

# Processamento de ortomosaicos obtidos por VANT para análise de plantações utilizando índices de vegetação

Kauee Rocha Puertas<sup>1</sup>, Gilberto Fernandes Junior<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Computação – Universidade Estadual de Londrina (UEL)  
Caixa Postal 10.011 – CEP 86057-970 – Londrina – PR – Brasil

kauee.puertas7@uel.br, gilfernandes@uel.br

**Abstract.** *In the current agricultural landscape, there is a growing demand for more precise and effective methods of crop management. The quest for solutions that enable increased productivity, optimized resource utilization, and reduced environmental impacts has been a priority. Through the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) remote sensing, the capture of images for vegetation species image processing in agriculture becomes more feasible, providing greater control and decision-making power over the crop. It is within this context that this study aims to analyze vegetation indices detected in orthomosaics of plantations with the purpose of identifying areas with different levels of productivity, as well as conducting other analyses such as plant counting and vegetation area estimates.*

**Resumo.** *No atual cenário agrícola, há uma crescente demanda por métodos mais precisos e eficazes de gerenciamento das plantações. A busca por soluções que permitam aumentar a produtividade, otimizar o uso de recursos e reduzir os impactos ambientais tem sido uma prioridade. Com o uso do sensoriamento remoto por VANT's (Veículos Aéreos Não Tripulados), torna-se mais viável a captação de imagens para a utilização do processamento de imagem das espécies vegetais no meio agrícola, tendo um maior controle e poder de decisão sobre a plantação. É nesse contexto que este trabalho se propõe a analisar índices de vegetação detectados em ortomosaicos de plantações com a finalidade de identificar áreas com diferentes níveis de produtividade, bem como conduzir outras análises, como contagem de plantas e estimativas de área de vegetação.*

## 1. Introdução

Nas propriedades rurais, os métodos convencionais de previsão de safras envolvem amostragens em campo, como mencionado por Rodrigues et al. [18]. No entanto, esses procedimentos são onerosos, demandam mão de obra significativa e, muitas vezes, só podem ser realizados durante a colheita, o que impede o planejamento administrativo antecipado.

Com a grande necessidade de técnicas e metodologias que são capazes de notar mudanças e variações na área vegetal, por meio de informações adquiridas por sensores orbitais, de forma prática, o sensoriamento remoto vem sendo largamente aplicado. [17]

Na agricultura, o veículo aéreo não tripulado (VANT) emergiu como uma ferramenta vital para a exploração de áreas agrícolas por meio da aquisição de imagens. Devido ao seu custo acessível, essa tecnologia está sendo amplamente adotada, permitindo

operações em áreas de monitoramento de experimentação agrícola com alta resolução espacial e temporal. Além de que, com seu uso, as imagens podem ser obtidas a qualquer momento, inclusive serem feitas mais de uma vez no mesmo dia, diferentemente das obtidas de satélites. [4]

Sendo assim, no cenário florestal, técnicas de processamento de imagens aliadas ao uso de VANT's são aplicadas em diversos estudos anteriores [24], [16]. Essas pesquisas se concentram principalmente na utilização de índices de vegetação, que são valores derivados de manipulações matemáticas das medidas de reflectância espectral. Esses índices encontram aplicação em diversas finalidades, incluindo estimativas de biomassa, análise da evolução da cobertura vegetal e quantificação da produção.

Em vista do exposto, o presente trabalho tem como objetivo utilizar dessas técnicas computacionais para monitoramento de áreas vegetais, da captação de informações à geração do relatório da qualidade vegetativa, para que as culturas sejam avaliadas de maneira facilitada com análise de índices de vegetação. Neste sentido, será realizada uma análise em torno de uma plantação de um ortomosaico para identificar características relevantes como a detecção de áreas mais saudias ou menos saudias, estimativa de áreas de vegetação e até mesmo a contagem de plantas. Desta forma, estas informações podem servir de base para futuras tomadas de decisões em relação ao manejo agrícola, para o monitoramento do desenvolvimento das plantações e para a identificação precoce de problemas, como doenças ou infestações de pragas.

## **2. Fundamentação Teórico-Methodológica e Estado da Arte**

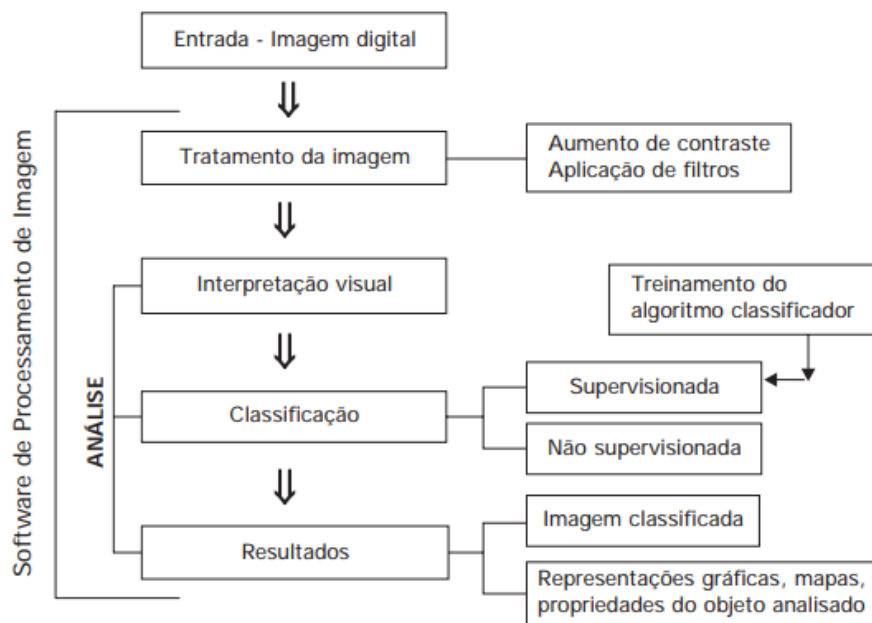
### **2.1. Processamento de Imagem (PDI)**

O processamento de imagem se derivou do processamento de sinais, onde os sinais, assim como as imagens, carregam consigo uma informação. Processar essa imagem se resume a transformá-la repetidamente com o propósito de extrair mais facilmente a informação presente nela [4].

A principal funcionalidade do processamento digital de imagens reside em disponibilizar instrumentos que simplifiquem a detecção e extração de dados presentes na imagem, com vistas à subsequente interpretação. Para o fim da produção de outras imagens já contendo informações específicas, extraídas e realçadas, sistemas dedicados de computação são empregados na análise e manipulação interativa das imagens brutas [3].

O processamento de imagens digitais abrange uma ampla escala de hardware, software e fundamentos teóricos. As etapas definidas a seguir, e ilustradas na Figura 1, representam o fluxo geral de processamento de imagem digital e são fundamentais em várias aplicações, incluindo reconhecimento de padrões, visão computacional, medicina (diagnóstico por imagem), automação industrial e muitas outras [11].

1. Aquisição de Imagem Digital: Captura da imagem em formato digital.
2. Pré-processamento: Melhoramento da qualidade da imagem para aumentar as chances de sucesso nas etapas subsequentes. Isso envolve técnicas como realce de contraste e remoção de ruído.
3. Segmentação: Divisão da imagem de entrada em partes distintas. Geralmente, essa etapa é uma das mais desafiadoras no Processamento de Imagem Digital



**Figura 1. Alguns dos passos do processamento representados. [7]**

(PDI). Por exemplo, no reconhecimento de caracteres, a segmentação desempenha um papel fundamental ao extrair caracteres individuais e palavras do fundo da imagem.

4. Representação: Conversão dos dados da imagem para um formato adequado ao processamento computacional. Isso inclui decidir se os dados devem ser representados como fronteiras ou como regiões completas.
5. Extração ou Seleção de Características: Identificação e extração de características que contenham informações quantitativas de interesse ou que sejam essenciais para a discriminação entre diferentes classes de objetos. No reconhecimento de caracteres, por exemplo, buracos e concavidades são características cruciais que ajudam a diferenciar partes do alfabeto.
6. Reconhecimento: Atribuição de rótulos a objetos com base nas informações fornecidas pelas características extraídas.
7. Interpretação: Atribuição de significado a um conjunto de objetos reconhecidos, contextualizando-os em uma perspectiva mais ampla.

### **2.1.1. Relação entre Processamento Digital de Imagens e Computação Gráfica**

A área de Processamento Digital de Imagens e de Computação Gráfica (CG) vêm crescendo muito diante de tamanha aplicabilidade nos dias de hoje. Fazendo uma comparação entre elas, percebe-se que são áreas distintas: enquanto a CG busca imagens fotorealísticas de cenas tridimensionais geradas por computador, a PDI pretende reconstruir uma cena tridimensional a partir de uma imagem real, obtida através de um aparelho fotográfico [6].

Tendo em mente a definição de processamento de imagem com a informação, a Computação gráfica parte de uma informação precisa para obter uma imagem. Por outro

lado, o PDI parte da imagem, informação inicial geralmente captada por uma câmera, para obter a informação [4].

O cenário que engloba todas as disciplinas que incorporam elementos de processamento de informações visuais, com especial ênfase em áreas como CG e PDI, é definido como Computação Visual.

### **2.1.2. PDI Aplicado ao Agro**

O papel da PDI na agricultura é de extrema importância na preparação e melhoria das imagens para análises. Sua aplicação contribui para aumentar a precisão das estimativas de índices vegetais e decisões agrícolas.

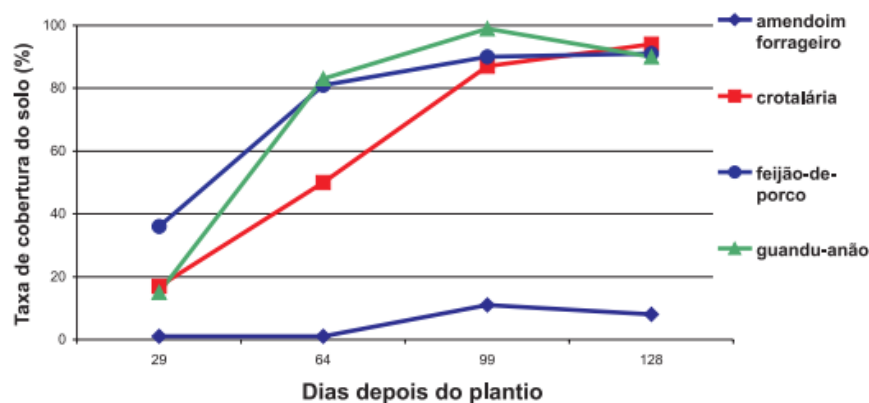
No trabalho de [8], o processamento de imagem digital foi utilizado para que fossem identificadas as ervas daninhas, baseando nas linhas de cultura, reconhecendo as plantas que estão entre as linhas e as considerando invasoras, sendo necessário seu controle.

Na publicação de [24], o objetivo principal foi avaliar a viabilidade de utilizar imagens digitais obtidas por meio de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para quantificar os efeitos de diferentes taxas de fertilizantes nitrogenados nas plantações de arroz, empregando técnicas de PDI. Os autores acreditam que essa aplicação teria o potencial de otimizar a gestão dos fertilizantes, reduzir os custos de produção e mitigar os impactos ambientais. Primeiramente, os pesquisadores conduziram análises químicas nas plantas de arroz para determinar seus níveis de nitrogênio. Em seguida, aplicaram o PDI às imagens coletadas pelo VANT para extrair as características espectrais das plantas. Isso possibilitou a aplicação de técnicas de regressão linear para estabelecer correlações entre os dados obtidos nas imagens e os resultados das análises químicas. Essa abordagem minimiza a necessidade de amostragem em campo, economizando tempo e recursos financeiros, enquanto permite a avaliação precisa das diversas taxas de aplicação de fertilizantes.

No artigo de [7], o problema encontrado foi na cultura do maracujazeiro, onde é comum encontrar degradações de todos os tipos pela ação da erosão e lixiviação de nutrientes. A solução proposta foi utilizar método de análise digital de imagens, obtidas por câmeras de vídeo, para avaliar a eficiência de crescimento e taxa de cobertura do solo de diferentes espécies que seriam plantadas entre as linhas de maracujá, capazes de cobrir o solo, para que aumente a taxa de crescimento na cultura do maracujazeiro. Com o uso de diferentes softwares para tratamento e classificação das imagens, obtiveram um bom acompanhamento e avaliação das espécies, tendo por fim um relatório, como na Figura 2, de acordo com o parâmetro avaliado, como cobertura verde, cobertura morta e solo exposto, e com as espécies, como feijão-de-porco, guandu-anão, crotalária, sobre a taxa de cobertura do solo destas para plantação.

## **2.2. Sensoriamento Remoto por VANT's**

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite a obtenção de imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície [9].



**Figura 2. Taxa de cobertura de solo por quatro espécies de plantas adquirida ao longo do tempo, podendo ser utilizada para tomada de decisões sobre a melhor plantação entre as linhas de maracujá**

Jensen [12] engloba a essência do termo “sensoriamento remoto” e o define como a aquisição de dados sobre um objeto sem tocá-lo diretamente”. Ou seja, o registro é feito por meio de informação de regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e micro-ondas do espectro eletromagnético, sem a necessidade do contato direto. Isso é realizado por meio de instrumentos, como câmeras, escâneres, lasers e dispositivos lineares ou matriciais, que estão montados em plataformas como aeronaves ou satélites. Posteriormente, a informação obtida é analisada, seja visualmente ou por meio de processamento de imagens digitais [13].

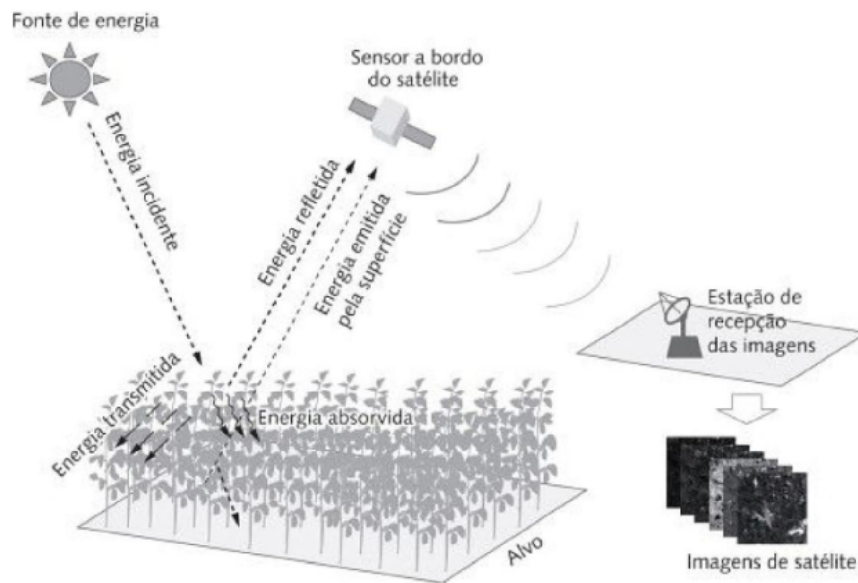
O esquema da Figura 3 representa a aquisição de imagens por sensoriamento remoto. A energia proveniente de uma fonte de energia, como o Sol, incide sobre uma área na superfície terrestre, como um campo agrícola, e interage com ela. Uma fração da energia é absorvida, outra é transmitida e outra é refletida. Uma parte da luz refletida, juntamente com parte da energia emitida pela superfície, é registrada por sensores a bordo de satélites. As imagens capturadas pelos sensores são transmitidas para estações de recepção e em seguida distribuídas aos usuários [10].

Utilizando técnicas de sensoriamento remoto em conjunto com as imagens obtidas através do VANT, tem-se, por exemplo, o auxílio na estimativa da produtividade e do surgimento de pragas nas culturas, de forma mais rápida e de maneira sustentável [21].

Tendo em vista que o desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados (VANTs) têm baixo custo e que todo o sensoriamento remoto que se faz com satélites e aviões tripulados estão disponíveis nos VANT’s, a utilização destes estão cada vez mais viáveis para uso no campo de estudo [5].

À vista disso, as imagens de sensores remotos apresentam variadas características que tornam possível seu uso às mais diversas aplicações, sejam elas estudos globais, programas de monitoramento contínuo em áreas extensas, ou até mesmo em estudos mais pontuais em escalas detalhadas como o ambiente urbano ou a agricultura de precisão (AP) [21].

Os sensores utilizados são capazes de registrar a energia eletromagnética, seja ela refletida ou emitida pelo alvo. As diferentes faixas do espectro eletromagnético que



**Figura 3. Esquemática da captura de imagens por sensoriamento remoto.**  
[10]

são captadas por sensores multiespectrais são definidas como: faixas do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e termal. Com a detecção das faixas, os sensores retornam as informações diferentes para alvos diferentes de superfície [21].

Algumas das várias aplicações que são abordadas através de SR são: a estimativa da biomassa e produtividade da cultura; o monitoramento de estresse hídrico e do vigor nas plantas e a avaliação do estágio fenológico [2].

### 2.3. Índices de Vegetação

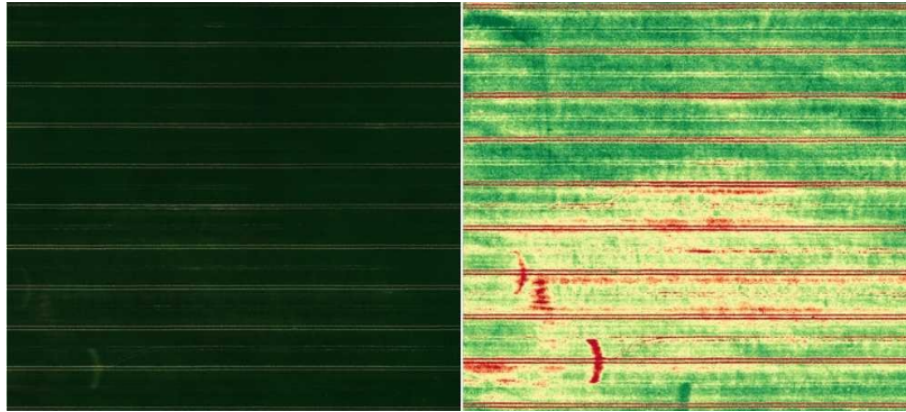
Os índices de vegetação são instrumentos valiosos na área de agricultura de precisão por serem representados por modelos matemáticos que visam avaliar e retratar a cobertura vegetal em uma determinada área de acordo com a sua refletância.

Com a reflexão da luz solar incidente sobre uma vegetação, consegue-se captar bandas espectrais, ou comprimentos de onda, que, quando analisadas, podem realçar determinadas características.

As medidas de índice de vegetação têm, em geral, associação direta com a quantidade de biomassa, o índice de área foliar, a cobertura do solo, a interceptação da radiação e o rendimento agrícola [15], [19], [20], [1].

Existem diversos índices de vegetação, cada qual com seu propósito, tendo em vista que o número de variáveis luminosas, ambientais e biológicas na agricultura são extensas. Alguns desses índices isolam faixas de luz muito específicas, enquanto outros são projetados para eliminar ou minimizar influências do solo e da atmosfera.

As faixas de luz visível, como o vermelho, verde e azul, oferecem insights sobre a pigmentação das folhas e a vitalidade das plantas, uma vez que a produção de clorofila é um indicativo da saúde e vigor das plantas. Portanto, um índice de vegetação RGB se mostra uma ferramenta valiosa para avaliar tanto o estágio de crescimento da cultura



**Figura 4. Revelar padrões que não são discerníveis em uma imagem visual pode ser auxiliado pela atribuição de cores distintas a diferentes valores de índice de vegetação. [22]**

quanto a saúde global das plantações.

Alguns índices de vegetação baseados em cores RGB frequentemente empregados são: GRVI (índice de Vegetação Verde Vermelho), VARI (índice de Resistência Atmosférica Visível) e GLI (índice de folha verde).

Já pelo lado dos índices de vegetação multiespectral, esses sensores têm a capacidade de capturar luz infravermelha de borda vermelha, infravermelho próximo e de ondas curtas, que, embora não sejam visíveis para nós, contêm informações valiosas sobre a quantidade de clorofila, estrutura celular, teor de água e componentes bioquímicos presentes nas plantas.

Exemplos de índices de vegetação multiespectrais comumente utilizados são: NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada), EVI (Índice de Vegetação Aprimorada) e SAVI (Índice de Vegetação Ajustado do Solo Modificado).

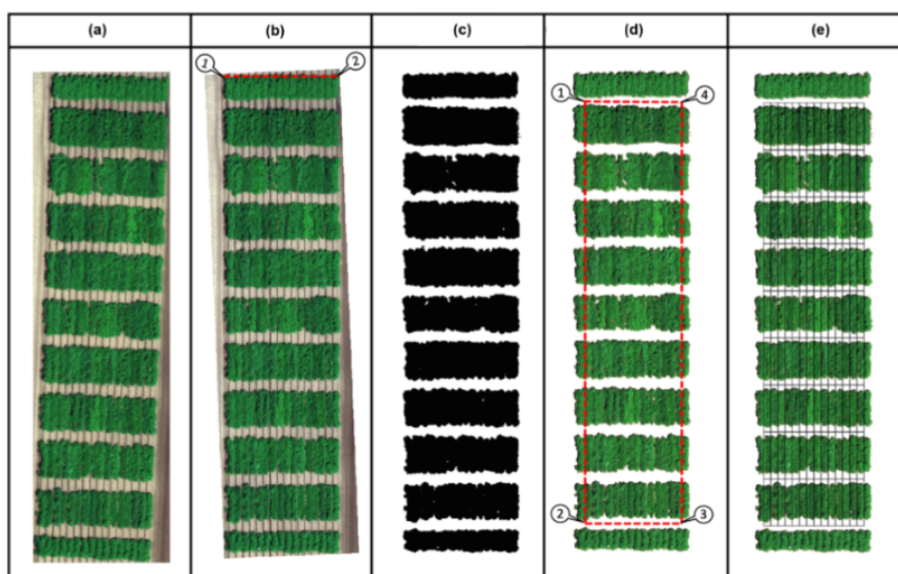
Os VANT's capturam e renderizam esses dados de refletância como pixels individuais em sua imagem de campo. Cada pixel recebe um valor de índice, geralmente um número de -1 a 1. Valores superiores no intervalo geralmente são atribuídos a plantas mais saudáveis e valores mais baixos representam material inorgânico ou morto. Após a atribuição de valor para cada pixel, tem-se a coloração dos mesmos para visualização do campo em questão de maneira a destacar a saúde da vegetação [22].

#### **2.4. FIELDimageR: visão geral**

O FIELDimageR é uma biblioteca do R Studio projetada para lidar com dados de imagens georreferenciadas, principalmente em aplicações relacionadas a sensoriamento remoto e geotecnologia.

A biblioteca oferece aos cientistas do meio agrônomo um conjunto de bons utilitários capazes de extrair fenótipos de sensoriamento remoto de imagens de ortomosaico de ensaios de campos [14].

De acordo com o mesmo autor, o objetivo da criação do FIELDimageR foi para se ter um fluxo de trabalho mais amigável para os usuários, aproveitando os pacotes de análise de imagens já existentes, incluindo o raster.



**Figura 5. Exemplo de aplicação do FIELDImageR. [14]**

Para preparar a imagem, a biblioteca permite cortar a imagem, remover o solo e plantas daninhas e girar a imagem. Há diversas finalidades para que sejam extraídos valores de pixel, estatísticas de resolução espacial, avaliação de diferentes comprimentos de onda, índice de vegetação, contagem de plantas, porcentagem de dossel e altura das plantas.

Na figura 5, temos um exemplo da aplicação de 5 ferramentas da biblioteca: (a) adicionar imagem - (`raster::stack`), (b) rotacionar (`fieldRotate`), (c) remover solo (`fieldMask`), (d) selecionar os limites (`fieldShape`) e (e) informação do ShapeFile (`fieldInfo`).

Os índices de vegetação considerados pela literatura por estimularem a cobertura vegetal, área foliar, clorofila e biomassa são: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Leaf Index (GLI), Bright Index (BI), entre outros. Estes índices foram gerados a partir da utilização do FIELDImageR no software R considerando etapas de pré-processamento para que somente os pixels de interesse da cana-de-açúcar fossem analisados no trabalho de Speranza et al. [23].

### 3. Objetivos

O objetivo desse projeto é identificar áreas com diferentes níveis de produtividade de plantações com uso de índice de vegetação. Para que este objetivo seja alcançado, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

1. Estudar a fundamentação teórica, buscando o estado da arte por meio de revisões bibliográficas dos trabalhos relacionados com a utilização de processamento de imagem na agricultura, bem como estudos que envolvam a análise de índices de vegetação nas culturas.
2. Estudar a biblioteca FIELDImageR e suas funcionalidades de processamento de imagem para obter as informações.
3. Buscar por base de dados com ortomosaicos de vegetações em determinadas condições climáticas.



4. Pesquisar sobre índices de vegetação, cada um com sua própria aplicação e sensibilidade às características desejadas da vegetação.
5. Obter a decisão sobre a produtividade e características de culturas vegetais após análise de imagens.

#### 4. Procedimentos metodológicos/Métodos e técnicas

Inicialmente, será realizada uma revisão bibliográfica a fim de encontrar as principais aplicações do sensoriamento remoto com processamento de imagem, assim como trabalhos que utilizam dessas técnicas no âmbito da produtividade na agricultura.

Após o levantamento, a escolha da base de dados de ortomosaicos para que seja possível iniciar a extração de informações das imagens de vegetações será feita.

Extraindo as informações através do processamento de imagem utilizando a biblioteca FIELDimageR, será necessária a decisão de quais índices vegetativos serão utilizados no estudo.

Com os índices escolhidos, será realizado os cálculos matemáticos com base nas informações extraídas das plantações, que informarão parâmetros biofísicos da cultura.

Posto isso, relatórios sobre a classificação de níveis de produtividade serão gerados.

#### 5. Cronograma de Execução

Para que os objetivos sejam alcançados, as atividades serão divididas da seguinte maneira:

1. Levantamento bibliográfico;
2. Estudo das técnicas do FIELDimageR;
3. Coleta dos datasets de ortomosaicos com vegetações;
4. Realização do processamento da imagem para extração de informações;
5. Decisão dos índices de vegetação e seus cálculos com uso do FIELDimageR;
6. Análise dos dados obtidos de acordo com a plantação, e identificação das áreas de produtividade;
7. Geração dos relatórios;
8. Escrita do Trabalho de Conclusão de Curso;
9. Revisão ortográfica.

Atividade	2023					2024				
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
1	•	•								
2	•	•								
3		•								
4			•	•						
5				•	•					
6				•	•	•				
7					•	•	•			
8					•	•	•	•	•	
9									•	•

Tabela 1. Cronograma de execução

## 6. Contribuições e/ou Resultados esperados

Com o trabalho desenvolvido, é esperado que o conteúdo apresentado aborde o estado da arte na área de sensoriamento remoto para estudo de cultura com base no índice de vegetação. À medida que se desenvolve, espera-se que os índices e ferramentas escolhidos contribuam para a definição da qualidade de vegetação. Tendo os ortomosaicos, estima-se a cobertura de áreas de plantio, para que seja possível um monitoramento no desenvolvimento das plantas. Espera-se que, somado os conceitos desse trabalho, seja possível a identificação precoce de problemas em plantações, tais como doenças ou infestações de pragas. Objetivos que, por sua vez, beneficiarão tanto a comunidade científica quanto a esfera comercial agrícola.

## 7. Espaço para assinaturas

Londrina, 18 de Setembro de 2023.

---

Kauee Rocha Puertas

---

Gilberto Fernandes Junior

## Referências

- [1] MAH Antunes, ED Assad, and GT Batista. Variação das medidas espectrais tomadas com espectrorradiômetro ao longo do ciclo de crescimento de soja (*glycine max* (l. merril). *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 7:01–09, 1993.
- [2] Ziany Neiva Brandao et al. Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto. 2009.
- [3] Alvaro Penteado Crosta. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. UNICAMP/Instituto de Geociências, 1999.
- [4] Márcio Portes de Albuquerque and Marcelo Portes de Albuquerque. Processamento de imagens: métodos e análises. *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas MCT*, 2000.
- [5] Lúcio André de Castro Jorge and Ricardo Y Inamasu. Uso de veículos aéreos não tripulados (vant) em agricultura de precisão. *Ferramentas para agricultura de precisão*, 8:109, 2013.
- [6] José Eustáquio Rangel de Queiroz and Herman Martins Gomes. Introdução ao processamento digital de imagens. *Rita*, 13(2):11–42, 2006.
- [7] Manuel E Ferreira, LRM de ANDRADE, Edson E Sano, AM de CARVALHO, and Nilton TV Junqueira. Uso de imagens digitais na avaliação da cobertura do solo, 2001.
- [8] Gustavo Finholdt, Celso Bandeira de Melo Ribeiro, and Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Programa computacional para localização de plantas daninhas utilizando processamento de imagens digitais. *SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO*, 3, 2005.
- [9] Teresa Gallotti Florenzano. *Iniciação em sensoriamento remoto*. Oficina de textos, 2007.

- [10] Antonio Roberto Formaggio and Ieda Del'Arco Sanches. *Sensoriamento remoto em agricultura*. Oficina de Textos, 2017.
- [11] Rafael C Gonzalez and Richard E Woods. *Processamento de imagens digitais*. Editora Blucher, 2000.
- [12] John R Jensen. *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective 2/e*. Pearson Education India, 2009.
- [13] John R Jensen and José Carlos Neves Epiphânio. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. 2009.
- [14] Filipe Inácio Matias, Maria V Caraza-Harter, and Jeffrey B Endelman. Fieldimager: An r package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. *The Plant Phenome Journal*, 3(1):e20005, 2020.
- [15] P Millard, GG Wright, MJ Adams, RV Birnie, and P Whitworth. Estimation of light interception and biomass of the potato (*solanum tuberosum* l.) from reflection in the red and near-infrared spectral bands. *Agricultural and forest meteorology*, 53(1-2):19–31, 1990.
- [16] George Edson do Nascimento. *O uso de imagens coletadas por aeronaves remotamente pilotadas para apoio a fenotipagem de alface através da utilização de índices de vegetação*. 2022.
- [17] Rayssa Balieiro Ribeiro, Roberto Filgueiras, Maria Camila Alves Ramos, and Cristina Rodrigues Nascimento. Análise temporal das variações de parâmetros biofísicos da cana-de-açúcar em jaíba-mg. *Nativa*, 3(3):150–155, 2015.
- [18] Victor do Nascimento Rodrigues, Renzo Garcia Von Pinho, Carlos Maurício Paglis, Júlio Sílvio de Sousa Bueno Filho, and André Humberto de Brito. Comparação entre métodos para estimar a produtividade de grãos de milho. *Ciência e Agrotecnologia*, 29:34–42, 2005.
- [19] Bernardo Friedrich Theodor Rudorff and Getulio Teixeira Batista. Spectral response of wheat and its relationship to agronomic variables in the tropical region. *Remote Sensing of Environment*, 31(1):53–63, 1990.
- [20] Bernardo Friedrich Theodor Rudorff and Getulio Teixeira Batista. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. *Remote sensing of Environment*, 33(3):183–192, 1990.
- [21] Luciano Shozo Shiratsuchi, Ziany Neiva Brandão, Luiz Eduardo Vicente, D de C Victoria, Jorge Ricardo Ducati, RP de OLIVEIRA, and M de F VILELA. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. *Bernardi, ACC; Naime, JM; Resende, AV; Bassoi, LH*, pages 58–73, 2014.
- [22] Solvi. Which vegetation index should i use? <https://solvi.ag/blog/which-vegetation-index-should-i-use/>, 2023. Accessed: 2023-09-16.
- [23] Eduardo Antonio Speranza, João Francisco Gonçalves Antunes, Luiz Antonio Falaguasta Barbosa, Geraldo Magela de Almeida Cançado, and Julio Cezar Vansconcelos. Importância de Índices de vegetação para modelos de estimativa de produtividade em cana-de-açúcar.

- [24] Jinxia Zhu, Ke Wang, Jinsong Deng, and Tom Harmon. Quantifying nitrogen status of rice using low altitude uav-mounted system and object-oriented segmentation methodology. In *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, volume 49002, pages 603–609, 2009.