

GUSTAVO MENDES ESPÍNDOLA

**Fenotipagem de alto desempenho para monitorar a taxa de crescimento e determinar o ponto de colheita em alface vermelha**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre”

Orientadora

Profa. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli

Coorientador

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel

Monte Carmelo

Minas Gerais - Brasil

2022

GUSTAVO MENDES ESPÍNDOLA

**Fenotipagem de alto desempenho para monitorar a taxa de crescimento e determinar o ponto de colheita em alface vermelha**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Monte Carmelo, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre”

Defesa em 23 de março de 2022.

Banca examinadora

Profa. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli - (UFU)

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel - (UFU)

Dr. Fábio Janoni Carvalho - (IFTM)

ANA CAROLINA SILVA SIQUIEROLI  
IBTEC – INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA  
(Orientadora)

Monte Carmelo  
Minas Gerais – Brasil

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

E77  
2022 Espíndola, Gustavo Mendes, 1993-  
Fenotipagem de alto desempenho para monitorar a taxa  
de crescimento e determinar o ponto de colheita em  
alface vermelha [recurso eletrônico] / Gustavo Mendes  
Espíndola. - 2022.

Orientadora: Ana Carolina Silva Siquieroli.  
Coorientador: Gabriel Mascarenhas Maciel.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de  
Uberlândia, Pós-graduação em Agricultura e Informações  
Geoespaciais.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.186>

Inclui bibliografia.

1. Agronomia. I. Siquieroli, Ana Carolina Silva, 1982-,  
(Orient.). II. Maciel, Gabriel Mascarenhas, 1982-,  
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.  
Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais.  
IV. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações  
 Geoespaciais  
 Rodovia LMG 746, Km 01, s/nº, Bloco 1AMC, Sala 1A202, Monte Carmelo-MG, CEP 38.500-000  
 Telefone: (34) 3810-1033 - ppgaig@iciag.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agricultura e Informações Geoespaciais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico				
Data:	23/03/2022	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:36
Matrícula do Discente:	32012AIG017				
Nome do Discente:	Gustavo Mendes Espíndola				
Título do Trabalho:	Fenotipagem de alto desempenho para monitorar a taxa de crescimento e determinar o ponto de colheita em alface vermelha				
Área de concentração:	Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola				
Linha de pesquisa:	Sistemas integrados de produção vegetal				

Reuniu-se na sala virtual <https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/gustavo-mendes-4> a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais, assim composta: Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel (UFU), Dr. Fabio Janoni Carvalho (IFTM-Campus Uberaba MG), Dra Ana Carolina Silva Siquieroli (UFU) – orientadora do candidato.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dra Ana Carolina Silva Siquieroli, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Carolina Silva Siquieroli, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/03/2022, às 16:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gabriel Mascarenhas Maciel, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/03/2022, às 16:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fábio Janoni Carvalho, Usuário Externo**, em 23/03/2022, às 16:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3463720** e o código CRC **88940FC6**.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela existência, por ser amparo, por ser amigo, por ser misericordioso, por ser luz na escuridão, por me conceder força, inteligência, saúde, paz e momentos de alegria.

Aos meus pais, Eustáquio Gorete Espíndola e Kenia Mendes Espíndola, pelo profundo apoio prestado, por acreditarem em mim, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui, e principalmente pelo amor imenso de vocês.

Aos meus familiares, pelo apoio, pelas conversas, pelos conselhos, pela amizade, pelo respeito e confiança.

A professora Dr<sup>a</sup>. Ana Carolina Silva Siquieroli, pela oportunidade, confiança e orientação no desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel, pelos ensinamento, suporte e colaboração no desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Dr. Hugo César Rodrigues M. Catão pela participação na banca de qualificação, e pelas sugestões que muito contribuíram na melhoria deste trabalho.

Ao Dr. Fábio Janoni Carvalho, pela disponibilidade de ter aceito o convite como membro da banca examinadora.

Ao Grupo de Estudo em Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT), onde através do trabalho em equipe possibilitou a realização desse trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais (PPGAIG).

Aos colegas do PPGAIG, em especial a Ana Luísa Alves Ribeiro, pelo apoio constante prestado.

A Universidade Federal de Uberlândia *campus* Monte Carmelo, e aos professores que contribuíram na minha formação.

## **BIOGRAFIA**

Gustavo Mendes Espíndola nasceu no dia 24 de maio de 1993 em Monte Carmelo, Minas Gerais. Filho de Eustáquio Gorete Espíndola e Kenia Mendes Espíndola, cresceu na cidade de Estrela do Sul onde cursou o ensino fundamental inicial na escola Municipal Jacó Batista do Amaral no período de 2001 a 2004. No ano de 2005 a 2011 cursou o ensino fundamental e médio na Escola Estadual Robert Kennedy. No ano de 2013 ingressou no curso de agronomia na Fundação Carmelitana Mario Palmério (FUCAMP). No ano de 2015 realizou-se um processo de transferência externa para o curso de agronomia da Universidade Federal de Uberlândia *campus* Monte Carmelo. No decorrer do curso trabalhou no Núcleo de Estudo em Controle Biológico (NCBIO) onde participou de diversas pesquisas relacionadas a controle biológico. No ano de 2018 graduou-se em Agronomia. No ano de 2020 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais, pela Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Monte Carmelo, onde trabalhou com fenotipagem por imagem no Programa de Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT).

## SUMÁRIO

RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	7
1. Introdução .....	8
2. Material e Métodos .....	9
3. Resultados e Discussão.....	13
3.1 Avaliação agronômica .....	13
3.2 Dissimilaridade genética.....	16
3.3 Segmentação das imagens RGB .....	17
3.4 Determinação do ponto de colheita .....	18
4. Conclusão .....	21
5. Referências .....	22



## **Fenotipagem de alto desempenho para monitorar a taxa de crescimento e determinar o ponto de colheita em alface vermelha**

**RESUMO:** A cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) é de grande importância socioeconômica. Apresenta ciclo muito curto tornando um desafio acompanhar o crescimento. No Brasil, há vários plantios comerciais para atender grandes redes de *fast foods*. Esses produtores realizam o monitoramento da taxa de crescimento diariamente, de forma presencial, após o transplante. Devido ao rápido crescimento da planta, aliado ao extenso tamanho das áreas, ocorre muito desperdício e prejuízos para o produtor. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi monitorar e definir o ponto de colheita em alface vermelha a partir de diferentes índices de vegetação. Foram obtidas imagens por VANT que permitiram calcular o diâmetro da planta, área foliar e os índices de vegetação BI, GLI, HUE, SCI e SI. Com intuito de validar a eficiência dos diferentes índices de vegetação também foram mensurados parâmetros agrônômicos no campo (diâmetro de planta, diâmetro de haste, massa verde, número de folhas e temperatura foliar). As avaliações foram realizadas em 30 genótipos de alface vermelha. As médias dos parâmetros foram comparadas pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). A dissimilaridade genética foi representada por dendrograma obtido pelo método hierárquico UPGMA. Para validar a coerência entre os dados obtidos por imagem, realizou-se a correlação de Pearson. Os genótipos avaliados apresentaram alta variabilidade genética. Os índices de vegetação BI, GLI, HUE, SCI e SI apresentaram altas correlações com diâmetro de planta e área foliar obtidos por imagem. O uso da fenotipagem de alto desempenho foi capaz de monitorar e determinar o ponto de colheita em diferentes genótipos de alface vermelha tornando-se uma excelente alternativa para produtores.

**Palavra-chave:** *Lactuca sativa* L., hortaliças, imagens digitais, índices de vegetação.

## ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a crop of great socioeconomic importance. It has a very short lifecycle; hence, following its growth is challenging. Brazil has several commercial plantations to supply large fast-food chains. These producers monitor the growth rate daily, in person, after transplantation. Owing to the fast growth of the plant and the large sizes of the plantations, the producers face significant food losses and waste. Therefore, the objective of this study was to monitor the growth and determine the harvest point of red lettuce based on different vegetation indices. Images obtained using an unmanned aerial vehicle were used to calculate the diameter of the plant, leaf area, and vegetation indices (BI, GLI, HUE, SCI, and SI). Agronomic parameters (plant diameter, stem diameter, green mass, number of leaves, and leaf temperature) were also measured in the field to validate the effectiveness of the different vegetation indices. Measurements were performed on 30 red lettuce genotypes. The means of the parameters were compared using the Scott-Knott test ( $p \leq 0.05$ ). The genetic dissimilarity was represented using a dendrogram obtained by the UPGMA hierarchical method. Pearson's correlation was used to validate the consistency between the data obtained from images. The evaluated genotypes presented high genetic variability. The vegetation indices (BI, GLI, HUE, SCI, and SI) highly correlated with the plant diameter and leaf area obtained from the images. High-throughput phenotyping could be used to monitor the growth and determine the harvest point of different red lettuce genotypes, and is hence an excellent tool for producers.

**Keywords:** *Lactuca sativa* L., vegetables, digital images, vegetation indices.

## 1. Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa de grande importância sendo consumida na forma de saladas (Demartelaere et al., 2020). No Brasil, o cultivo de alface apresenta importante função socioeconômica (Sala e Costa, 2012) explicada pela extensa área de produção - aproximadamente 90 mil hectares -, envolvendo um valor impressionante de 650 mil produtores (Campo e Negócios, 2021). O cultivo da alface vermelha tem proporcionado aos produtores alcançar maior renda e nichos de mercado (Sala e Costa, 2012). Adicionalmente, as propriedades benéficas da alface estão correlacionadas ao seu alto teor de fibras, vitaminas, composição mineral e compostos bioativos como antocianinas, carotenoides e clorofilas (Clemente et al., 2021).

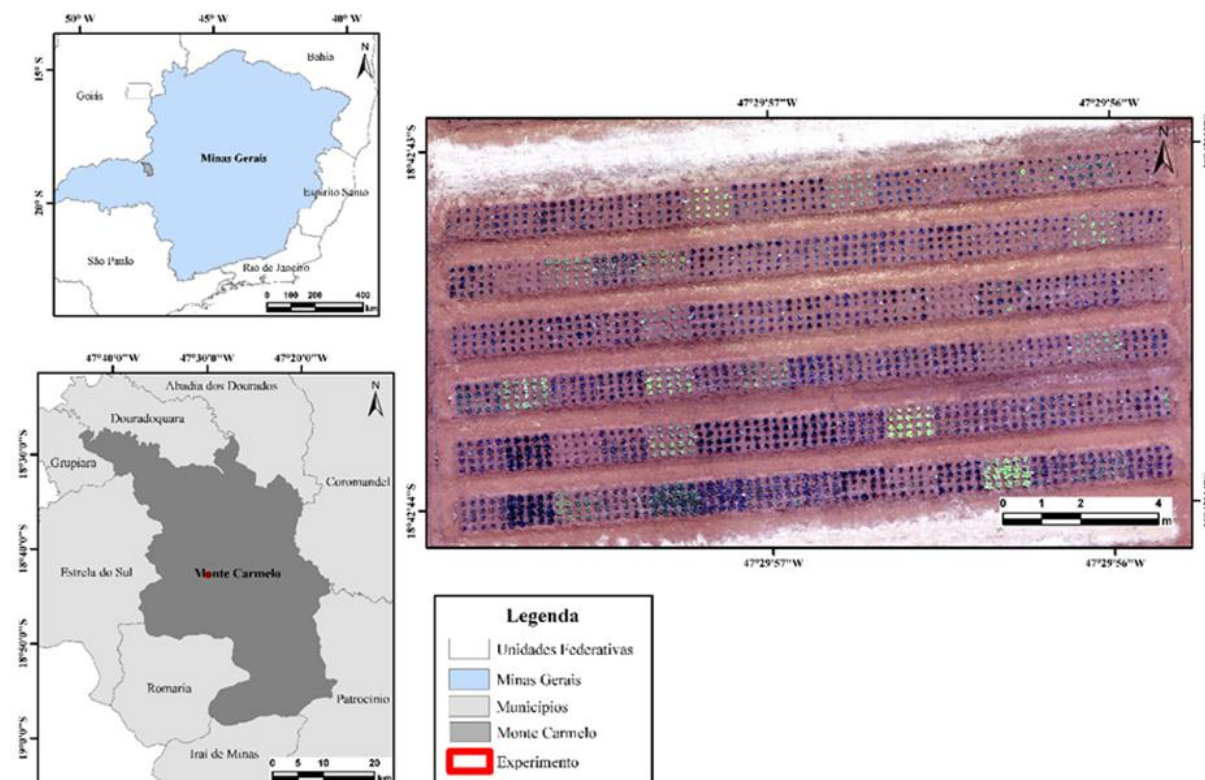
É notório o potencial comercial da espécie. Em contrapartida, um dos grandes entraves está relacionado a ausência de um monitoramento eficaz da taxa de crescimento e definição do ponto de colheita durante a produção dessa folhosa. Pesquisas têm sido realizadas na tentativa de buscar um melhor entendimento em relação a esta definição (Zuffo et al., 2016). O fato de apresentar um ciclo muito curto (Baêta et al., 2011; Diamante et al., 2013), dificulta o monitoramento e definição do ponto de colheita, especialmente em grandes áreas. Errar o ponto de colheita em alface representa tornar a produção sem comercialização, já que ao entrar no ciclo reprodutivo, o sabor das folhas torna-se amargo pela maior presença de látex (Souza et al., 2008).

De fato, é evidente que esforços devem ser realizados visando amenizar prejuízos ocasionados pela dificuldade em monitorar e definir o ponto de colheita em alface. Neste contexto, há relatos do sucesso do uso de índices de vegetação no monitoramento de áreas vegetativas e na estimativa do índice da área foliar e biomassa (Oliveira e Aquino, 2020).

Em diversas espécies o uso da fenotipagem por imagem tem sido utilizada auxiliando na seleção de plantas (Souza, 2014; Souza et al., 2015; Maciel et al., 2019; Clemente et al., 2021). A análise e o processamento de imagens digitais viabilizam a precisão e rapidez das mensurações fenotípicas, além de proporcionar maior confiabilidade dos resultados obtidos pelos melhoristas (Cortes et al., 2017; Maciel et al., 2019; Clemente et al., 2021). No entanto, a eficiência destas técnicas não é conhecida para monitorar e definir ponto de colheita em alface. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi monitorar e definir o ponto de colheita em alface vermelha a partir de diferentes índices de vegetação.

## 2. Material e Métodos

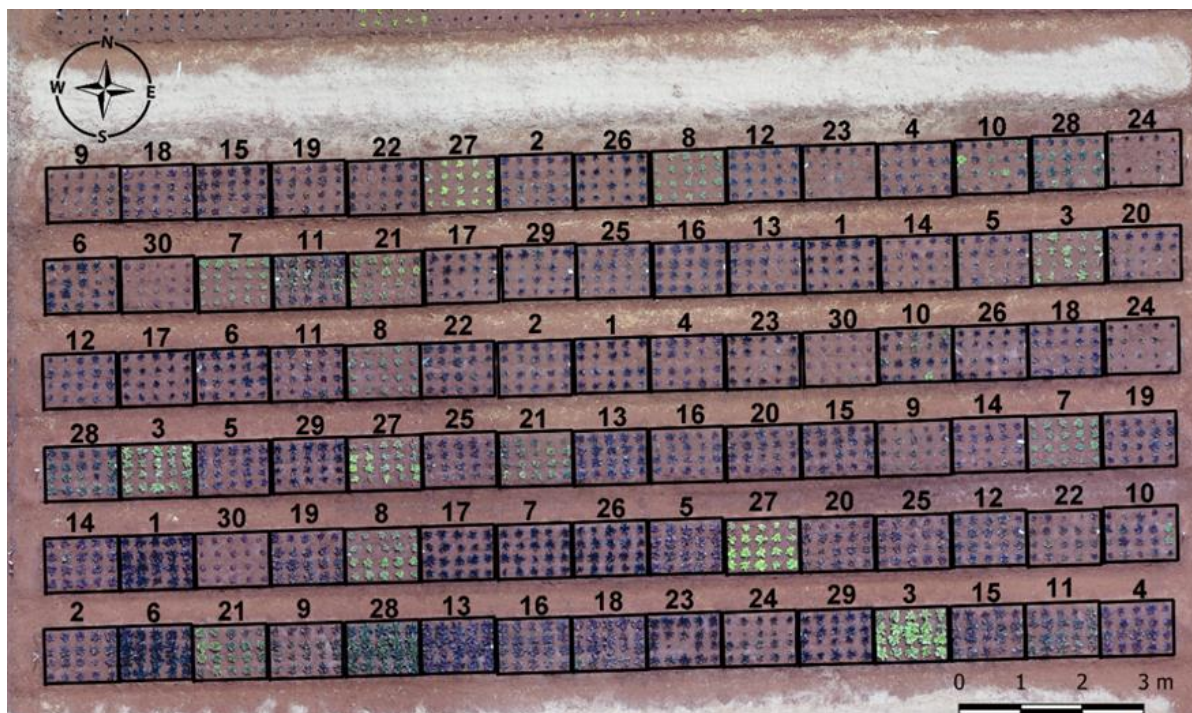
O experimento foi realizado na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia, no município de Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil, nos meses de junho a setembro de 2019 (Fig. 1). Foi realizada a amostragem de solo na profundidade de 0 a 20 cm, seguida de análise química e física. O solo apresentou as seguintes características: textura argilosa; pH em  $\text{CaCl}_2=4,9$ ;  $\text{MO} = 3,9 \text{ dag kg}^{-1}$ ;  $\text{P}_{\text{meh}} = 79,1 \text{ mg dm}^{-3}$ ;  $\text{K} = 0,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{Ca} = 3,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{Mg} = 1,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{H} + \text{Al} = 4,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{SB} = 4,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{T} = 9,80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; e  $\text{V}\% = 50$ . Dada a análise de solo foi realizado o manejo conforme recomendado para o cultivo de alface (Filgueira, 2013).



**Fig.1.** Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), município de Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

O experimento foi realizado com 29 linhagens pré-comerciais de alface vermelha dos tipos crespa e lisa e uma testemunha comercial (Pira 72) totalizando 30 tratamentos. O processo de obtenção das 29 linhagens iniciou-se em 2013 com a hibridação entre as cultivares Uberlândia 10000 *versus* Pira 72. Sementes  $F_1$  foram colhidas e semeadas para obtenção da

segregação em F<sub>2</sub>. A partir da geração F<sub>2</sub> foram realizadas oito sucessivas autofecundações até o ano de 2019, seguindo o método de melhoramento genealógico. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições, totalizando 90 parcelas. Cada parcela experimental foi composta por 20 plantas, sendo avaliadas as seis plantas centrais (Fig. 2).



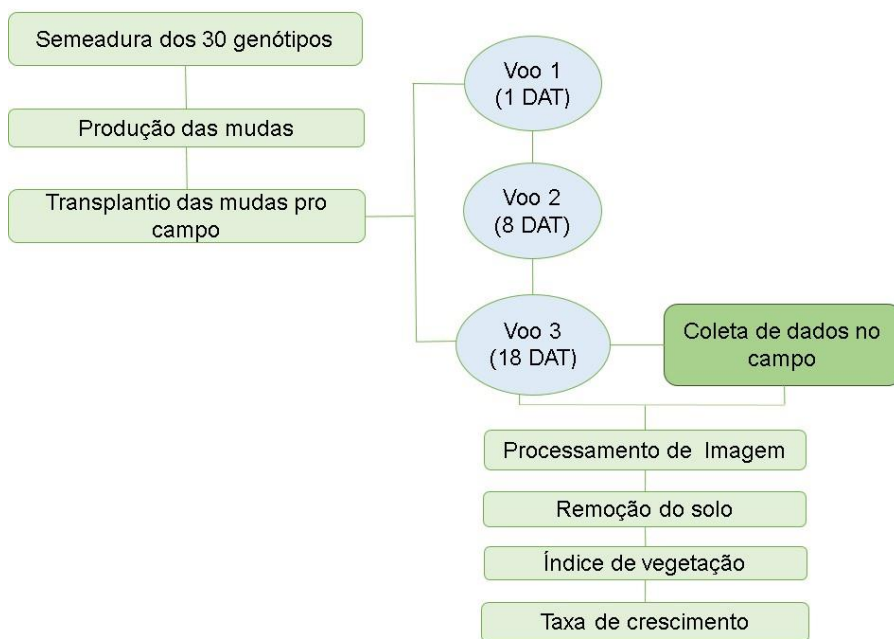
**Fig. 2.** Imagem aérea do experimento e localização das linhagens de alface vermelha 1: UFU-199#2#2#1; 2: UFU-7#2#1#1; 3: UFU-117#1#3#1; 4: UFU-86#1#2#1; 5: UFU-75#1#1#1; 6: UFU BIOFORT199E7; 7: UFU-206#3#2#1; 8: UFU-199#2#3#1; 9: UFU-189#2#3#1; 10: UFU-184#2#5#1; 11: UFU-184#2#1#1; 12: UFU-107#1#2#1; 13: UFU-86#2#1#1; 14: UFU-75#3#2#1; 15: UFU-184#2#3#1; 16: UFU BIOFORT7E27; 17: UFU-75#2#2#1; 18: UFU-75#3#1#1; 19: UFU-190#1#2#1; 20: UFU BIOFORT75E33; 21: UFU-189#2#2#1; 22: UFU-189#2#1#1; 23: UFU BIOFORT199E38; 24: UFU BIOFORT199E40; 25: UFU-206#1#6#1; 26: UFU-206#1#3#1; 27: UFU-117#1#1#1; 28: UFU-184#2#1; 29: UFU BIOFORT199E50; 30: Pira 72.

A semeadura foi realizada em junho de 2019 em bandejas de poliestireno expandido com 200 células, preenchidas com substrato comercial a base de fibra de coco. O transplante foi realizado em canteiros de 1,3 m aos trinta e sete dias após a semeadura (DAS). O espaçamento adotado foi de 0,25 x 0,25 m em quatro linhas de plantio.

Durante o desenvolvimento da cultura foram realizados três voos (1, 8 e 18 DAT) utilizando um drone modelo Phantom 4 Advanced, no modo automático com o software proprietário DroneDeploy e estabelecidos nos seguintes critérios: altura de 20 metros, sobreposição longitudinal de 80% e sobreposição lateral de 75%.

As imagens foram capturadas usando uma câmera RGB (Câmera DJI Phantom 4

Advanced®), com resolução de 12 megapixels. Posteriormente, foram processadas e ortorretificadas no software Pix4Dmapper para geração do ortomosaico. Os estágios metodológicos para aquisição e processamento das imagens e análise dos genótipos estão detalhados no fluxograma (Fig. 3).



**Fig. 3.** Fluxograma dos estágios de aquisição e processamento das imagens para análises dos 30 genótipos de alface vermelha.

Após obtenção da ortofoto, foram extraídas a área foliar a partir de imagem (AFI) e o diâmetro de planta a partir de imagem (DPI) utilizando o software QGis v. 3.0. O DPI foi mensurado por meio da ferramenta do programa “Calculadora Raster” com medição de seis plantas centrais.

No processamento das imagens foram calculados os índices de vegetação *Brightness Index* (BI), *Overall Hue Index* (HUE), *Green Leaf Index* (GLI), *Soil Color Index* (SCI) e *Spectral Slope Saturation Index* (SI) (Tabela 1) pelo software R versão 3.6.3 (R CORE TEAM, 2020), utilizando o pacote R FieldImageR (Matias et al., 2020).

**Tabela 1.** Índices de vegetação utilizados para determinar ponto de colheita em genótipos de alface vermelha.

Índice de vegetação		Fórmula <sup>1</sup>	Referência
BI	Brightness Index	$\text{sqrt}((R^2+G^2+B^2) / 3)$	Richardson and Wiegand (1997)

HUE	Overall Hue Index	$\text{atan}(2*(B-G-R)/30,5*(G-R))$	Escadafal et al. (1994)
GLI	Green Leaf Index	$2*(G-R-B)/(2*G+R+B)$	Louhaichi et al. (2001)
SCI	Soil Color Index	$(R-G)/(R+G)$	Mathieu et al. (1998)
SI	Spectral Slope Saturation Index	$(R-B)/(R+B)$	Escadafal et al. (1994)

<sup>1</sup> R= banda do vermelho; G= banda do verde; B= banda do azul.

Com intuito de validar as técnicas de fenotipagem por imagem para detectar ponto de colheita, também foram realizadas avaliações convencionais de campo. Quando as plantas atingiram o ponto comercial de colheita foram mensurados de forma manual o diâmetro de planta (DP), obtido com auxílio de uma régua graduada em centímetros; diâmetro de haste (DH), obtido com auxílio de compasso em centímetros; temperatura foliar (TF), determinada por termômetro (modelo 4000, 4 G L, Everest Interscience, Tucson, AZ, EUA) posicionado no centro de uma folha da parte superior da planta; massa verde (MV), determinada pela pesagem de todas as folhas exteriores ainda frescas (g); e número de folhas (NF), determinado pela contagem de folhas com comprimento superior a 5cm.

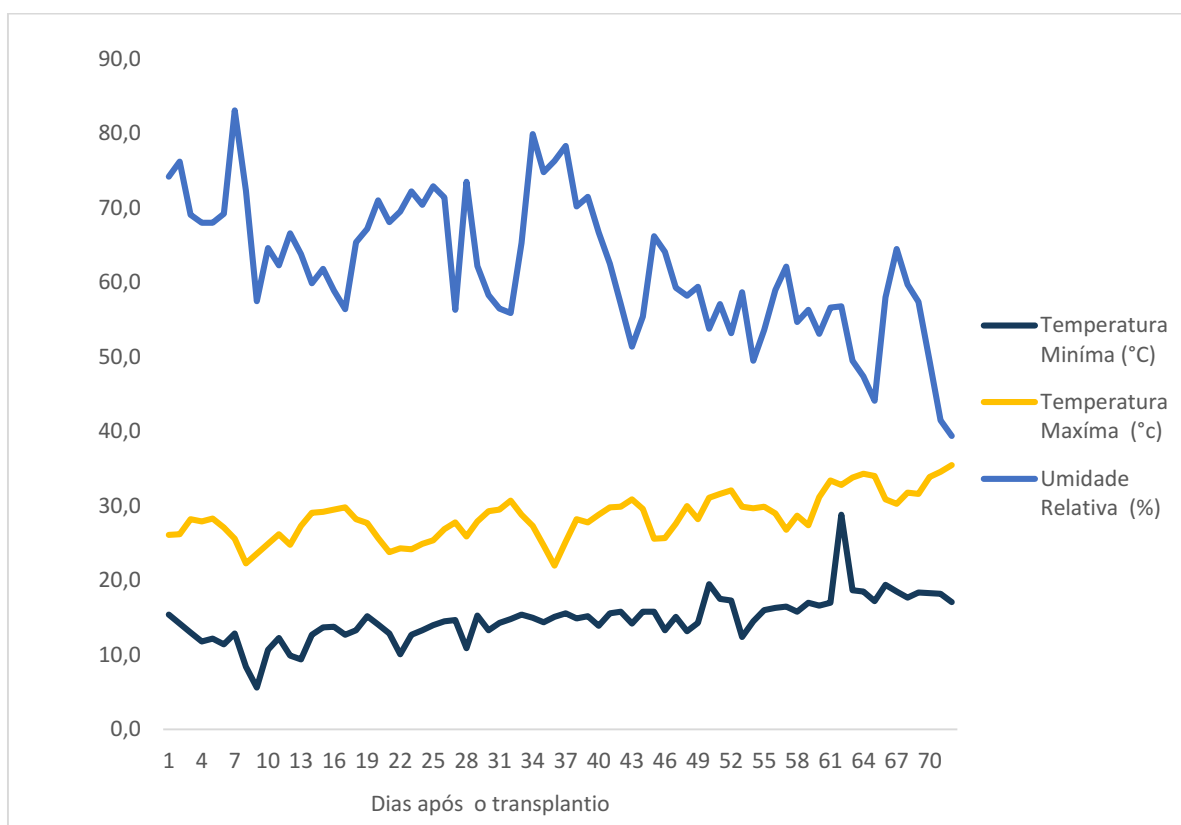
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) e as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Para comprovar a dissimilaridade genética entre as linhagens de alface foi empregada a análise multivariada. A dissimilaridade genética foi representada por dendrograma obtido pelo método da ligação média entre grupos Unweighted pair-group method using arithmetic averages (UPGMA) obtido pela distância generalizada de Mahalanobis. A validação do agrupamento pelo método UPGMA foi determinada pelo coeficiente de correlação cofenético (CCC) calculado pelo teste de Mantel (1967). Para determinação do ponto de colheita, foi realizado análises de regressões lineares entre AFI e DPI no monitoramento da taxa de crescimento. Com intuito de avaliar a correlação entre a AFI e DPI *versus* os índices de vegetação (BI, GLI, HUE, SCI e SI) obtidos por veículo aéreo não tripulado (VANT) foi calculado matriz de correlação de Pearson, 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas pelo programa GENES (Cruz, 2013).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Avaliação agrônômica

Durante o período de avaliação (Junho a Setembro), a temperatura máxima variou de 26,2 a 35,5 °C (média = 28,5 °C), enquanto as temperaturas mínimas variaram de 15,4 a 17,1 °C (média= 14,8 °C) (Fig. 4). Esses valores estão acima da faixa ideal para o desenvolvimento da cultura da alface, que é entre 4 a 27 °C (Santos et al., 2009), e favoreceram o desenvolvimento precoce das plantas. Há relatos que para a alface, temperatura alta e fotoperíodo longo favorecem o encurtamento do ciclo da planta, que entra na fase reprodutiva mais rápido, tornando as folhas amargas e sem aceitação pelo consumidor (Silva et al., 1999; Souza et al., 2007). A média da umidade relativa do ar (UR) foi de 62,1%. Embora não seja o mais adequado, esse valor favorece uma boa sanidade para as plantas (Clemente et al., 2021).



**Fig. 4.** Temperatura máxima e mínima do ar, e Umidade Relativa coletadas diariamente durante o experimento.

Os genótipos de alface diferiram a nível de 5% de probabilidade pelo teste F, exceto para as características DH, MV e TF (Tabela 2). As linhagens UFU-199#2#2#1, UFU-7#2#1#1, UFU-117#1#3#1, UFU-86#1#2#1, UFU-75#1#1#1, UFU BIOFORT199E7, UFU-206#3#2#1,



UFU-184#2#1#1, UFU-86#2#1#1, UFU-184#2#3#1, UFU BIOFORT7E27, UFU-75#2#2#1, UFU-75#3#1#1, UFU-190#1#2#1, UFU BIOFORT75E33, UFU-189#2#2#1, UFU-206#1#6#1, UFU-117#1#1#1, UFU-184#2#1, UFU BIOFORT199E50 apresentaram os maiores valores de diâmetro de planta, sendo similares a cultivar comercial Pira 72 (Tabela 2). Um maior diâmetro de planta pode conferir vantagens comerciais especialmente em relação ao número de folhas por planta.

**Tabela 2.** Médias e desvio padrão do diâmetro de planta (DP), diâmetro de haste (DH), temperatura foliar (TF), massa verde (MV), número de folhas (NF), diâmetro de planta obtido por imagem (DPI), área foliar obtida por imagem (AFI) e *Brightness Index* (BI), *Overall Hue Index* (HUE), *Green Leaf Index* (GLI), *Soil Color Index* (SCI), *Spectral Slope Saturation Index* (SI) em alface vermelha.

Genótipos <sup>1</sup>	DP		DH		TF		MV		NF	DPI	AFI	BI	GLI	HUE	SCI	SI
	(cm)	(Cm)			°C			(g)	(cm)	(cm)	(%)					
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
UFU-199#2#2#1	24,35 a	1,02	0,25	26,93	2,34	56,75	30,90 a	39,16	16,42 c	15,59 a	39,76 b	-0,30 c	0,68 b	0,16 c	-0,18 c	
UFU-7#2#1#1	22,02 a	1,07	0,22	25,98	2,40	54,08	24,51 b	32,48	19,42 b	13,66 a	47,45 a	-0,30 c	0,89 a	0,16 b	-0,09 a	
UFU-117#1#3#1	26,02 a	1,36	0,19	23,55	3,57	82,25	22,28 b	58,35	24,25 a	14,24 a	45,08 a	-0,13 a	0,64 b	0,09 d	-0,05 a	
UFU-86#1#2#1	21,73 a	1,04	0,24	25,04	0,96	41,25	22,68 b	26,54	14,75 c	12,11 b	47,06 a	-0,26 b	0,86 a	0,24 a	-0,16 b	
UFU-75#1#1#1	21,70 a	0,98	0,15	24,72	1,55	60,42	25,15 a	39,50	16,75 c	12,98 a	44,58 a	-0,31 c	0,91 a	0,21 b	-0,10 a	
UFU BIOFORT199E7	24,54 a	1,18	0,24	26,07	2,69	72,17	26,25 a	56,46	18,33 c	15,36 a	40,91 b	-0,28 c	0,82 a	0,08 d	-0,13 b	
UFU-206#3#2#1	22,59 a	1,13	0,27	22,96	2,83	61,75	30,25 a	16,70	16,83 c	11,06 b	47,55 a	-0,27 c	0,82 a	0,14 c	-0,17 b	
UFU-199#2#3#1	19,15 b	1,07	0,15	25,25	2,21	69,92	26,39 a	42,87	15,42 c	10,42 c	48,50 a	-0,28 c	0,77 a	0,15 c	-0,15 b	
UFU-189#2#3#1	19,13 b	0,88	0,30	22,98	0,43	38,75	28,88 a	33,27	16,66 c	11,40 b	45,68 a	-0,16 a	0,42 b	0,18 b	-0,20 c	
UFU-184#2#5#1	20,30 b	1,05	0,09	25,48	1,22	39,50	26,57 a	8,03	21,19 b	11,45 b	45,91 a	-0,23 b	0,89 a	0,18 b	-0,12 b	
UFU-184#2#1#1	24,35 a	1,13	0,24	25,48	2,44	70,25	31,67 a	35,09	20,25 b	14,09 a	43,55 b	-0,28 c	0,81 a	0,13 c	-0,21 c	
UFU-107#1#2#1	20,75 b	1,18	0,16	25,65	2,25	62,33	26,28 a	32,69	22,08 a	12,19 b	47,92 a	-0,27 c	0,93 a	0,13 c	-0,09 a	
UFU-86#2#1#1	25,62 a	1,20	0,25	25,76	3,54	76,08	30,93 a	40,39	22,67 a	15,25 a	42,26 b	-0,29 c	0,86 a	0,17 b	-0,12 b	
UFU-75#3#2#1	20,39 b	0,95	0,23	25,16	1,11	46,50	18,40 b	37,50	13,17 c	12,42 b	47,37 a	-0,23 b	0,96 a	0,23 a	-0,05 a	
UFU-184#2#3#1	25,13 a	1,14	0,07	26,15	2,57	56,75	22,98 b	24,53	24,08 a	13,73 a	42,09 b	-0,28 c	0,73 b	0,20 b	-0,16 b	
UFU BIOFORT7E27	22,74 a	1,33	0,31	25,49	3,44	76,42	29,10 a	39,94	24,00 a	13,61 a	44,86 a	-0,22 c	0,75 b	0,17 b	-0,12 b	
UFU-75#2#2#1	21,28 a	0,82	0,06	26,73	2,74	35,53	23,43 b	22,29	13,11 c	11,99 b	42,16 b	-0,23 b	0,94 a	0,14 c	-0,07 a	
UFU-75#3#1#1	21,84 a	1,00	0,27	23,8	1,29	58,75	26,28 a	53,33	15,08 c	13,32 a	43,58 b	-0,30 c	0,83 a	0,18 b	-0,14 b	
UFU-190#1#2#1	23,07 a	0,93	0,27	27,16	2,75	63,50	29,76 a	36,88	23,67 a	12,82 a	44,36 a	-0,31 c	0,67 b	0,19 b	-0,22 c	
UFU BIOFORT75E33	23,40 a	1,08	0,06	25,39	2,82	46,83	16,69 b	10,72	19,72 b	11,31 b	45,74 a	-0,20 c	0,90 a	0,22 a	-0,04 a	
UFU-189#2#2#1	21,30 a	1,18	0,19	24,56	2,13	66,33	23,47 b	26,90	22,08 a	11,66 b	45,58 a	-0,16 a	0,59 b	0,11 c	-0,06 a	
UFU-189#2#1#1	19,21 b	0,87	0,15	24,88	2,54	39,67	27,19 a	13,15	20,17 b	11,39 b	45,71 a	-0,28 c	0,81 a	0,14 c	-0,14 b	
UFU BIOFORT199E38	19,76 b	0,86	0,25	23,96	2,64	36,42	25,00 a	29,25	14,67 c	11,64 b	40,93 b	-0,25 b	0,90 a	0,18 b	-0,07 a	
UFU BIOFORT199E40	15,56 c	1,01	0,35	25,58	2,75	29,00	22,18 b	18,80	16,25 c	9,96 c	45,75 a	-0,19 c	0,87 a	0,19 b	-0,07 a	
UFU-206#1#6#1	23,18 a	1,19	0,31	25,38	2,65	50,50	33,18 a	21,49	17,00 c	12,56 b	46,69 a	-0,25 b	0,64 b	0,21 b	-0,23 c	
UFU-206#1#3#1	20,53 b	0,96	0,19	27,94	2,87	40,92	20,04 b	29,73	14,67 c	12,46 b	42,32 b	-0,15 a	0,89 a	0,15 c	0,02 a	
UFU-117#1#1#1	22,44 a	1,15	0,17	26,23	3,64	53,50	22,92 b	31,34	19,75 b	12,60 b	46,91 a	-0,29 c	0,93 a	0,14 c	-0,09 a	
UFU-184#2#1	22,41 a	1,12	0,33	26,21	2,04	85,17	27,66 a	67,06	23,83 a	14,72 a	43,48 b	-0,28 c	0,81 a	0,01 e	-0,17 b	
UFU BIOFORT199E50	22,08 a	0,96	0,12	26,35	3,66	37,25	25,17 a	2,83	14,92 c	13,21 a	41,36 b	-0,24 b	0,83 a	0,12 c	-0,11 b	
Pira 72	12,55 a	0,57	0,10	26,11	1,13	20,08	15,79 b	8,75	11,83 c	7,80 d	51,07 a	-0,28 c	1,19 a	0,28 a	0,01 a	
Média Geral	21,63	1,04		25,43		54,28		18,43	12,56	25,39	44,87	-0,25	0,81	0,16	-0,11	

CV (%)	11,02	19,29	6,46	42,90	12,92	10,93	18,64	4,38	13,04	16,27	22,28	42,09
--------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. x: médias; S: desvio padrão.

Apesar de que não houve efeito significativo para os valores de DH, TF e NF foi calculado o desvio padrão. Os genótipos UFU-117#1#3#1, UFU-107#1#2#1, UFU-86#2#1#1, UFU-184#2#3#1, UFU BIOFORT7E27, UFU-190#1#2#1, UFU-189#2#2#1e UFU-184#2#1 se destacaram em NF, sendo superiores a cultivar Pira 72 com incremento de 86,64 a 104,99%. Outros trabalhos também mostraram semelhança no NF em cultivares de alface crespa e lisa (Santos et al., 2009; Diamante et al., 2013; Blat et al., 2011; Aquino et al., 2014; Maciel et al., 2019).

Para a variável DPI os genótipos UFU-199#2#2#1, UFU-7#2#1#1, UFU-117#1#3#1, UFU-75#1#1#1, UFU BIOFORT199E7, UFU-184#2#1#1, UFU-86#2#1#1, UFU-184#2#3#1, UFU BIOFORT7E27, UFU-75#3#1#1, UFU-190#1#2#1, UFU-184#2#1e UFU BIOFORT199E50 foram superiores as demais linhagens. A cultivar comercial Pira 72 apresentou o menor valor. Técnicas de fenotipagem por imagem estão sendo abordadas para avaliar diversas culturas com detecção eficaz na avaliação de plantas. Xiang et al. (2021), por meio de técnicas do sensoriamento remoto na cultura do sorgo, obtiveram sucesso ao extrair valores de diâmetro de caule de imagens das plantas.

Os índices de vegetação foram utilizados para monitorar a dinâmica da cobertura vegetal das alfaces vermelhas. Analisando o índice BI, observou-se que as taxas de crescimento dos genótipos UFU-7#2#1#1, UFU-117#1#3#1, UFU-86#1#2#1, UFU-75#1#1#1, UFU-206#3#2#1, UFU-199#2#3#1, UFU-189#2#3#1, UFU-184#2#5#1, UFU-107#1#2#1, UFU-75#3#2#1, UFU BIOFORT7E27, UFU-190#1#2#1, UFU BIOFORT75E33, UFU-189#2#2#1, UFU-189#2#1#1, UFU BIOFORT199E40, UFU-206#1#6#1, UFU-117#1#1#1 e Pira 72 foram similares.

Para o índice GLI, as linhagens UFU-117#1#3#1, UFU-189#2#3#1, UFU-189#2#2#1 e UFU-206#1#3#1 se diferenciaram dos demais genótipos, sendo superiores a Pira 72. Ballesteros et al. (2018) também utilizaram o índice GLI no monitoramento da cultura do milho a partir de imagens RGB estimando a biomassa seca das plantas.

O índice de vegetação HUE permitiu discriminar alguns genótipos sendo que UFU-7#2#1#1, UFU-86#1#2#1, UFU-75#1#1#1, UFU BIOFORT199E7, UFU-206#3#2#1, UFU-199#2#3#1, UFU-184#2#5#1, UFU-184#2#1#1, UFU-107#1#2#1, UFU-86#2#1#1, UFU-75#2#2#1, UFU-75#3#1#1, UFU BIOFORT75E33, UFU-189#2#1#1, UFU BIOFORT199E38, UFU BIOFORT199E40, UFU-206#1#3#1, UFU-117#1#1#1, UFU-

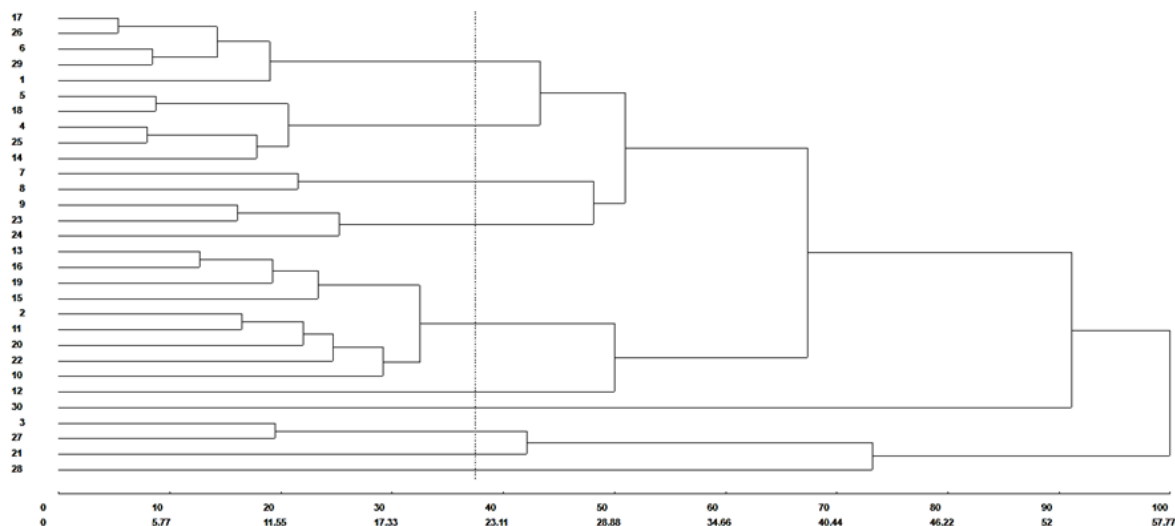
184#2#1, UFU BIOFORT199E50 foram similares a cultivar comercial Pira 72. Beniaich et al. (2019) indicaram potencial na utilização do índice HUE para cobertura vegetal nas culturas do feijão de porco e milho.

Os valores de cobertura vegetal referente ao índice SCI foram semelhantes para UFU-86#1#2#1, UFU-75#3#2#1, UFU BIOFORT75E33 e Pira 72. Já o índice SI demonstrou similaridade entre os genótipos UFU-7#2#1#1, UFU-117#1#3#1, UFU-75#1#1#1, UFU-107#1#2#1, UFU-75#3#2#1, UFU-75#2#2#1, UFU BIOFORT75E33, UFU-189#2#2#1, UFU BIOFORT199E38, UFU BIOFORT199E40, UFU-206#1#3#1, UFU-117#1#1#1 e Pira 72 para cobertura vegetal. Os resultados apresentados permitem discriminar os genótipos quanto a cobertura vegetal, sugerindo que a fenotipagem de alto rendimento pode ser uma ferramenta essencial na seleção de genótipos em programas de melhoramento genético de alface vermelha.

Os genótipos UFU-199#2#2#1, UFU-75#1#1#1, UFU BIOFORT199E7, UFU-206#3#2#1, UFU-199#2#3#1, UFU-189#2#3#1, UFU-184#2#5#1, UFU-184#2#1#1, UFU-107#1#2#1, UFU-86#2#1#1, UFU BIOFORT7E27, UFU-75#3#1#1, UFU-190#1#2#1, UFU-189#2#1#1, UFU BIOFORT199E38, UFU-206#1#6#1, UFU-184#2#1 e UFU BIOFORT199E50 foram similares entre si para AFI e superiores a cultivar Pira 72. Pereira et al. (2016) utilizaram sensores remotos orbitais para mensurar a área foliar da cana-de-açúcar em função do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Esses resultados confirmam que é possível realizar o monitoramento de culturas agrícolas por meio de imagens e sensores, sendo importantes ferramentas na definição de técnicas agrícolas.

### 3.2 Dissimilaridade genética

Para validar a utilização da fenotipagem por imagem de alto rendimento, faz-se necessário comprovar a existência de variabilidade genética entre os genótipos caracterizados (Maciel et al., 2019b). No presente estudo, foi confirmada a variabilidade genética entre os genótipos de alface vermelha avaliados (Fig. 5).



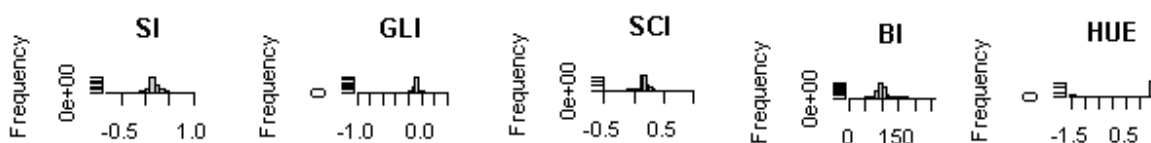
**Fig. 5:** Dendrograma ilustrativo da análise de 30 genótipos de alface vermelha pelo método da ligação média entre grupo (UPGMA) obtido pela distância generalizada de Mahalanobis. Sendo: 1: UFU-199#2#2#1; 2: UFU-7#2#1#1; 3: UFU-117#1#3#1; 4: UFU-86#1#2#1; 5: UFU-75#1#1#1; 6: UFU BIOFORT199E7; 7: UFU-206#3#2#1; 8: UFU-199#2#3#1; 9: UFU-189#2#3#1; 10: UFU-184#2#5#1; 11: UFU-184#2#1#1; 12: UFU-107#1#2#1; 13: UFU-86#2#1#1; 14: UFU-75#3#2#1; 15: UFU-184#2#3#1; 16: UFU BIOFORT7E27; 17: UFU-75#2#2#1; 18: UFU-75#3#1#1; 19: UFU-190#1#2#1; 20: UFU BIOFORT75E33; 21: UFU-189#2#2#1; 22: UFU-189#2#1#1; 23: UFU BIOFORT199E38; 24: UFU BIOFORT199E40; 25: UFU-206#1#6#1; 26: UFU-206#1#3#1; 27: UFU-117#1#1#1; 28: UFU-184#2#1; 29: UFU BIOFORT199E50; 30: Pira 72.

O dendrograma UPGMA apresentou correlação cofenética de 0.70 (teste t,  $p < 0,01$ ). Esse resultado indica maior confiabilidade na conformação de grupos identificada. A linha de corte foi traçada aos 37.78 % de dissimilaridade, estabelecida em ponto de mudança abrupta nos ramos do dendrograma (Cruz et al., 2012). Observou-se a formação de nove grupos. Os grupos I, II, III e V foram compostos por cinco linhagens cada; o grupo IV por quatro linhagens; os grupos VI, VII e IX foram constituídos por uma linhagem cada e o grupo VIII por três linhagens. A metodologia de agrupamentos utilizada nesse trabalho, pelo método hierárquico (UPGMA) foi eficiente em identificar linhagens de alface vermelha. Adicionalmente, vale ressaltar que o material genético avaliado pode ser importante para fomentar futuros programas de melhoramento genético de alface.

### 3.3 Segmentação das imagens RGB

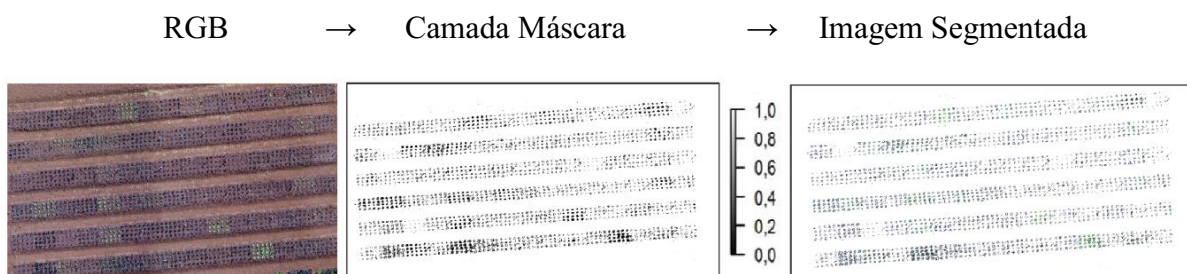
Na análise por imagens dos genótipos de alface vermelha, o processo de segmentação da vegetação e remoção do solo é a etapa principal para extração das variáveis.

Após calcular os índices de vegetação (Tabela 1), foi analisada a distribuição dos valores de cada índice nos pixels por meio dos histogramas (Fig. 6).



**Fig. 6:** Distribuição e frequência de pixels para os índices de vegetação em trinta genótipos de alface vermelha.

O índice HUE apresentou maior sensibilidade para distinguir solo *versus* vegetação/folhas de alface vermelhas. O primeiro extremo do histograma HUE é referente às plantas e o último é referente ao solo, confirmando a necessidade da segmentação (Beniaich et al. 2019). O principal objetivo do processo de segmentação é uma imagem binária (camada máscara), em que a vegetação é separada dos demais objetos (Hassanein, Lari e El-Sheimy, 2018). As imagens foram reclassificadas de forma automatizada, onde o índice HUE possibilitou a criação da camada máscara e segmentação da vegetação (Fig. 7).



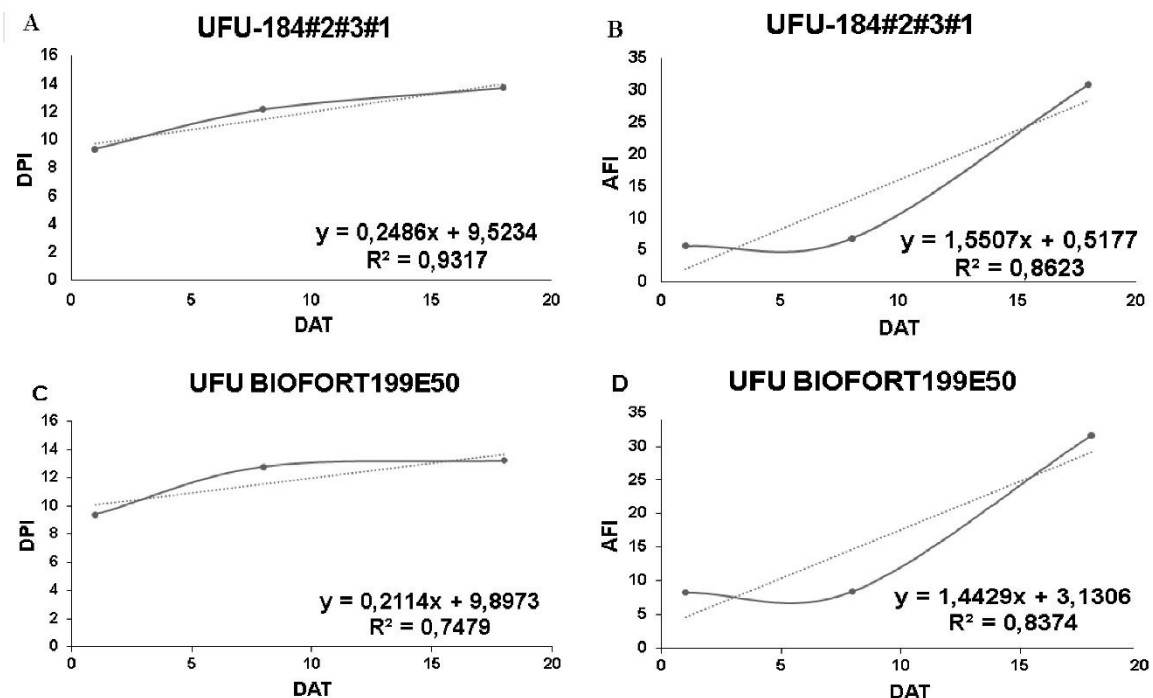
**Fig. 7.** Evolução da segmentação de imagem. Na camada máscara, valores 0 corresponde a vegetação e 1 ao solo.

Vale ressaltar que o procedimento de remoção do fundo da imagem é importante para avaliar somente os genótipos de alface vermelha, melhorando na reprodutibilidade da análise por imagem.

### 3.4 Determinação do ponto de colheita

As regressões lineares obtidas das variáveis DPI e AFI foram utilizadas no monitoramento da taxa de crescimento das plantas (Fig. 8). Os valores de ambas as variáveis aumentaram significativamente ao longo do período ao analisar os genótipos UFU BIOFORT

199E50 e UFU184#2#3#1. Para UFU BIOFORT 199E50 observou-se diferença no crescimento de 3,8 cm de diâmetro e um aumento de 23,34% de área foliar. Já o genótipo UFU 184#2#3#1 apresentou crescimento de 4,34 cm de diâmetro e incremento em 25,29% de área foliar.



**Fig. 8.** Análise de regressão para área foliar a partir de imagem (AFI) e o diâmetro de planta pela imagem (DPI) em função dos diferentes dias após o transplante (DAT) nos genótipos UFU BIOFORT 199E50 e UFU184#2#3#1 de alface vermelha.

A equação de regressão mostrou a relação entre as variáveis evidenciando diferenças significativas no crescimento dos genótipos. UFU 184#2#3#1 obteve coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,93 (Fig. 7A) e 0,86 (Fig. 7B) para as variáveis DPI e AFI analisadas em diferentes DAT. As equações do genótipo UFU 184#2#3#1 demonstram que a cada DAT avaliado espera-se aumento de 0,25 cm no diâmetro da planta e 1,55% em área foliar, respectivamente. Para a linhagem UFU BIOFORT 199E50 o coeficiente de determinação  $R^2$  foi de 0,74 (Fig. 7C) e 0,83 (Fig. 7D). Analisando a equação do genótipo UFU BIOFORT 199E50, espera-se que a cada DAT avaliado ocorra incremento de 0,21 cm no diâmetro da planta e 1,44% na área foliar. Esses resultados permitem o acompanhamento do desenvolvimento da cultura da alface, permitindo a decisão assertiva quanto ao ponto ideal de colheita.

Nos trabalhos de melhoramento de plantas, correlações entre características de interesse permitem seleção indireta utilizando a característica simples e de menor custo a ser avaliada (Reis et al., 2017; Nascimento-Junior et al., 2018). Assim, para selecionar genótipos

promissores, foram avaliados os genótipos de alfaces vermelhas que apresentaram altas correlações *per se* entre AFI e DPI com outras características de interesse (Tabela 3).

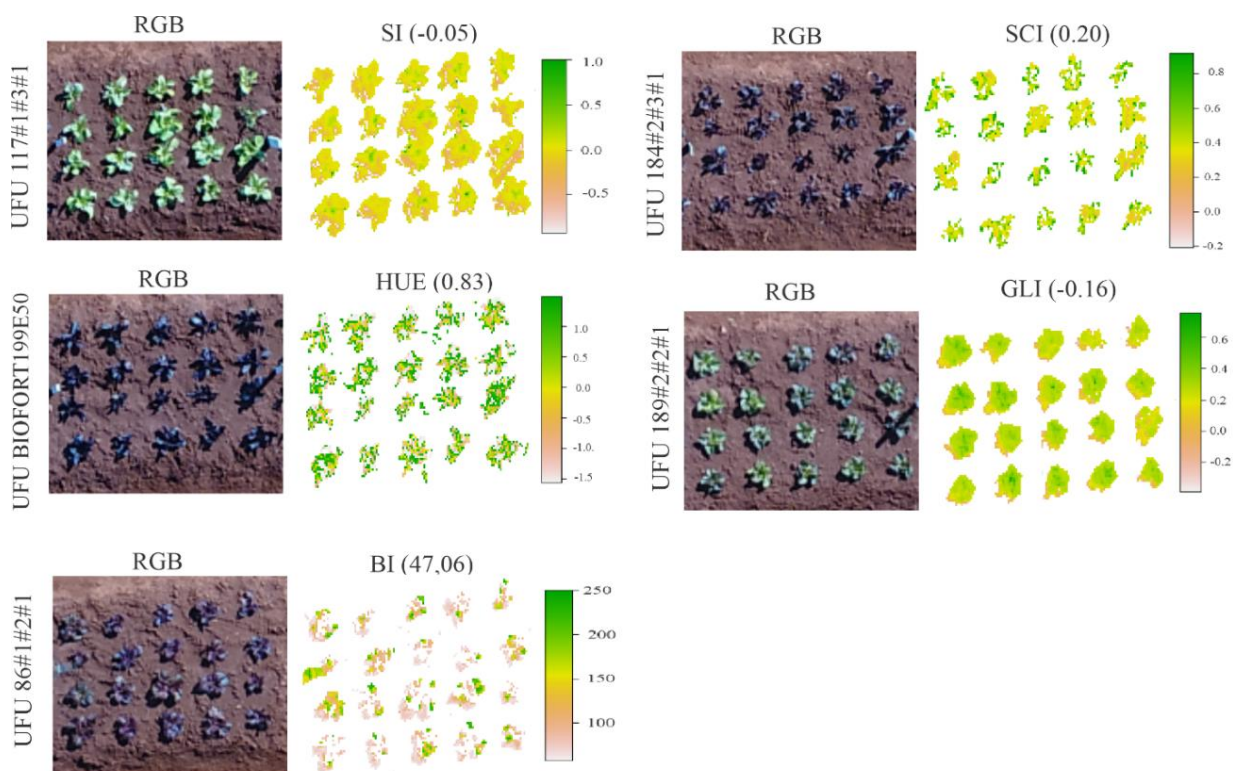
**Tabela 3.** Correlações *per se* da área foliar a partir de imagem (AFI) e o diâmetro de planta pela imagem (DPI) *versus* os índices de vegetação Brightness Index (BI), Overall Hue Index (HUE), Green Leaf Index (GLI), Soil Color Index (SCI), Spectral Slope Saturation Index (SI) em cinco genótipos de alface vermelha.

UFU BIOFOR 199E50					
	BI	GLI	HUE	SCI	SI
AFI	-0,99	-0,98	-0,58	-0,97	-0,99
DPI	0,82	0,60	0,12	-0,58	0,68
UFU 86#1#2#1					
	BI	GLI	HUE	SCI	SI
AFI	-0,99	0,60	0,84	-0,36	0,96
DPI	-0,90	0,84	0,97	0,65	0,99
UFU 117#1#3#1					
	BI	GLI	HUE	SCI	SI
AFI	0,94	0,87	-0,97	-0,96	-0,92
DPI	-0,97	0,80	-0,99	-0,92	-0,96
UFU 184#2#3#1					
	BI	GLI	HUE	SCI	SI
AFI	-0,19	0,75	0,60	-0,32	0,17
DPI	0,89	-0,43	0,92	0,83	0,99
UFU189#2#2#1					
	BI	GLI	HUE	SCI	SI
AFI	0,92	-0,97	0,80	0,73	-0,08
DPI	-0,20	0,03	-0,43	-0,52	-0,99

Entre os índices de vegetação avaliados, alguns foram mais sensíveis a AFI e DPI. Os genótipos UFU BIOFORT 199E50, UFU 86#1#2#1, UFU 117#1#3#1, UFU 184#2#3#1, UFU 189#2#2#1 foram os que apresentaram altas correlações destes parâmetros, que estão fortemente relacionados com crescimento da planta, com os índices de vegetação BI, GLI, HUE, SCI e SI (Tabela 3).

A AFI dos genótipos UFU 86#1#2#1, UFU 117#1#3#1, UFU 184#2#3#1 e UFU 189#2#2#1 apresentou altas correlações com os índices BI, GLI, HUE e SCI (Tabela 3). Para DPI também foi possível observar altas correlações para os genótipos UFU BIOFORT 199E50, UFU 86#1#2#1, UFU 117#1#3#1 e UFU184#2#3#1.

As altas correlações entre AFI e DPI com os índices de vegetação sugerem que possam ser utilizados para o monitoramento da taxa de crescimento das plantas de alface. A imagem obtida contendo as bandas do vermelho, verde e azul (RGB) que originou os índices de vegetação foram representados na Figura 9.



**Fig. 9.** Imagem RGB e dos índices de vegetação *Spectral Slope Saturation Index (SI)*, *Overall Hue Index (HUE)*, *Brightness Index (BI)*, *Soil Color Index (SCI)* e *Green Leaf Index (GLI)* nos genótipos de alface vermelha.

Os índices de vegetação apresentaram comportamentos diferentes entre os genótipos analisados. Para a cultura da alface vermelha, alguns genótipos não se expressaram de forma positiva ao índice de vegetação. Isso pode ter acontecido devido ao fato de que alguns índices serem significativamente afetados pelo teor de antocianinas acumuladas nas folhas, o que leva a um escurecimento do tecido. Assim, a coloração das folhas pode se misturar com a cor do solo, dificultando a avaliação (Hlavinka, Nauš e Špundová, 2013).

#### 4. Conclusão

Os índices de vegetação analisados (BI, GLI, HUE, SCI e SI), tiveram altas correlações com DPI e AFI.

A fenotipagem por imagem de alto rendimento foi capaz de monitorar a taxa de crescimento e determinar o ponto de colheita em diferentes genótipos de alface vermelha.



## 5. Referências

- Aquino, C.R., Seabra, J.S., Camili, E.C., Diamante, M.S., Pinto, E.S.C., 2014. Produção e tolerância ao pendoamento de alface-romana em diferentes ambientes. *Rev. Ceres.* 61, 558–566. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461040016>.
- Ballesteros, R., Ortega, J. F., Hernandez, D., Campos, A.D., Moreno, M.A., 2018. Combined use of ultra-high resolution agroclimatic and remote sensing information for crop monitoring. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* 72, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.019>
- Beniaich, A., Silva, N.L.M., Avalos, P.A.F., Mezenes, D.M., Cândido, M.B., 2019. Determination of vegetation cover index under different soil management systems of cover plants by using an unmanned aerial vehicle with an onboard digital photographic camera. *Ciências Agrárias.* 40, 49-66. <https://doi.org/10.5433/1679-0359>.
- Blat, S.F., Sanchez, S.V., Araújo, J.A.C., Bolonhezi, D., 2011. Desempenho de cultivares de alface crespa em dois ambientes de cultivo em sistema hidropônico. *Hortic. Bras.* 29,135–138. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000100024>.
- Campo e Negócios, 2021. Campo e negócios online: Alfaces especiais. Disponível em: <https://revistacamponegocios.com.br/alfaces-especiais/> (Acesso em: 16 Dez. 2021).
- Cortes, D.F.M., Catarina, R.S., Barros, G.B.A., Aredes, F.A.A., Solveira, S.F., Ferregueti, G. A., Ramos, H.C.C., Viana, A.P., Pereira, M.G., 2017. Modelassisted phenotyping by digital images in papaya breeding program. *Scientia Agricola.* 74, 294-302. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0134>.
- Baêta, F.C., Saraz, J.A.O., Tinoco, I.F.F., de Brito, A.A.A., de Paula, M.O., 2011. Desempenho de culturas de alface (*Lactuca Sativa* L) no período de verão em casas de vegetação com diferentes coberturas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín.* 64, 5973-5982.
- Clemente, A.A., Maciel, G.M., Siquieroli, A.C.S., Gallis, R.B.A., Pereira, L.M., Duarte, J.G., 2021. High-throughput phenotyping to detect anthocyanins, chlorophylls, and carotenoids in red lettuce germplasm. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation.* 103, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102533>.
- Cruz, C.D., 2013. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta. Sci. Agron.* 35, 271-276. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S., 2012. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV. 514.
- Demartelaere, A.C.F., Preston, H.A.F., Feitosa, S.S., Preston, W., Silva, R.M., 2020. A influência dos fatores climáticos sob as variedades de alface cultivadas no Rio Grande do Norte. *Brazilian Journal of Development.* 6, 90363 – 90378.

Diamante, M.S., Seabra J.S., Inagaki, A.M., Silva, M.B., Dallacort, R., 2013. Production and resistance to bolting of loose-leaf lettuce grown in different environments Rev. Ciênc. Agron. 44, 133–140. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100017>.

Escadafal, R., Belghith, A., Bem, M. H., 1994. Index's spectraux pour la télédétection de la dégradation des milieux naturels en Tunisie aride. In Actes du Sixième Symposium International. Mesures physiques et Signatures spectrales en Télédétection. 17-21.

Filgueira, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: Editora UFV, 2013

Hlavinka, J., Nauš, J., Špundová, M., 2013. Anthocyanin contribution to chlorophyll meter readings and its correction. Photosynthesis research. 118, 277-295. [10.1007/s11120-013-9934-y](https://doi.org/10.1007/s11120-013-9934-y)

Louhaichi, M., Borman, M. M., Johnson, D. E., 2001. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. Geocarto International. 16, 65-70. <https://doi.org/10.1080/10106040108542184>.

Maciel, G.M., Gallis, R.B.A., Barbosa, R.L., Pereira, L.M., Siquieroli, A.C.S., Peixoto, J.V.M., 2019. Image phenotyping of inbred red lettuce lines with genetic diversity regarding carotenoid levels. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 81, 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.016>.

Maciel, G.M., Gallis, R.B.A., Barbosa, R.L., Pereira, L.M., Siquieroli, A.C.S., Peixoto, J.V. M., 2020. Image phenotyping of lettuce germplasm with genetically diverse carotenoid levels. Bragantia, 79, 1-12. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190519>

Mantel, N. (1967) The detection of disease clustering and a generalized regression approach. Cancer Research, 27, 209-220.

Matias, F.I., Caraza-harter, M.V., Endelman, J.B., 2020. FIELDimageR: An R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. The Plant Phenome J. <https://doi.org/10.1002/ppj2.20005>.

Mathieu, R., Pouget, M., Cervelle, B., Escadafal, R., 1998. Relações entre índices radiométricos baseados em satélites simulados usando dados de refletância de laboratório e cor típica do solo de um ambiente árido. Remote Sensing Environment. 66, 17-18. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00030-3).

Nascimento-Júnior, I., Moro, G. V., Moro, F. V., 2018. Indirect selection of maize genotypes based on associations between root agronomic and anatomical characters. Chilean journal of agricultural research.78, 39-47. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392018000100039>.

Oliveira, N.L., Aquino, S.M.C., 2020. Índice da vegetação da diferença normalizada (NDVI) na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia, Piauí-Brasil: análise do efeito da expansão agrícola. Revista Georaguaia, 10, 126-143. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/10839> / (acessado em: 9 dezembro 2021).

Pereira, R.M., Casaroli, D., Vellame, L.M., Junior, J.A., Envagelista, A.W.P., 2016. Sugarcane leaf area estimate obtained from the corrected Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). *Pesq. Agropec. Trop.* 46, 140-148. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4639303>

R Core Team., 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.r-project.org/>.

Reis, M.C., Cardoso, D.B. O., Júnior, E.S.; Gomes, B.C., Pereira, L.T.G., Gomes, D.A.; Sousa, L.B., 2017. Correlation among traits as criterion of cotton genotypes indirect selection. *Genet. Mol. Res.* 16, 3-12. <https://doi.org/10.4238/gmr16039805>.

Richardson, A.J., Wiegand, C.L., 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric engineering and remote sensing.* 43, 1541-1552.

Sala, F.C., Costa, C.P.D.A., 2012. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. *Horticultura Brasileira.* 30, 187-194. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>.

Santos, C.L., Seabra, J.S., Lalla, J.G.A., Theodoro, V.C.N., 2009. A Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas em Cáceres - MT. *Agrarian.* 2, 87-98.

Silva, E.C., Maluf, W.R., Leal, N.R., Gomes, L.A.A., 1999. Inheritance of bolting tendency in lettuce *Lactuca sativa* L. *Euphytica.* 109, 1-7. <https://doi.org/10.1023/A:1003698117689>

Sousa, C.A.F. de. 2014. Fenotipagem de plantas: uma nova abordagem para um velho problema. Embrapa Agroenergia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/991030/1/cot06.pdf> / (acessado em: 10 Setembro 2020).

Sousa, C.A.F., Cunha, B.A.D.B., Martins, P.K.M., Molinari, H.B.C., Kobayashi, A.K, Souza Jr, M.T., 2015. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. *Rev. Bras. Geogr. Fís.* 8, 660-672. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p660-672>

Souza, M.C.M., Resende, L.V., Menezes, D., Loges, V., Soute, T.A., Santos, V.F., 2008. Variabilidade genética para características agronômicas em progênies de alface tolerantes ao calor. *Horticultura Brasileira.* 26, 354-358. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362008000300012>.

Xiang, L., Tang, L., Gai, L., Wang, L., 2021. Measuring stem diameter of sorghum plants in the field using a high-throughput stereo vision system. *American Society of Agricultural and Biological Engineers.* 61. 1999-2010. <https://doi.org/10.13031/trans.14156>.

Zuffo, A.M., Zuffo Júnior, J.M., da Silva, L.M.A., da Silva, R.L., de Menezes, K.O., 2016. Growth analysis in lettuce cultivars in Southern of Piauí. *Rev. Ceres.* 63, 1-9. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663020005>