

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

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**

Monte Carmelo

2022

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**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis

Coorientador: Me. Samuel Lacerda de Andrade

Monte Carmelo

2022

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**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo.

Aprovado em: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora:

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

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

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

Monte Carmelo

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e aos espíritos de luz pelo dom da vida, pelo milagre de viver e pelas pequenas coisas. A minha família, em especial a minha avó Maria Silva Lopes de Jesus (*in memoriam*) que deixou de viver entre nós para viver dentro de nós, a minha mãe Eliana que sempre me apoiou e incentivou em todas as etapas da vida. Ao meu tio e padrinho Silvino, por me empenhar a crescer. A minha filha Alice, que me deu forças pra poder continuar e chegar até aqui. A minha noiva Ana Luiza, que enfrenta os desafios da vida comigo e me torna um ser melhor a cada dia.

Aos meus amigos que fiz durante a minha graduação, Carlos Oliveira, Victor Martins, Arthur Henrique, Artur Machado e Guilherme Vidigal, por terem compartilhado momentos especiais e memoráveis junto a mim. Aos demais colegas da 9ª Turma do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Ao meu orientador professor Dr. Rodrigo Bezzera de Araujo Gallis, por me instruir e auxiliar para que este trabalho fosse executado da melhor forma possível. Ao meu coorientador Me. Samuel Lacerda de Andrade, por partilhar a suas ideias para enriquecer este trabalho. Ao Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças que forneceu os dados que possibilitaram a execução deste trabalho.

Agradeço aos professores e técnicos da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo por contribuírem com a minha formação acadêmica. E a todos que colaboraram de forma direta ou indireta no decorrer da minha graduação.

RESUMO

A proposta do trabalho é utilizar imagens coletadas por aeronaves remotamente pilotadas do campo de hortaliças do Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT) localizado no horto florestal e através de ferramentas computacionais baseadas em índices de vegetação e reconhecimentos de padrões, realizar a fenotipagem utilizando estas imagens. O emprego de imagens para fenotipagem pode trazer muitos benefícios. As técnicas para captura das imagens geralmente são rápidas, não invasivas, precisas, de baixo custo, livres de resíduos, com boa resolução espacial e temporal, permitem explorar áreas relativamente grandes, proporcionam grande número de repetições e segurança ao operador. Com a disseminação das Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP's), a coleta de imagens dos campos de cultivares permite o monitoramento de campos de experimentação agrícola com alta resolução espacial e também alta resolução temporal. Essas aeronaves podem embarcar diversos tipos de câmaras com sensores que capturam desde o espectro eletromagnético visível até o espectro do infravermelho, possibilitando diversas análises das características vegetais. Essa combinação entre a alta resolução espacial e temporal é um dos principais atrativos para o emprego dessa tecnologia na fenotipagem de hortaliças.

Palavras-chave: Fenotipagem por imagem. Aeronave remotamente pilotada. Hortaliças.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Utilização da ARP	12
Figura 2 - Mapa da Área de Estudo	17
Figura 3 - Phantom 4 Advanced	17
Figura 4 - Câmera Survey3 MAPIR	18
Figura 5 – Funções Básicas do FieldImageR	19
Figura 6 - Fluxograma das Etapas do Trabalho.....	19
Figura 7 - Vetor Alface Verde e Roxa.....	20
Figura 8 - Vetor Total Alface Verde e Roxa no Infravermelho	21
Figura 9 - Processamento, Segmentação e Plots Alface Verde	22
Figura 10 - Processamento, Segmentação e Plots Alface Roxa	22
Figura 11 - Índices Vegetativos Alface Verde	26
Figura 12 - Índices Vegetativos Alface Roxa.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de Vegetação Gerado	23
Tabela 2 - Índices de Vegetação	24
Tabela 3 - Índices Vegetativos Alface Verde	25
Tabela 4 - Índices Vegetativos Alface Roxa	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASPRS	<i>American Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
CIG	<i>Chlorophyll Index Green</i>
CVI	<i>Chlorophyll Vegetation Index</i>
GEN-HORT	Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças
GNDVI	<i>Green Normalized Difference Vegetation Index</i>
LASER	Laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
IV	Índices Vegetativos
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NIR	<i>Near Infrared</i>
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RVI	<i>Ration Vegetation Index</i>
SfM	<i>Structure from Motion</i>
SR	Sensoriamento Remoto
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UV/VIS	<i>Ultraviolet-visible spectroscopy</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 FOTOGRAMETRIA	11
3.2 SENSORIAMENTO REMOTO	13
3.3 ÍNDICES VEGETATIVOS.....	13
3.4 CULTURA DA ALFACE.....	14
3.5 FENOTIPAGEM POR IMAGEM.....	15
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1 ÁREA DE ESTUDO	16
4.2 MATERIAL	17
4.2.1 ARP modelo Phantom 4 Advanced e Câmera Survey3 MAPIR.....	17
4.2.2 Aplicativo Móvel DroneDeploy	18
4.2.3 <i>Software</i> Pix4d.....	18
4.2.4 <i>Software</i> QGIS 3.26.1.....	18
4.2.5 <i>Package</i> FieldImageR.....	18
4.3 MÉTODOS.....	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1 ALFACE VERDE	24
5.2 ALFACE ROXA	26
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) foram criadas com a finalidade para uso militar para executar tarefas onde o ser humano não consegue ter acesso. Atualmente o uso deste veículo tem crescido para ser usado em diferentes setores na agricultura (JORGE; INAMASU, 2018).

No setor da agricultura, este veículo se tornou uma ferramenta importante na exploração de áreas agrícolas pelo o uso de imagens tomadas. Mediante ao baixo custo, esta tecnologia está sendo muito utilizada permitindo a operação em áreas de monitoramento de experimentação agrícola com alta resolução espacial e também alta resolução temporal (REGER et al., 2018).

Segundo Gonzalez-Dugo et al., (2013) nas aeronaves são acoplados sensores para coletar informações da cultura monitorada e na atualidade os sensores com maior enfoque no Brasil para fins rurais são o de infravermelho e a partir dele, obter o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), este índice é obtido através da razão entre a diferença de reflectância do infravermelho e vermelho pela soma das variáveis, seus resultados apresentam aspectos nutricionais e fisiológicos das plantas.

Nos últimos anos, os pesquisadores tem buscado nas plantas estas características fisiológicas, que precisam ser avaliadas de forma prematura, dinâmica, em larga escala e rápida. Para estimar tais características, as técnicas de fenotipagem por imagem, tem avançado em relação as técnicas tradicionais, que estimam aspectos integrativos mensurados facilmente associado à sua dimensão e estrutura vegetal (SOUSA, 2014).

Para a ABCSEM, (2016) o vegetal mais consumido no Brasil é a Alface, centralizada em Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo. Ela é a terceira hortaliça em maior volume de produção por ano com mais de 1,5 milhão de toneladas, movimentando por ano uma média de 8 bilhões de reais com varejo.

Com a propagação das ARP's, a coleta de imagens rápidas, não invasivas, precisas e de baixo custo, é uma opção para a fenotipagem rápida dos campos de cultura de alface. Essas aeronaves podem embarcar diversos tipos de câmaras com sensores que capturam desde o espectro eletromagnético visível até o espectro do infravermelho, possibilitando diversas análises das características vegetativas da cultura analisada. Partindo do pressuposto, este trabalho utiliza o sensor *Visible Light* RGB do LASER (Laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto) da UFU (Universidade Federal de Uberlândia) embarcados nas ARP's, e através da extração dos índices vegetativos da cultura da alface advindos das imagens

coletadas, é possível obter resultados para realização da fenotipagem de alto desempenho da cultura estudada.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve um objetivo geral e 2 objetivos específicos, segue nas subseções abaixo.

2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar as imagens coletadas por sensores multiespectrais em Aeronaves Remotamente Pilotadas para fenotipagem de alto desempenho da cultura da Alface utilizando índices de vegetação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter os índices de vegetação das cultivares da Alface presentes na ortofoto.
- Identificar diferenças dos diversos índices de vegetação extraídos dos tipos de Alface Verde e Roxo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para entendimento do tema do trabalho apresentado é fundamental o uso de conceitos básicos e teóricos, de acordo com o tema existente. Sendo assim, nas subseções segue estes conceitos.

3.1 FOTOGRAMETRIA

A *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS), definiu a fotogrametria em 1979, como sendo: "...a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e

interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes." (ASPRS,2009). Para Bemis et. al., (2014) as inovações tecnológicas, caracterizadas por obter informações através de sensores passivos e ativos, a Fotogrametria Digital toma como base a técnica SfM (*Structure from Motion*) ou Estrutura do Movimento, sendo fundamentadas nos princípios de estereoscopia e paralaxe, que se constitui na aquisição de informações tridimensionais, a contar do movimento aparente do objeto em dois tipos de cenas obtidas em posições diferentes. É necessário que a estrutura para obter os modelos através desta técnica, considere a coleta de um grupo de imagens digitais com parâmetros mínimos de 60% de sobreposição em várias perspectivas.

A fotogrametria pode ser dividida em três segmentos: aérea, espacial e terrestre, e a Aerofotogrametria aplica-se na tomada de imagens do terreno com uma câmera precisa acoplada a uma aeronave. (COELHO; BRITO, 2007). A primeira utilização de uma ARP aconteceu antes da invenção do avião, em meados ano de 1849, foi utilizado balões carregados com explosivos apresentado na Figura 1 para bombardear a Europa. O americano Charles Kettering criou a bomba voadora controlada por um giroscópio e este modelo de ARP poderia decolar e voar até 65 km. Sendo uma solução para época, pois não necessitava de um piloto.

Figura 1 - Utilização da ARP



Fonte: Costa, 2021.

No entanto, criaram os veículos não tripulados que poderiam ser controladas, pois as possibilidades e vantagens que estas ARP's proporciona as investigações e pesquisas são grandes (COSTA, 2021). Para Reger et. al., (2018) as ARP's se transformaram em um veículo importante no setor agrícola para o uso de imagens tomadas. Devido a coleta rápida, ao baixo custo e não ser evasiva ao operador. Sendo assim, um veículo que permite a exploração em áreas de experimentação agrícola com alta resolução espacial e temporal.

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO

O termo Sensoriamento Remoto (SR) refere-se ao uso de instrumentos capazes de obterem imagens da superfície terrestre a distâncias remotas. Reconhece este termo como uma tecnologia que possibilita a aquisição de informações da superfície terrestre, através da obtenção e registro de energia que é refletida ou emitida desta superfície, pela detecção e medidas quantitativas das respostas das radiações eletromagnéticas relacionadas com as matérias terrestres. O SR, termo evidenciado no início da década de 60 por Evelyn L. Pruit e colaboradores é uma tecnologia bem sucedida de captura automática de informações para levantar e monitorar os recursos terrestres em escala global (MENESES; ALMEIDA, 2012). De acordo com Figueiredo (2005), o SR começou após a invenção da câmera fotográfica, sendo este aparelho, o primeiro utilizado para tomadas de imagens aéreas, e que se faz presente na atualidade com a mesma finalidade.

Nos dias atuais o SR, está sendo amplamente aplicado para monitorar coberturas vegetativas, tendo como princípio o comportamento espacial e fisiológico das plantas (ABREU; COUTINHO, 2014). O Sensoriamento Remoto contribui com a detecção quantitativa e qualitativa das plantas, se tornando uma ferramenta importante para o planejamento ambiental através dos Índices Vegetativos (IV), para ressaltar como é o comportamento espectral da vegetação, que possibilita a distinção dos diversos tipos de coberturas vegetativas e utilização da terra (MOREIRA, 2003).

Nas aeronaves remotamente pilotadas são acoplados sensores para coletar diferentes informações da cultura desejada, e nos dias atuais os sensores com maior destaque no estados do Brasil para atividades rurais são o de infravermelho e a partir deste sensor, se obtém o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, este índice tem como objetivo realizar a leitura da reflectância nas bandas do infravermelho próximo e vermelho, seus resultados apresentam aspectos nutricionais e fisiológicos das plantas (GONZALEZ-DUGO et al., 2013).

3.3 ÍNDICES VEGETATIVOS

O índice de vegetação usa modelos matemáticos para quantificar a quantidade de reflectâncias das plantas e dessa forma definir a taxa fotossintética do vegetal, um indício de desenvolvimento para o planeta. Essas informações são coletadas a partir de imagens captadas

por sensores espectrais, são informações usadas na descrição dos níveis do espectro de um objeto físico observado. Estes sensores são acoplados em aeronaves remotamente pilotadas, aviões ou satélites. Com estas imagens coletadas e informações geradas, é possível elaborar mapas que representam em forma de visualização os diversos índices para análise quantitativa ou qualitativas (RODRIGUES, 2020).

Para Sergieieva., (2022) o NDVI está entre os índices espectrais mais utilizado para identificar o desenvolvimento das plantas, mede a biomassa fotossintética ativa nas plantas. É importante ressaltar que este índice também pode ser usado durante todo o processo da estação do produto agrícola, menos quando a cobertura da vegetação está deficitária. Portanto, se torna interessante utilizar no estágio de crescimento da cultura desejada. O GNDVI é uma modificação do NDVI, utilizado para quantificar o teor de clorofila com mais precisão, para identificar culturas envelhecidas ou murchas. E também para medir a quantidade de nitrogênio contido nas plantas quando um canal vermelho no extremo não estiver à disposição.

A razão do índice de vegetação RVI tem capacidade para demonstrar o nível de estresse das plantas, devido a sua grande correlação com a área foliar, teor de clorofila e biomassa seca. A quantidade de dano causado a uma planta pelas pragas é definida pelo tamanho da população das mesmas e tempo de exposição (TAN et. al., 2019).

O CVI é utilizado do início até a metade do ciclo de crescimento das plantas, para uma larga escala de variedade de solos e condições para semeadura, analisa um grande conjunto de informações concisa adquiridos pelo modelo de reflexão da superfície foliar. A alta sensibilidade do índice a grande quantidade de clorofila na folha deve-se a normatização efetiva de muitos valores de índice de vegetação da folha obtidos com a inserção das cores vermelha e verde (SOFTFARM, 2015).

O método do índice de clorofila verde, CIG, mede o teor de clorofila nas folhas das plantas utilizando a razão da refletividade nas faixas do infravermelho próximo (NIR) e verde. Para extrair informações que possibilita a quantificação dos teores da clorofila verde dentro de cada espécie de cultura desejada e analisada (WOLF, 2010).

3.4 CULTURA DA ALFACE

A alface é uma folhosa que se originou no Leste do Mediterrâneo, ficou conhecida em toda a Europa (DAVIS et al., 1997). Se introduziu na América do Norte aproximadamente no século XV e é cultivada no Brasil desde 1647 (RYDER; WHITAKER, 1976).

No Brasil, esta hortaliça folhosa, se concentra em Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo. Ela é a terceira hortaliça em maior volume de produção por ano com mais de 1,5 milhão de toneladas, movimentando por ano uma média de 8 bilhões de reais com varejo, com vários tipos disponíveis para consumo. Sendo elas Americana, Crespa, Lisa, Mimosa, Mini, Roxa e Romana. As produtoras de sementes têm acompanhado estes números, criando e desenvolvendo técnicas mais aprimoradas para proporcionar o melhor custo benefício para o agricultor, em questões de maior produtividade e resistência a pragas e doenças (ABCSEM, 2016).

Com a propagação de técnicas de cultivares como a hidroponia, que supri a demanda e exigências da cultura da Alface, esta técnica é capaz de manter durante todo o ano, o cultivo da Alface nos estados brasileiros. Por ser a folhosa mais consumida em nível mundial, ela é produzida em todo mundo (CARVALHO; SILVEIRA, 2017).

Oliveira et al., (2019) a (*Lactuca sativa* L.), nome científico da Alface, tem impacto na economia brasileira, e em 2019, está folhosa ocupou cerca de 35.000 ha (hectares). A alface está presente nas refeições dos brasileiros com ampla distribuição nacional. No entanto, não é um vegetal nutritivo devido ao alto teor de água (KIM et al., 2016). As cultivares atualmente apresentam um precursor da provitamina A, esta vitamina atua diretamente no desenvolvimento físico e no sistema imunológico dos seres humanos (SALES; PEDRAZA, 2013). A hipovitaminose A é uma deficiência nutricional muito presente em países em desenvolvimento, tendo como principais grupos de risco crianças em fase pré-escolar, gestantes e lactantes (LIRA et. al., 2011).

3.5 FENOTIPAGEM POR IMAGEM

A fenotipagem por imagem examina características integrativas, relacionadas ao tamanho das estruturas vegetativas e peso. Mediante a competitividade e sustentação do agronegócio, cientistas tem buscado aspectos fisiológicos que precisam ser avaliadas de forma prematura, dinâmica, em larga escala e rápida. Para estimar tais características, as técnicas de fenotipagem por imagem, tem avançado em relação as técnicas tradicionais, que estimam aspectos integrativos mensurados facilmente associado à sua dimensão e estrutura vegetal. Nos dias atuais são utilizadas técnicas rápidas e de baixo custo para a aquisição de imagens, sem resíduos, com boa resolução espacial e temporal, permitindo a exploração de áreas em larga escala sem oferecer riscos ao operador (Sousa, 2014).

Segundo Sousa *et. al.*, (2015) as técnicas novas de fenotipagem de imagem têm avançado em escala, precisão, reprodução e complexidade em relação às técnicas comuns, sobretudo pelo uso de imagens geradas em plataformas automáticas. Estas plataformas são compostas por estações para gerar imagens que utilizam diferentes técnicas espectroscópicas, para cobrir diferentes áreas do espectro eletromagnético. As estações mais tradicionais coletam imagens digitais RGB (*Red, Green, Blue*), de fluorescência da clorofila, UV/VIS (*Ultraviolet-visible spectroscopy*), termográficas e na região do NIR (*Near Infrared*), possibilitando a análise do crescimento das plantas, do aparato fotoquímico, da quantidade de pigmentos, da temperatura da copa e de diversos metabólitos identificado nas plantas.

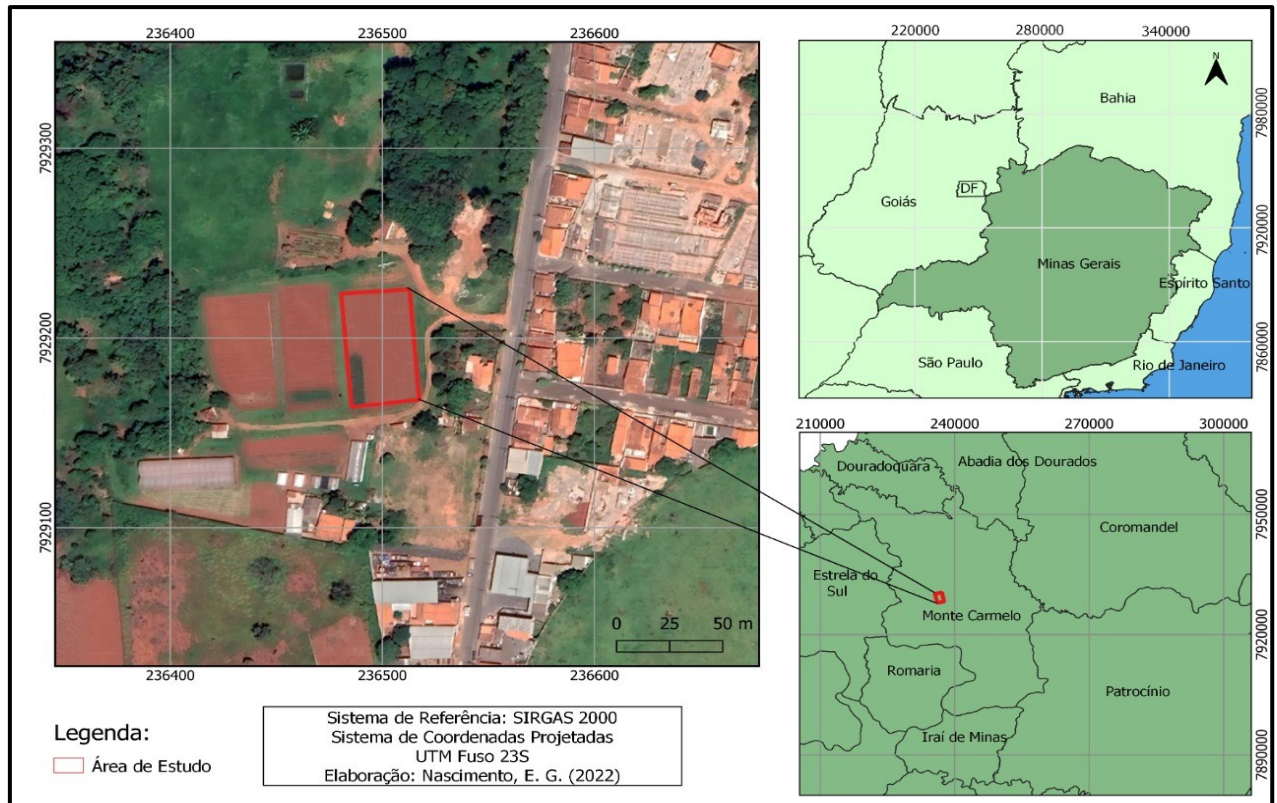
Uma das inovações é o uso de ARP's e sensores de baixo custo para fenotipagem de hortaliças, portanto, as realizações em campos experimentais onde a alface é cultivada, beneficia os *softwares* de melhoramento desta folhosa, inovando e disponibilizando os conjuntos de imagem com atributos específicos. Conseguindo atingir valores correlacionados com os parâmetros de campo e monitorando a qualidade nutritiva em regiões produtivas (CLEMENTE et al., 2021). Para Maciel et. al., (2020) a fenotipagem de imagem pode ser útil em *softwares* de melhoramento podendo ser utilizada para precaver os valores nutritivos contidos de folhas de alface antes de ir para a comercialização.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no campo de hortaliças do Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT) no horto florestal da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo (18°42'43,19" S; 47°29'55,8" O; 873 m de altitude), no município de Monte Carmelo (Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba), apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Mapa da Área de Estudo



Elaboração: O autor, 2022.

4.2 MATERIAL

Para realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais.

4.2.1 ARP modelo Phantom 4 Advanced e Câmera Survey3 MAPIR.

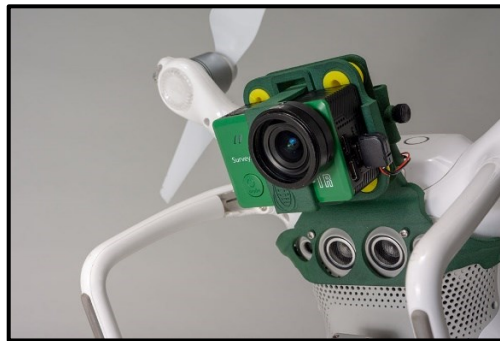
As imagens foram coletadas através de um levantamento aerofotogramétrico com uma câmera Survey3 MAPIR acoplada a um drone modelo Phantom 4 Advanced, apresentadas a seguir na Figura 3 e Figura 4.

Figura 3 - Phantom 4 Advanced



Fonte: DJI, 2022.

Figura 4 - Câmera Survey3 MAPIR



Fonte: Mapir Camera, 2022.

4.2.2 Aplicativo Móvel DroneDeploy

O aplicativo móvel DroneDeploy foi utilizado para planejamento e execução dos voos. É uma solução rápida para elaborar mapas e modelos aéreos.

4.2.3 *Software* Pix4d

O Pix4d é um *software* profissional de fotogrametria que foi utilizado para os processamentos das imagens e geração da ortofoto.

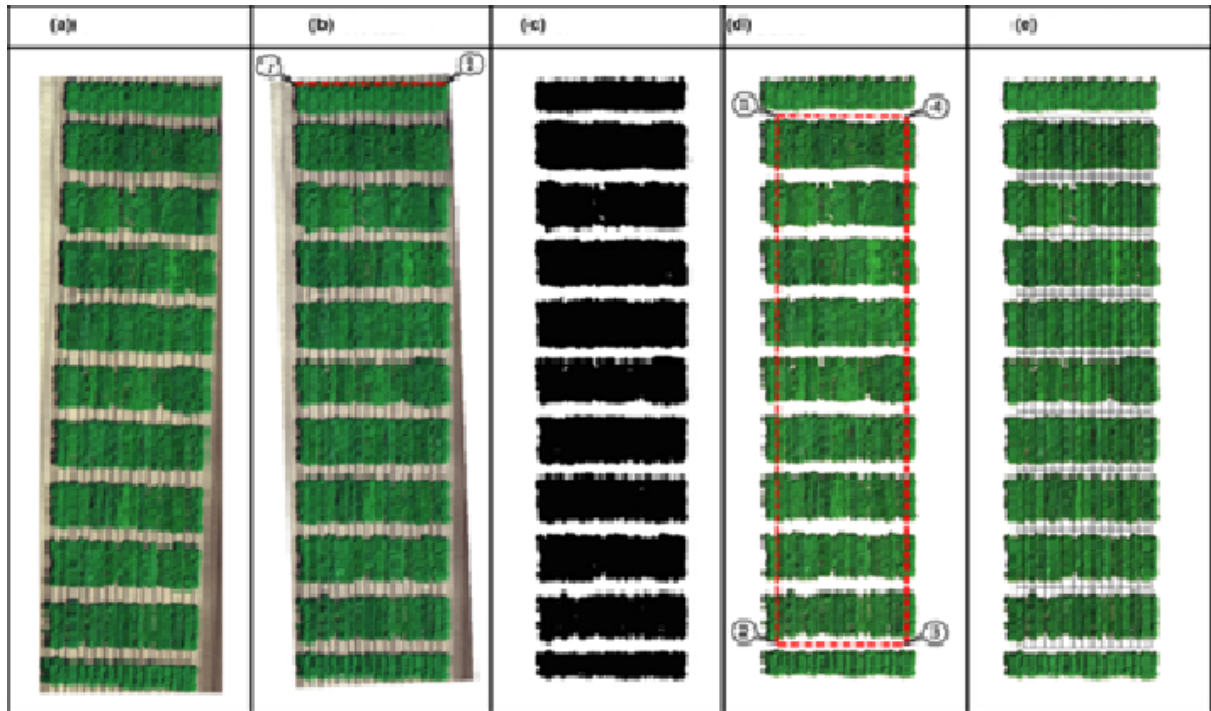
4.2.4 *Software* QGIS 3.26.1

O QGIS 3.26.1 é um *software* de geoprocessamento, profissional GIS Livre e de Código aberto, foi utilizado para elaborar o mapa da área de estudo, apresentar, vetorizar e analisar a região da cultura monitorada.

4.2.5 *Package* FieldImageR

O *Package* FieldR é uma coleção de funções do *Software* R para analisar imagens de campo e foi utilizado para extrair os diversos índices de vegetação da cultura da Alface, na Figura 5 é apresentado ferramentas do *software*: (a) adicionar a imagem (b) rotacionar, (c) remover solo, (d) selecionar os extremos e (e) informação do *ShapeFile*.

Figura 5 – Funções Básicas do FieldImageR

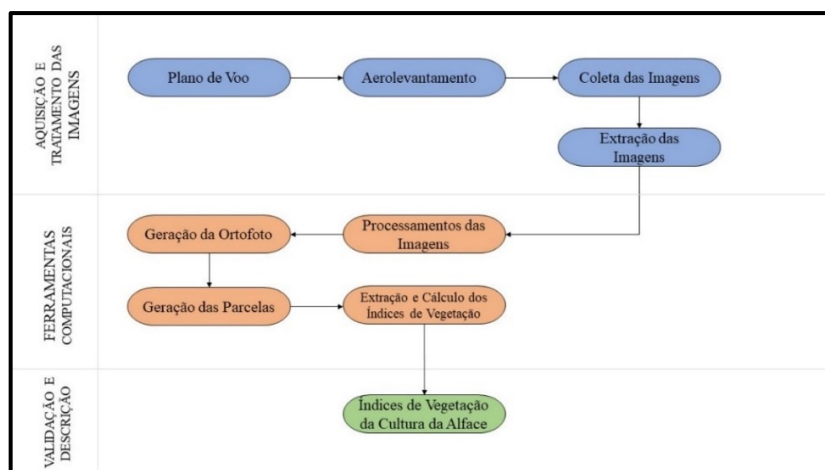


Fonte: Matias, 2020.

4.3 MÉTODOS

A metodologia deste trabalho é baseada em uma estrutura lógica, iniciada pela coleta da imagem, geração da ortofoto, geração das parcelas, extração e cálculo dos índices de vegetação e verificação dos mesmos da cultura da Alface. Para organização das etapas do trabalho de forma organizada, foi elaborado na Figura 6 abaixo um fluxograma.

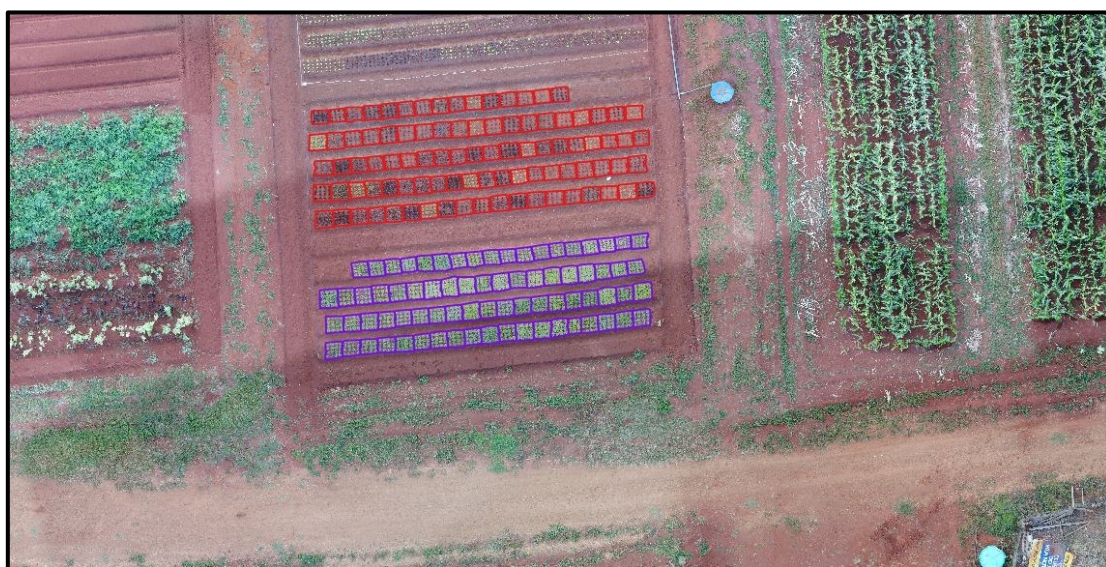
Figura 6 - Fluxograma das Etapas do Trabalho



Elaboração: O autor, 2022.

Através de um levantamento aerofotogramétrico com parâmetros de voo de 20 metros de altura, sobreposição longitudinal de 80% e sobreposição lateral de 75%, com temperaturas com média de 29°C, sem ocorrência de chuvas, requisitos necessários dentro do padrão para o bom desenvolvimento da cultura de alface para avaliação. Então, foram avaliadas 25 linhagens de 75 parcelas de Alface Verde e 25 linhagens de 93 parcelas de Alface Roxa, sendo enumeradas da esquerda para a direita, as mesmas pertencentes ao campo de hortaliças da cultura da Alface do Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT) no horto florestal na Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, onde foram tomadas por uma câmera Survey3 MAPIR acoplada a um drone modelo Phantom 4 Advanced auxiliado pelo aplicativo DroneDeploy. As imagens foram coletadas com resoluções 10911 x 10919 e 10837 x 10527 pixels e armazenadas como arquivo (.tif) e processadas, sendo originado uma a ortofoto com GSD (Ground Sample Distance – comprimento no mundo real correspondente ao lado de pixel em centímetros) de 1 cm pelo *Software* Pix4d. A vetorização foi executada pela ferramenta de polígonos do *Software* QGIS 3.26.1, sendo obtido 75 parcelas com 16 plantas em cada na Alface Verde representado pela cor vermelha e na Alface Roxa 93 parcelas com 16 plantas em cada representado pela cor roxa, todas espaçadas por um canteiro de 0,25m x 0,25m e, totalizando 168 parcelas na hortaliça de Alface, demonstrado na Figura 7. Também foi executado a vetorização de 168 vetores representado pela cor amarela na Figura 8.

Figura 7 - Vetor Alface Verde e Roxa



Elaboração: O autor, 2022.

Figura 8 - Vetor Total Alface Verde e Roxa no Infravermelho

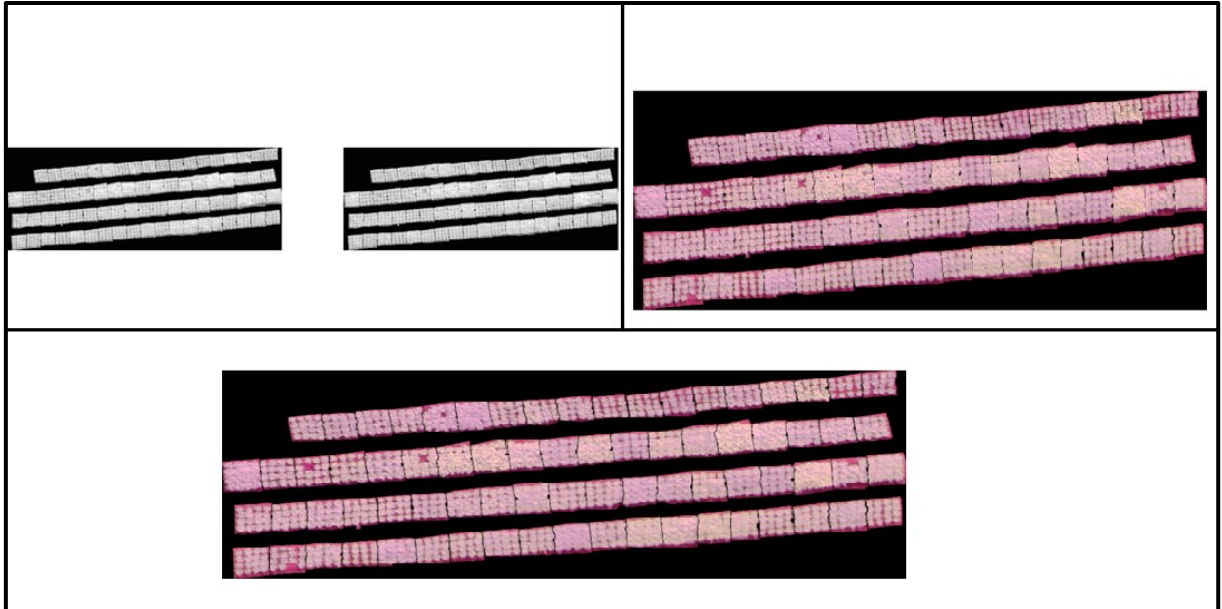


Elaboração: O autor, 2022.

A geração das parcelas da área de estudo e o cálculo do índice de vegetação foram feitas por ferramentas computacionais do *FieldImageR*, foi selecionado o campo de origem de cada imagem para diminuir o tamanho em volta dos extremos da área para uma análise mais rápida utilizando a função *fielCrop*. Para criar o arquivo como plotagem, foi necessário verificar que a linha de base das imagens, teve uma posição correta. Pois, se não encontrar esta posição correta, é necessário encontrar o ângulo teta para girar o campo, a função *fieldRotate* possibilitou selecionar diretamente nestas imagens e definir dois pontos necessários para basear o campo e retornar o valor teta para girar as imagens. Com a função *fielMask* foi removido o solo usando os índices de vegetação, sendo um dos passos mais importantes para esta análise de imagens, porque a presença de solo pode inserir um viés nas informações extraídas das imagens. Depois que a área obteve uma forma reta correta, o arquivo de forma de plotagem, foi elaborado com os quatro pontos das extremidades das imagens selecionados, informado pelo número de colunas e linhas, as bordas experimentais foram eliminadas, tanto para construir ou remover as bordas foi utilizado a função *fielShape*. Todas as parcelas foram reconhecidas em ordem crescente da esquerda para a direita, sendo bem espaçadas e distribuídas dentro das áreas trabalhadas. Foi utilizado uma matriz para detectar a posição das parcelas. A função *fieldMap* contribuiu para determinar o ID das parcelas automaticamente. Com o método *Thresholding*,

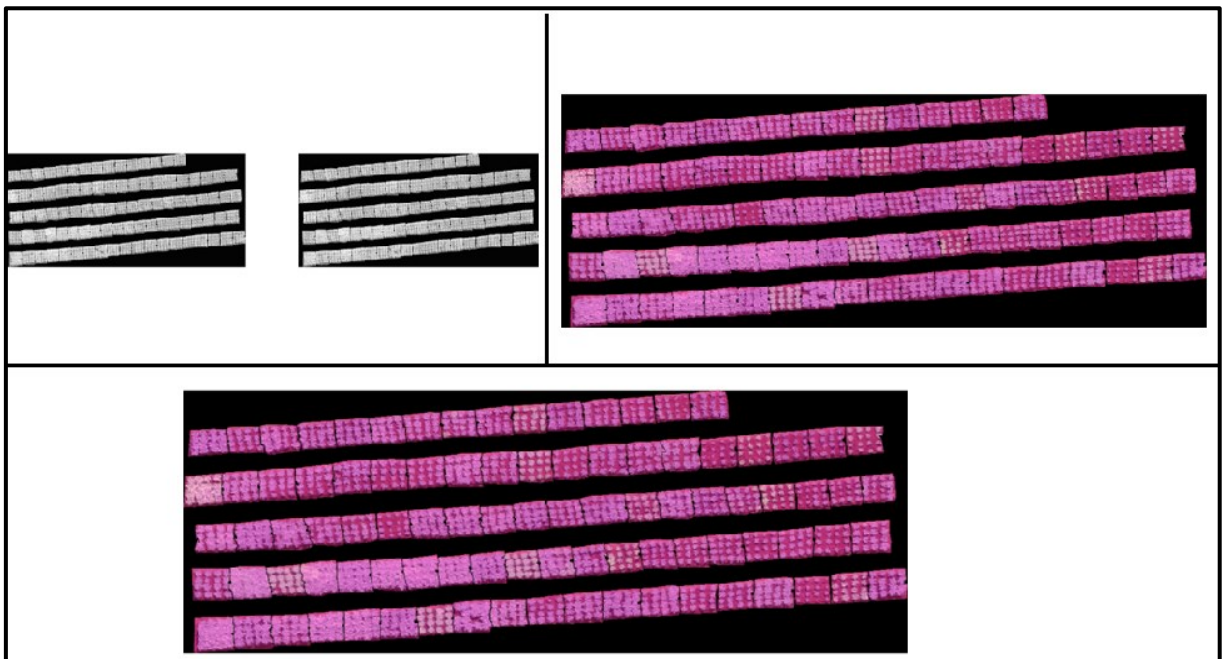
foi transformada uma imagem do processamento em escala de cinza em uma imagem binária como demonstrado nas as etapas de processamento, segmentação e geração dos plots (parcelas) das Figura 9 e 10.

Figura 9 - Processamento, Segmentação e Plots Alface Verde



Elaboração: O autor, 2022.

Figura 10 - Processamento, Segmentação e Plots Alface Roxa



Elaboração: O autor, 2022.

Foram extraídos os diversos índices de vegetação no visível e no infra vermelho próximo, pois um número geral de índices foi implementado utilizando a função *fielIndex*, tendo também a possibilidade de criar o próprio índice, caso o usuário necessite, podendo ser utilizado o parâmetro *myIndex*. Por exemplo, esta função possibilita ser construído um índice capaz de remover solo ou ervas daninhas. Após está implementação, foi utilizado a função *fieldCount* para refinar a contagem de parcelas. Após a extração dos índices e contagem das parcelas, os resultados foram validados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante ao exposto, foi verificado se realmente os índices de vegetação tem resultado para que as respostas advindas das imagens podem ser úteis no auxílio da fenotipagem de alto desempenho para a tomada de decisão. Demonstrado os 14 índices de vegetação que foi gerado através do FieldImageR, que possibilitou extrair informações geométricas (índice de área foliar), textura espectral, informações fisiológicas (biomassa e clorofila), indicadores de estresse biótico ou abiótico (teor hídrico da folha), nutrientes contidos na folha (teor de proteína), entre outros como demonstra na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Índices de Vegetação Gerado

Descrição	Index	Informação
Brightness Index	BI	Cobertura vegetal e teor de água
Soil Color Index	SCI	Cor do solo
Green Leaf Index	GLI	Clorofila
Primary Colors Hue Index	HI	Cor do solo
Normalized Green Red Difference Index	NGRDI	Clorofila, biomassa, teor de água
Spectral Slope Saturation Index	SI	Cor do solo
Visible Atmospherically Resistant Index	VARI	Cobertura vegetal, biomassa, clorofila
Soil Plant Analysis DevelopmentOverall Hue Index	HUE	Cor do solo
Blue Green Pigment	BGI	Clorofila, área foliar
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	Clorofila, área foliar, biomassa, colheita

Descrição	Index	Informação
Green Normalized Difference Vegetation Index	GNDVI	Clorofila, área foliar, nitrogênio, teor proteína, teor de água
Ratio Vegetation Index	RVI	Biomassa, teor de água, nitrogênio
Chlorophyll Vegetation Index	CVI	Clorofila
Chlorophyll Index – Green	CIG	Clorofila

Elaboração: O autor, 2022.

Destes 14 índices foram testados 5 índices, GNDVI, NDVI, RVI, CVI e CIG para cada tipagem de Alface, sendo 25 linhagens de verde das 75 parcelas e 25 linhagens de roxa das 93, derivadas das imagens coletadas por uma câmera de canais RGN (vermelho + verde + infravermelho próximo). Foi gerado os 5 índices de vegetação através da razão utilizada pelo *software* FieldImageR demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Índices de Vegetação

Index	Fórmula ¹	Referência
GNDVI	$(NIR-G)/(NIR+G)$	Gitelson et al. (1996)
NDVI	$(NIR-R)/(NIR+R)$	Rouse et al. (1974)
RVI	NIR/R	Pearson and Miller (1972)
CVI	$(NIR * R) / (G^2)$	Vincini et al. (2008)
CIG	$(NIR/G) - 1$	Jordan (1969)

¹G= banda do verde; R=banda do vermelho; NIR= banda do infravermelho próximo.

Elaboração: O autor, 2022

5.1 ALFACE VERDE

A tabela 3 mostra o resultado da razão dos 5 índices expostos das 25 linhagens de Alface Verde. O índice de vegetação GNDVI apresentou nas parcelas (1, 5, 6, 12, 14, 17, 18, 19, 21) teor de clorofila acima de 10%. O índice NDVI apresentou em 36% do total das 25 linhagens analisadas, através das parcelas (2, 3, 4, 5, 6, 9, 19, 20) valores atenuados para o vigor vegetativo do estado da planta. Para Silva et. al., (2015) este é um dos índices que vem se tornando uma ferramenta útil, rápida e não destrutiva para monitorar os vigores vegetativos. Para o teor

hidrico das plantas, o índice vegetativo RVI, indicou baixa hidrica retenção nas parcelas (10, 11, 13, 16, 17, 18, 21, 22, 24, 25), representando 50% das parcelas avaliadas dentro deste índice. De acordo com o CVI, não foi possível validar os índices de acordo com a análise relacionando a imagem com os valores gerados. Para o teor de clorofila total, o CIG destacou as parcelas (5, 12, 14, 18, 21) com teor acima dos 30% . .

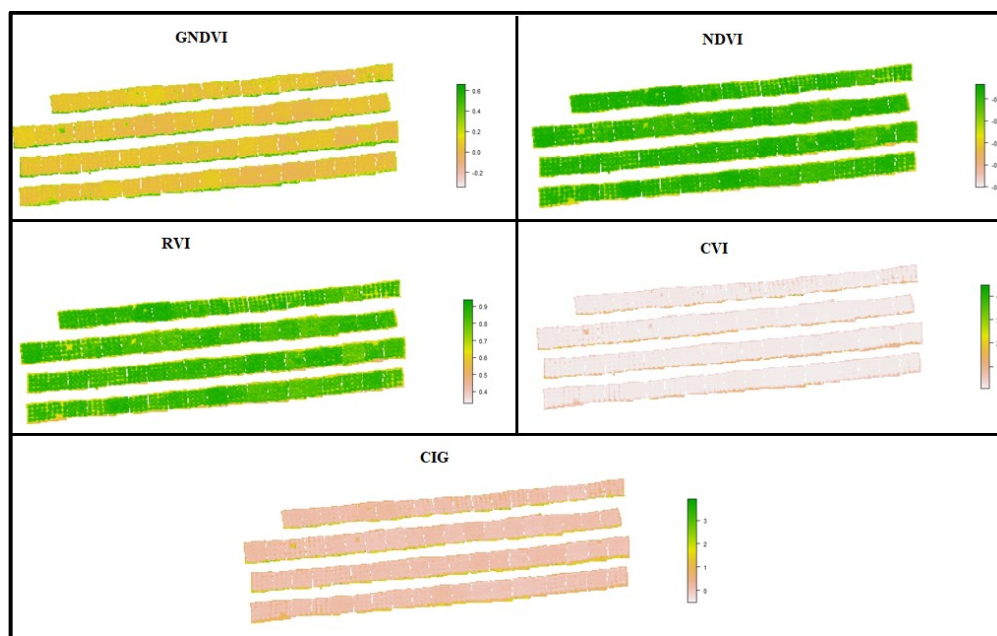
Tabela 3 - Índices Vegetativos Alface Verde

ID	GNDVI	NDVI	RVI	CVI	CIG
1	0,10115942	-0,10135905	0,82009867	2,51180013	0,28460868
2	0,09829672	-0,09292557	0,83333928	2,40457157	0,2741424
3	0,09798326	-0,09035549	0,83695949	2,37551164	0,27560602
4	0,09450099	-0,09746657	0,8253329	2,27423684	0,25612554
5	0,12299223	-0,08485556	0,84716655	2,46072844	0,3299059
6	0,11538352	-0,07490469	0,86276723	2,19319077	0,29437924
7	0,09614018	-0,1012729	0,81902588	2,37977096	0,27128196
8	0,0746155	-0,10758128	0,80889287	2,2704373	0,2198577
9	0,08544859	-0,09969758	0,82207469	2,1468828	0,22758556
10	0,09857367	-0,12250084	0,78530548	2,41129086	0,26992023
11	0,09438737	-0,11803953	0,79222325	2,45465807	0,26864416
12	0,12738186	-0,10812826	0,8095719	2,74303088	0,34921734
13	0,08624281	-0,11570392	0,795896	2,17309379	0,23077994
14	0,10676408	-0,10152516	0,81999285	2,69247711	0,31139776
15	0,05085281	-0,11155108	0,80170638	1,98004432	0,15121977
16	0,03268788	-0,13102576	0,77048231	2,02152304	0,12441886
17	0,1006691	-0,13736228	0,76259096	2,41011916	0,26672777
18	0,12386077	-0,12576035	0,78206216	2,84751784	0,3469756
19	0,12276006	-0,09040934	0,83809527	2,60819222	0,33568463
20	0,09541758	-0,09996412	0,82148215	2,42065864	0,26979203
21	0,12140333	-0,12677575	0,77958251	3,03750468	0,36356646
22	0,08209139	-0,11901365	0,79101125	2,49649172	0,2502212
23	0,09163717	-0,10138943	0,81999533	2,41932865	0,26093675
24	0,06243845	-0,11653222	0,79421936	2,12439555	0,18388253
25	0,05358017	-0,12283636	0,78447982	2,20837474	0,17296919

Elaboração: O autor, 2022.

A Figura 11 ilustra os índices de vegetação da Alface Verde extraídos, calculados e gerados como produto final.

Figura 11 - Índices Vegetativos Alface Verde



Elaboração: O autor, 2022.

5.2 ALFACE ROXA

A tabela 4 mostra o resultado da razão dos 5 índices analisados das 25 linhagens de Alface Roxa. O índice GNDVI da Alface Roxa quando comparada a Alface Verde, apresentam um aumento de 20%, sendo representado em 22 parcelas, 88% de um total de 100%, teores de clorofila acima de 30%, não representando apenas nas parcelas (10, 16, 25). O índice de NDVI da Alface Roxa apresentou uma baixa no teor vegetativo nas parcelas (12, 13, 14, 15, 19, 21, 22), representando 28% das 25 linhagens analisadas. O teor de água de acordo com o RVI nas parcelas (10, 11, 16, 17, 18, 21, 22, 24, 25) está abaixo de 80%. De acordo com o CVI, não foi possível validar os índices de acordo com a análise, como na Alface Verde. Para o teor total de clorofila da Alface Roxa quando comparada a Alface Verde, também foi invalidado de acordo com a análise relacionando a imagem com os valores gerados. Lee (1988) mostra através de estudos feitos que o teor de clorofila tem alta variabilidade quando comparado entre as espécies. Para Engel e Poggiani (1991) o teor de clorofila das plantas está associado com eficiência fotossintética, o que pode prejudicar o crescimento e influenciar na adaptabilidade dos diversos ambientes.

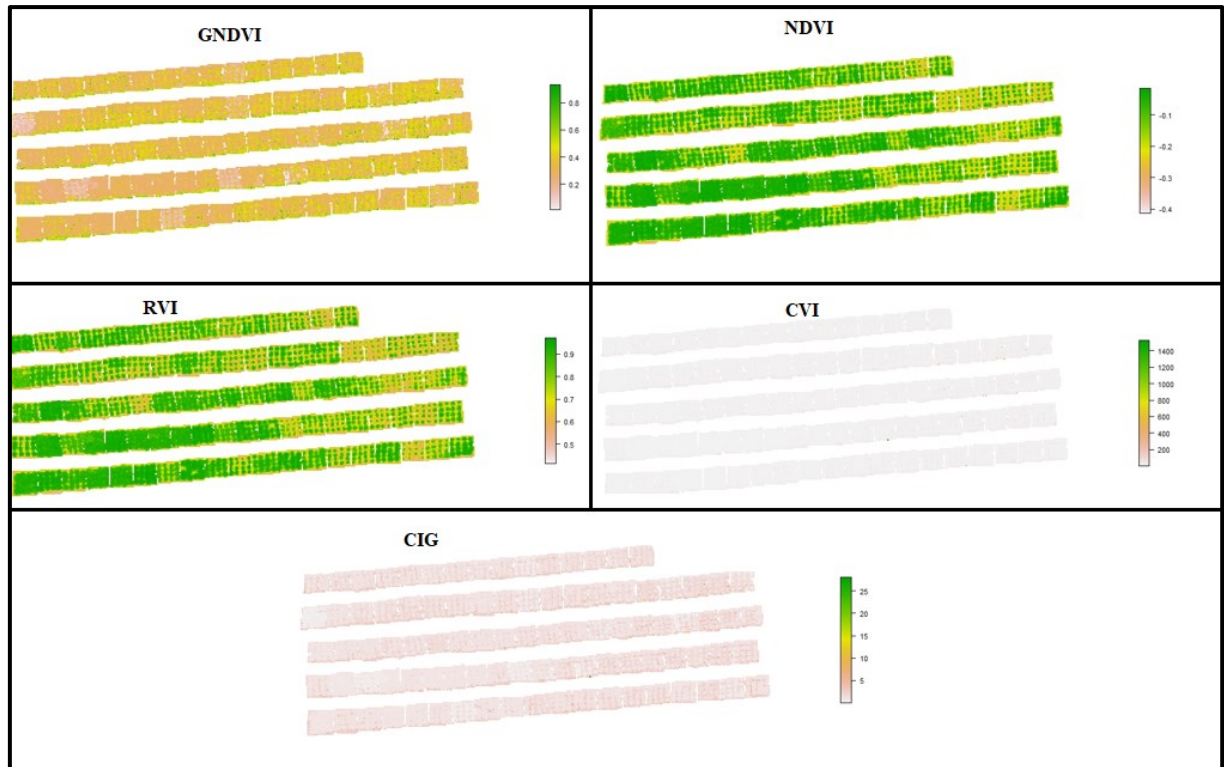
Tabela 4 - Índices Vegetativos Alface Roxa

ID	GNDVI	NDVI	RVI	CVI	CIG
1	0,34620676	-0,07283187	0,87054078	6,55490125	1,17611381
2	0,36416137	-0,12551692	0,78550508	7,74812845	1,25558887
3	0,35159381	-0,11148975	0,80643405	7,13412205	1,19475835
4	0,35524975	-0,09248749	0,83710381	6,85918487	1,21406348
5	0,36102563	-0,08680064	0,84673984	7,16214486	1,25557588
6	0,32817717	-0,09315204	0,83499457	5,96054441	1,06299004
7	0,34551425	-0,11965786	0,7934128	6,70780941	1,14215446
8	0,32396611	-0,10709112	0,81316698	5,9209517	1,0446586
9	0,35925058	-0,11861483	0,79546806	7,46612472	1,23272365
10	0,27265739	-0,1473826	0,75032005	5,67508667	0,85958161
11	0,37236104	-0,10719825	0,81405639	7,5383224	1,29143591
12	0,3531252	-0,13236647	0,77342278	7,01050518	1,17300981
13	0,37022171	-0,15038418	0,74591699	7,99684093	1,27087217
14	0,36015748	-0,18531391	0,69414875	8,20626845	1,21979038
15	0,37655629	-0,13915998	0,76469249	8,31541058	1,31939843
16	0,18534472	-0,11384463	0,80075167	3,77218846	0,54065428
17	0,32019859	-0,09516796	0,83179709	5,87093252	1,02776577
18	0,35369472	-0,12856724	0,78003645	7,23841555	1,18486429
19	0,37006866	-0,1361394	0,76845561	8,10073626	1,2808139
20	0,3825836	-0,11936588	0,79587145	8,31661665	1,35772886
21	0,3669343	-0,14285915	0,75779478	7,96808448	1,26089236
22	0,35589626	-0,13792024	0,76523247	7,29225432	1,19074121
23	0,33569007	-0,1044094	0,81898599	6,63332659	1,11126727
24	0,35511475	-0,12356042	0,78692822	7,38853873	1,20968391
25	0,28147944	-0,15525919	0,73762253	5,80599107	0,88502921

Elaboração: O autor, 2022.

A Figura 12 ilustra os índices de vegetação extraídos da Alface Roxa, calculados e gerados como produto final.

Figura 12 - Índices Vegetativos Alfaca Roxa



Elaboração: O autor, 2022.

Para Maciel et. al., (2019) a validação da fenotipagem de alto desempenho, precisa ser comprovada a existência de variação entre os tipos de Alfases caracterizados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi utilizar as imagens coletadas por sensores multiespectrais em Aeronaves Remotamente Pilotadas para fenotipagem de alto desempenho da cultura da Alface utilizando índices de vegetação, para que os resultados decorrentes pudessem auxiliar na tomada de decisão.

A metodologia realizada no campo de hortaliças (Alface) do (GEN-HORT) localizado no horto florestal da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo para de fenotipagem de Alface elaborou uma ortofoto com alta definição e com qualidade visual, atendendo os requisitos necessários, apresentando ferramentas computacionais de qualidade para extração dos diversos índices de vegetação que pode contribuir futuramente para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a fenotipagem por imagem de alto desempenho, contribuindo com a popularização das Aeronaves Remotamente Pilotadas na coleta de imagens de alta resolução, rápidas, não invasivas, precisas e de baixo custo e que possibilita o embarque de câmeras com sensores cabíveis dentro da escolha do operador. Tornando-se um grande avanço em relação as técnicas tradicionais.

Os resultados encontrados foi atingindo, sendo utilizado o software FieldImageR de código aberto que possibilitou a criação e extração dos índices de vegetação para análise e validação.

Quanto a limitação do trabalho é necessária ressaltar que as condições ambientais, a formação do solo, a estrutura física das hortaliças tem total impacto no desenvolvimento e elaboração dos dados e pode se tornar em um trabalho desafiador a se executar.

Sendo assim, este trabalho tem informações geradas que serão disponibilizadas a unidade acadêmica Universidade Federal de Uberlândia e também as outras instituições públicas e privadas que necessitem deste trabalho para agregar conhecimento e entendimento de pesquisas e trabalhos correlatos.

REFERÊNCIAS

ABCSEM. Associação Brasileira de Comércio de Sementes e Mudanças. **Folhosas: Seminário Nacional**. 2016. Disponível em: http://www.abcsem.com.br/upload/arquivos/O_mercado_de_folhosas__Numeros_e_Tendencias_-_Steven.pdf. Acesso em: 22 dez. 2018.

ABREU, K. M. P.; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.16, n.1, p. 173- 198, 30 jun. 2014.

ASPRS. **Guidelines for Procurement of Professional Aerial Imagery, Photogrammetry, Lidar and Related Remote Sensor-based Geospatial Mapping Services**. 2009. Disponível em: http://www.asprs.org/society/committees/standards/Procurement_Guidelines_w_accompanying_material.pdf Acesso em: 15 dezembro 2021.

BEMIS, S. P. et al. *Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology*. **Journal of Structural Geology**, v. 69, p. 163–178, dez. 2014.

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

COSTA, JONATAN. A evolução das aeronaves remotamente pilotadas. **REVISTA DO CLUBE NAVAL**, v. 396, p. 38-42, 19 jan. 2021. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/clubenaival/article/view/1879/1847>. Acesso em: 15 dez. 2021.

CLEMENTE, A. A. et al. High-throughput phenotyping to detect anthocyanins, chlorophylls, and carotenoids in red lettuce germplasm. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 103, p. 102533, 2021.

DAVIS, R. M. et al. Compendium of lettuce diseases. St. Paul: **The American Phytopathological Society**. 1997.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.3, n.1, p.39-45, jun. 1991.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm> Acesso em 04 de janeiro de 2022.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**, Oficina de textos, São Paulo/SP, 2002.

GONZÁLEZ-DUGO, V. et. al. **Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard. Precision Agriculture**, v. 14(6): 660-678, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9322-9>

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. Embrapa Instrumentação. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1003485/uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-vant-em-agricultura-de-precisao>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

KIM, M. J. et al. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 49, p.19-34, jun. 2016

LEE, D.W. Simulating forest shade to study the development ecology of tropical plants: Juvenile growth in three vines in India. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, 4:281-92, 1988.

LIRA, L. Q .et al. Perfil de retinol no soro e colostro de puérperas atendidas em maternidade pública brasileira e sua associação com características maternas e obstétricas. **Rev. Paul Pediatr.**, v.29, n. 4, p.515-2, 2011.

MACIEL, G. M. et. al. Image phenotyping of lettuce germplasm with genetically diverse carotenoid levels. **Bragantia (São Paulo)**, v. 79, p. 224-235, 2020.

MATIAS, F. I et. al. FIELDimageR: An R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. **The Plant Phenome J.** 2020; <https://doi.org/10.1002/ppj2.20005>

MENESES, P. R; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília – UNB, 2012.

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

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.

OLIVEIRA, M. S. P et al. Seleção de descritores para caracterização de germoplasma de açaizeiro para produção de frutos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1133-1140, 2006.

PEDRAZA, D. F. et. al. Deficiência de micronutrientes e crescimento linear: revisão sistemática de estudos observacionais. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, p. 3333-3347, 2013.

PURI, V. et. al. **Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture**. **Journal of Statistics and Management Systems**, v.20(4): 507-518, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/09720510.2017.1395171>

RODRIGUES, R. B. O que é o Índice Vegetativo?. **Índice Vegetativo**, [s. l.], 1 dez. 2020. Disponível em: [https://br.granular.ag/blog/o-que-e-o-indice-vegetativo/#:~:text=O%20Índice%20Vegetativo%20\(também%20conhecido,indicativo%20de%20desenvolvimento%20da%20planta](https://br.granular.ag/blog/o-que-e-o-indice-vegetativo/#:~:text=O%20Índice%20Vegetativo%20(também%20conhecido,indicativo%20de%20desenvolvimento%20da%20planta). Acesso em: 22 ago. 2022.

RYDER, E. J.; WHITAKER, T. N. Lettuce In: SIMMONDS, N. W. Evolution of crop plants. New York: **Longman Group**, 1976.

SERGIEIEVA, K. Índices De Vegetação Para Impulsionar Soluções Digitais. **Índices De Vegetação**, [s. l.], 27 jan. 2022. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/indices-de-vegetacao/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

SOFT FARM. Vegetation indices NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True color. **Vegetation indices**, [s. l.], 1 maio 2015. Disponível em: <https://www.soft.farm/en/blog/vegetation-indices-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140>. Acesso em: 22 ago. 2022.

SOUSA, C. A. F. de. Fenotipagem de plantas: uma nova abordagem para um velho problema. **Embrapa Agroenergia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/991030/1/cot06.pdf>. Acesso em: 11 janeiro 2022.

SOUSA, C. A. F. et al. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia Específica**, v. 8, n. IV SMUD, p. 660-672, 2015.

TAN, Y. et al. "Sensitivity of a Ratio Vegetation Index Derived from Hyperspectral Remote Sensing to the Brown Planthopper Stress on Rice Plants." **Sensors (Basel, Switzerland)** vol. **19**, 2 375. 17 jan. 2019, doi:10.3390/s19020375

Wolf, A. **Using WorldView 2 Vis-NIR MSI Imagery to Support Land Mapping and Feature Extraction Using Normalized Difference Index Ratios**. Unpublished report, Longmont, CO: DigitalGlobe (2010).