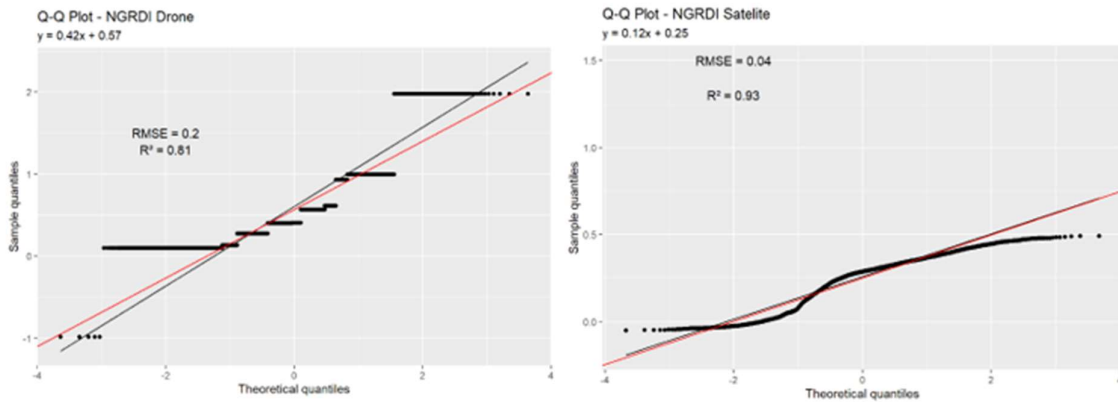


Figura 13. Gráfico Q-Q Plot do NGRDI

Notamos que o comportamento permanece na Figura 18 e 19, desta forma tanto para VARI como para VEG o valor dos dados VANT é ($y:0,42x+0,25$; $RMSE:0,2$; $R^2:0,81$) e satélite ($y:0,12x+0,25$; $RMSE:0,04$; $R^2:0,93$). Diante disso podemos afirmar que a suposição não será necessária ser verificada, pois os valores de RMSE não se elevou em nenhum caso, apenas que nos dados do VANT o RMSE é maior (0,2) e para satélite é menor (0,04).

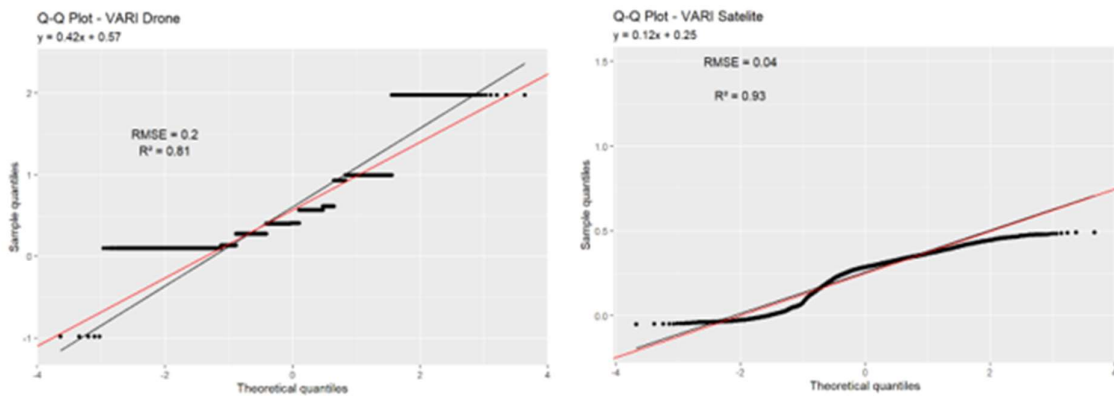


Figura 14. Gráfico Q-Q Plot do VARI

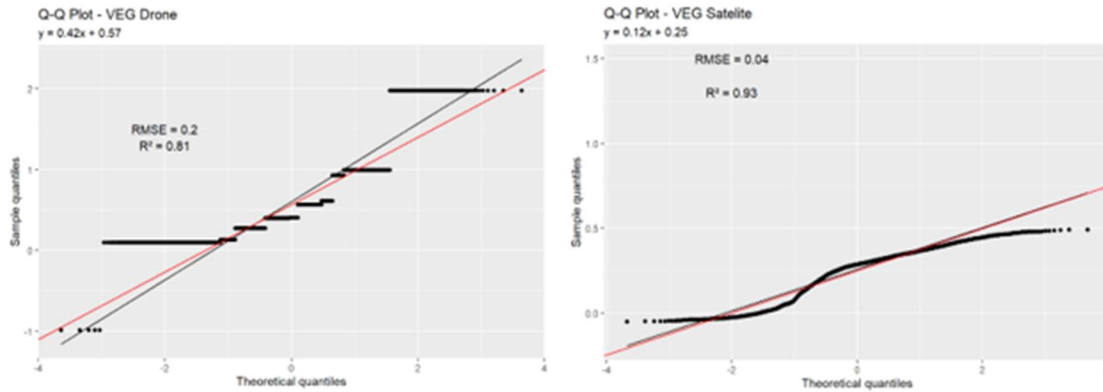


Figura 15. Gráfico Q-Q Plot do VEG

Como sabemos o RMSE nos traz a resposta se a performance do modelo aplicado foi positiva, pois a cada vez que o valor se aproxima de zero teremos uma menor evidência de raiz quadrada da média dos erros ao quadrado. Quanto os valores de R^2 devem se notar que quanto maior o valor melhor o modelo ajusta seus dados.

6. CONCLUSÕES

A realização de uma série de análise sobre os resultados obtidos, é possível fazer algumas considerações específicas no que refere a particularidades encontradas durante o processamento das imagens. Quanto ao uso das imagens do Sentinel-2, estás apresentaram uma grande riqueza de informações e um comportamento dos resultados de cada índice e suas respectivas classes, porém a deficiência se consiste na resolução espacial das imagens, isso em razão de serem áreas pequenas.

Diante disso, a vantagem do uso do VANT é em razão de apresentar uma perspectiva visual mais detalhada em virtude da captura ser a 60 metros de altura da superfície do solo, possibilitando por sua vez uma maior acurácia com a coloração simbolizada nos mapas, suprir as deficiências de repetitividade e limitações espaciais

Especificamente quanto aos índices de vegetação baseados nos dados satélite e VANT, o VARI se mostrou o mais coerente quando comparado ao NGRDI, sendo o VARI, por sua vez, o menos coerente. Entretanto, todos os índices do VEG do VANT apresentam correlações

elevadas quando comparados ao VEG do sentinel-2, abrindo assim uma nova perspectiva de análise, considerando apenas a porção visível do espectro.

Para os índices advindos dos dados satélite, o GLI foi considerado o índice que apresentou os melhores resultados, enquanto o VEG teve valores inverso, representando maiores valores para solo exposto e menores valores para folha verde intenso. Porém, mesmo com resultados de correlações consideradas baixas, os índices advindos dos dados aerotransportados apresentaram comportamentos típicos de cada estágio fenológico, apresentando, assim, grande potencial de aplicação para o monitoramento vegetal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. M.; RAMALHO, M. A. P.; MARQUES JÚNIOR, O. G. Controle genético do stay green no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista CERES**, Viçosa, v. 47, n. 270, p. 155-167, 2000.

ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um Veículo Aéreo Não Tripulado em áreas urbanas e rurais no Estado de Goiás**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2015.

AMRI, R. et al. Analysis of vegetation behavior in a North African semi-arid region. Using SPOTVEGETATION NDVI data. **Remote Sensing**, v. 3, n. 12, p. 2568–2590. 29 nov. 2011.

ANDRADE, Ricardo Guimarães et al. **Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) como plataforma para monitoramento da produção agropecuária: estudo de caso para o milho forrageiro**. Embrapa Gado de Leite. Juiz de Fora. Documentos. 233. p. 20. 2019.

BACKES, C. et al. Solos e nutrição de plantas. **Estado nutricional em nitrogênio da grama esmeralda avaliado por meio do teor foliar, clorofilômetro e imagem digital, em área adubada com lodo de esgoto**. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 3, p. 661-668, 2010.

BALLESTEROS, R. et al. Combined use of agro-climatic and very high-resolution remote sensing information for crop monitoring. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 72, n. May, p. 66–75. 2018.

BOHRER, C. B. D. A. et al. Mapeamento da vegetação e do uso do solo no Centro de Diversidade Vegetal de Cabo Frio. Rio de Janeiro. Brazil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 1, p. 1–23. 2009.

BRASIL. (2012). **Portaria nº 852, de 21 de setembro de 2012**. Diário Oficial da União. seção 2.

CARLESSO, R. et al. Efeito da lâmina de irrigação na senescência foliar do feijoeiro **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 545-556, 2007.

CIRANI, C. B. S., MORAES, M. A. F. D., PÊSSOA, L. C., & SILVA, D. DA. (2010). Uma análise de inovação a partir do estudo da adoção e uso de tecnologias de agricultura de precisão na indústria sucroalcooleira paulista. **Revista de Administração e Inovação**. 7(4). 186–205.

COELHO, A. M. **Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Minas Gerais. Embrapa Milho e Sorgo. v. 1518. n. 4277. p. 7-12. 2005.

COELHO, José Pimentel Castro et al. Agricultura Precisão. *In*: COELHO, José Pimentel Castro; SILVA, José Rafael Marques da (org.). **Agro cultura de Precisão**. Lisboa: Associação dos Jovens Agricultores de Portugal, 2009. p. 2–33.

COSTA DE OLIVEIRA, J., ROMERO DO AMARAL SANTOS DE CARVALHO ROCHA, J., MENDES DA SILVA, M., COELHO PEREIRA DE MAGALHÃES JÚNIOR, W., GUIMARÃES ANDRADE, R., & CAMPOLINA MACHADO, J. (2019). Fenotipagem de Alto Rendimento em Capim-elefante: Perspectivas de Uso de Índices de Vegetação Obtidos de Bandas Espectrais do Visível na Seleção de Genótipos Superiores 1.

CRAWLEY, M. J. **The R book**. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.

CRISTALDO, P. F. et al. Heterospecific detection of host alarm cues by an inquiline termite species (Blattodea: Isoptera: Termitidae). **Animal Behaviour**, v. 120, p. 43–49, 2016.

CRUZ, A.C. **Estimativa da densidade de plantação de cana de açúcar utilizando o espaço de cor CIE LAB em imagens de alta resolução especial providasde VANTs**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista. Sorocaba (SP). 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/194254>. Acesso em: 21 jun. 2021.

DALAMAGKIDIS, K.; VALAVANIS, K.P.; PIELG, L.A. Aviation history and unmanned flight. *In*: DALAMAGKIDIS, K.; VALAVANIS, K.P.; PIELG, L.A. On integrating unmanned aircraft systems into the national airspace system. **Springer**. 2012.

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

DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and regulation of growth and development plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **Stanford**, v. 2, p. 55-76, 1991.

DELAY, N. D., THOMPSON, N. M., & MINTERT, J. R. (2022). Precision agriculture technology adoption and technical efficiency. **Journal of Agricultural Economics**. 73(1). 195–219. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12440>.

DIEL, D. Nitrogênio no desenvolvimento de linhagens de feijoeiro na região de Sinop – MT. 2010. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – **Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso**, Sinop, 2010.

DUVICK, D. N. Genetic contributions to advances in yield of U.S maize. **Maydica**, Bergamo, v. 37, p. 69-79, 1992.

EISENBEISS, Henri. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. **Proceedings of the International Workshop on Processing and Visualization using High-Resolution Imagery**, Pitsanulok. Thailand, p. 1–7, 2004

FANCELLI, A. L.; NETO, D.D. Produção de feijão. Piracicaba: Livrocere, 2007. IPNI, INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. Otimização da produção 2007.

FAO - **Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. The future of food and agriculture Alternative pathways to 2050**. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>>. Acesso em: 08 de julho de 2022.

FUSSELL. J.; RUNDQUIST. D. C.; HARRINGTON-JR.. J. A. On defining remote sensing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 52. n. 9. p. 1507–1511. 1986.

FURIAN, P. H. 2014. **Espectro Eletromagnético**. Disponível em: <http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>. Acesso em: 18 ago. 2018.

GELLIUS. C. **Attic nights**. Book 10 (1927). Tradução de Rolfe. J.C. Disponível: < [Gellius • Attic Nights — Book X \(uchicago.edu\)](#) > Acesso: 25 de janeiro de 2023.

GENCHEV, D. Asynchronously ripening of stem and pods of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 36, p. 87-88, 1993.

GITELSON, A. A. et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 76–87, 2002.

GITELSON, A. A. et al. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 5, 2003.

GUILFFORD, R. M.; EVANS, L. T. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. **Annual review Plant Physiology**, Palo Alto, v. 32 p. 485-509, 1981.

GUIMARÃES, C. M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M. J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1998. p. 157-174.

HERWITZ, Stanley R. et al. UAV homeland security demonstration. **Collection of Technical Papers - AIAA 3rd “Unmanned-Unlimited” Technical Conference, Workshop, and Exhibit**, v. 1, n. September, 396–400, 2004.

HOUSE, F. B. et al. History of satellite missions and measurements of the Earth Radiation Budget (1957–1984). **Reviews of Geophysics**, v. 24, n. 2, p. 357–377, 1986.

HUNT-JR, E. R. et al. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 4, p. 359–378, ago. 2005.

HUNT-JR, E. R. et al. Remote sensing leaf chlorophyll content. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 2, p. 1090–1099, 2011.

JENSEN JR. (2007) **Remote sensing of the environment: an Earth Resources Perspective**. 2. ed. Upper Saddle River: PrenticeHall. 592p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de EPIPHANIO, J. C. N. 2.ed. São José dos Campos, SP: Parênteses. 2009. 598 p.

KEANE, John F.; CARR, Stephen S. A brief history of early unmanned aircraft. **Johns Hopkins APL Technical Digest (Applied Physics Laboratory)**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 558–571, 2013.

KÖPPEN, W. P. **Klimate der erde: grundriss der klimakunde**. Berlin: Justus Perthes, 1923.

KUMAR, R. R. **Radiation from plants, reflection and emission: a review**. Lafayette: Purdue Research Foundation, 1972.

LAMPARELLI, R. A. C. **Agricultura de precisão**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2016. Disponível em: Acesso em: 28 jan. 2023.

LAURSEN, D. C., & MEIJBOOM, F. L. (2021). Between food and respect for nature: On the moral ambiguity of Norwegian stakeholder opinions on fish and their welfare in technological innovations in fisheries. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, 34, 28. <https://doi.org/10.1007/s10806-021-09849-0>.

LILLESAND, T. et al. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons. 2014. p. 1-9.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP. 908 p. 2006.

LOPES DOS SANTOS, F., TEIXEIRA MARTINS, M., DE SOUZA LOPES, C., IVO PFEIFER, M., & PAES MARANGON, G. (2020). *Avaliação de índices de vegetação da faixa do visível (RBG) calculados a partir de imagens de VANT em um pomar de oliveiras*. **II Simposio Português de Pós-graduação em Ciências Florestais**.

LOUHAICHI, Mounir; BORMAN, Michael M.; JOHNSON, Douglas E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65–70, 2001.

MARCHANT, J.A.; ONYANGO, C.M. Shadow-invariant classification for scenes illuminated

- by daylight. **Journal of the Optical Society of America**, v. 17, n. 11, p. 1952–1961, 2002.
- MELESSE, Assefa M. et al. Remote sensing sensors and applications in environmental resources mapping and modelling. **Sensors**, v. 7, n. 12, p. 3209–3241, 2007.
- MENESES, P. R. Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: MENESES, P. R.; NETJ. DA S. M. (Eds.). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. p. 15–40.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher. p. 387. 2010.
- OFORI, Martinson; EL-GAYAR, Omar. Drivers and challenges of precision agriculture: a social media perspective. **Precision Agriculture**, v. 22, n. 3, p. 1019–1044, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09760-0>.
- OLIVEIRA, A. J. DE. SILVA, G. F. DA. SILVA, G. R. DA. SANTOS, A. A. C. DOS. CALDEIRA, D. S. A. VILARINHO, M. K. C. BARELLI, M. A. A. & OLIVEIRA, T. C. DE. (2020). Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão / Drones potentiality use in precision agriculture. **Brazilian Journal of Development**. 6(9). 64140–64149. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-010>.
- PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. DA S. M. (Eds.). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Universidade de Brasília. 2001. p. 157–199.
- PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 101-137.
- SASAKI, Hiroki; KATAYAMA, Naoki; OKUBO, Satoru. Are agricultural support policies harmful to the environment? Evidence from Japanese farm-level policy simulation. **Agricultural and Resource Economics Review**, v. 50, n. 3, p. 485–511, 2021.
- SHIMABUKURO, Y. E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, p. 399–409, 2009.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, 1965.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.
- TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**, v. 32, n. 2, p. 227–234, 2012.
- TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127–150, 1979.

THOMPSON. N. M.. BIR. C.. WIDMAR. D. A.. & MINTERT. J. R. (2019). Farmer perceptions of precision agriculture technology benefits. **Journal of Agricultural and Applied Economics**. 51(1). 142–163. <https://doi.org/10.1017/aae.2018.27>.

HOMAS, H.; SMART, C. M. Crops that stay green. **Annals Applied of Biology**, Warwick, v. 123, n. 1, p. 193- 219, 1993.

UNITED STATES DEPARTAMENT OF AGRICULTURE. USDA. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**. United States: USDA. 2016. 25p. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.PDF>Acesso em: 25 de janeiro de 2023.

VENÂNCIO, W. S. et al. Physiological effects of strobilurin fungicides on plants. **Publication UEPG**, Ponta Grossa, v. 9, n. 3, p. 59-68, 2004.

WALULU, R. S.; ROSENOW, D. T.; WERTER, D. B.; NGUYEN, H. T. Inheritance of the stay green trait in sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 4, p. 970- 972, 1994.

WAN, L. et al. Combining UAV-Based Vegetation Indices and Image Classification to Estimate Flower Number in Oilseed Rape. **Remote Sensing**, v. 10, n. 9, p. 1484, 2018.

WINDER, A. R.S. **Lâminas De Irrigação Na Cultura Da Rúcula No Cerrado**. Tese de Doutorado, Dissertação (Graduação em Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Ceres, 2018.