

ANA LUISA ALVES RIBEIRO

**ÍNDICES DE VEGETAÇÃO PARA PREDIÇÃO DA TAXA DE  
CRESCIMENTO E COLHEITA EM ALFACE**

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”.

Orientador

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel

Coorientadora

Profa. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli

MONTE CARMELO

MINAS GERAIS – BRASIL

2022

ANA LUISA ALVES RIBEIRO

**Índices de vegetação para predição da taxa de crescimento e colheita em  
alface**

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”.

APROVADA em 07 de fevereiro de 2022

Banca examinadora

Prof. Dr. Fernando César Sala	(UFSCAR)
Prof. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli	(UFU)
Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel	(UFU)

GABRIEL MASCARENHAS MACIEL  
ICIAG - INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
(UFU)

MONTE CARMELO  
MINAS GERAIS – BRASIL

2022

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

R484 2022	<p>Ribeiro, Ana Luisa Alves, 1997- Índices de vegetação para predição da taxa de crescimento e colheita em alface [recurso eletrônico] / Ana Luisa Alves Ribeiro. - 2022.</p> <p>Orientador: Gabriel Mascarenhas Maciel . Coorientadora: Ana Carolina Silva Siquieroli . Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.68">http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.68</a> Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Agronomia. I. , Gabriel Mascarenhas Maciel,1982-, (Orient.). II. , Ana Carolina Silva Siquieroli,1982-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 631</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



## 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:	07/02/2022	Hora de início:	13:30	Hora de encerramento:	15:25
Matrícula do Discente:	32012AIG002				
Nome do Discente:	Ana Luisa Alves Ribeiro				
Título do Trabalho:	Índices de Vegetação para predição da taxa de crescimento e colheita em Alface				
Área de concentração:	Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola				
Linha de pesquisa:	Sistemas integrados de produção vegetal				

Reuniu-se na sala virtual Google Meet (\_<https://meet.google.com/syk-fewx-qcr>) a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais, assim composta: Dra Ana Carolina Silva Siquieroli UFU), Dr. Fernando Cesar Sala (UFSCar) e Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel (UFU) – orientador da candidata.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), 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):

APROVADA

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 **Gabriel Mascarenhas Maciel, Professor(a) do Magistério Superior**, em 07/02/2022, às 17:06, 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 **Ana Carolina Silva Siquieroli, Professor(a) do Magistério Superior**, em 08/02/2022, às 07:45, 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 **FERNANDO CESAR SALA, Usuário Externo**, em 08/02/2022, às 14:53, 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 **3356506** e o código CRC **902D02CD**.

## BIOGRAFIA

Ana Luisa Alves Ribeiro nasceu no dia 10 de maio de 1997 em Araguari, Minas Gerais, Brasil. Técnica em agropecuária pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM (2014), Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU (2019). Membro Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT) e Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Agronomia e Informações Geoespaciais - UFU (2020 - 2022), com foco em Fenotipagem por imagens digitais no melhoramento genético.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
INTRODUÇÃO .....	1
MATERIAL E MÉTODOS .....	1
<b>Material genético e local do experimento</b> .....	2
<b>Aquisição e processamento das imagens aéreas</b> .....	4
<b>Avaliação de dados agronômicos no campo</b> .....	5
<b>Fluxograma experimental</b> .....	5
<b>Análise Estatística</b> .....	6
RESULTADOS.....	6
<b>Avaliação do Germoplasma</b> .....	6
<b>Dissimilaridade genética</b> .....	9
<b>Monitoramento da taxa de crescimento</b> .....	10
<b>Validação da técnica de fenotipagem por imagem</b> .....	15
DISCUSSÃO.....	17
CONCLUSÃO .....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	20

## RESUMO

RIBEIRO, ANA LUISA ALVES. . **Índices de Vegetação para predição da taxa de crescimento e colheita em alface.** 2022, 23 páginas. Dissertação (Mestradoem Agricultura e Informações Geoespaciais) – Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil<sup>1</sup>.

A cultura da alface (*Lactuca Sativa* L.) apresenta ciclo curto tornando um desafio a determinação do ponto ideal de colheita. A determinação do ponto de colheita é realizada de forma visual resultando em desperdício e prejuízos importantes. O uso de imagens digitais e índices de vegetação têm sido utilizados em diversas culturas para caracterizar variáveis quantitativas e qualitativas, mas de forma insipiente em alface. Objetivou-se com este trabalho avaliar diferentes índices de vegetação para predição da taxa de crescimento e ponto de colheita em alface. Foram avaliados vinte e cinco genótipos de alface verde biofortificadas. A partir de imagens capturadas durante o desenvolvimento das plantas a 1, 8, 18, 24 e 36 dias após o transplântio (DAT), calculou-se os índices de vegetação GLI, NGRDI, SI e HUE. O diâmetro e área foliar média das plantas foram mensurados com o auxílio de software QGIS. Em campo foram mensuradas a massa verde, diâmetro de planta, diâmetro de haste e número de folhas. As médias foram comparadas pelo teste Scott- knott ( $p \leq 0,05$ ) e gerados modelos de regressão linear simples visando o monitoramento da taxa de crescimento. A dissimilaridade genética foi representada por dendrograma obtido pelo método de agrupamento UPGMA e a validação entre os dados coletados no campo *versus* dados obtidos por imagem foi realizada por meio de correlações de Pearson. Os genótipos avaliados apresentaram dissimilaridade genética. Os índices de vegetação e as variáveis extraídas por meio das imagens foram eficientes para monitorar a taxa de crescimento e determinar o ponto de colheita em diferentes genótipos de alface. As variáveis agronômicas mensuradas no campo e os dados extraídos das imagens apresentaram alta correlação. Os índices de vegetação SI, GLI e NGRDI foram eficientes para monitorar a taxa de crescimento e determinar o ponto de colheita em diferentes genótipos de alface verde.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.; fenotipagem por imagem; índices de vegetação; hortaliças.

---

<sup>1</sup>Orientador: Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel-UFU

## ABSTRACT

RIBEIRO, ANA LUISA ALVES. **Vegetation indices for predicting the growth and harvest rate of lettuce.** 2022, 23 pages. Dissertation (Master's Degree in Agriculture and Geospatial Information) – Federal University of Uberlândia, Campus Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil<sup>1</sup>.

Lettuce (*Lactuca Sativa* L.) culture has a short cycle. As a result, determining the ideal harvest point is challenging. Harvest point is determined visually, causing waste and important losses. Digital images and vegetation indices have been used to characterize quantitative and qualitative variables in diverse cultures; however, these indices have not been appropriately employed for lettuce. The objective of this study was to evaluate different vegetation indices to predict the growth rate and harvest point of lettuce. Twenty-five genotypes of biofortified green lettuce were evaluated. The vegetation indices GLI, NGRDI, SI, and HUE were calculated from images captured during plant development 1, 8, 18, 24, and 36 days after transplanting (DAT). The diameter and average leaf area of plants were measured using QGIS software. Green mass, plant diameter, stem diameter, and number of leaves were measured in the field. The means were compared using the Scott- Knott test ( $p \leq 0.05$ ) and simple linear regression models were generated to monitor the growth rate. Genetic dissimilarity was depicted using a dendrogram obtained by the UPGMA grouping method. Furthermore, validation between data collected in the field *versus* data obtained by imaging was performed using Pearson correlations. The evaluated genotypes showed genetic dissimilarity. Vegetation indices and the variables extracted through images were efficient for monitoring the growth rate and determining the harvest point for different lettuce genotypes. The agronomic variables measured in the field and the data extracted from the images had a high correlation. Overall, the vegetation indices SI, GLI, and NGRDI were efficient for monitoring the growth rate and determining the harvest point of different green lettuce genotypes.

Keywords: *Lactuca sativa* L; image phenotyping; vegetation indices; vegetables.

---

<sup>1</sup> Adviser: Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel- UFU

## INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca Sativa* L.) pertence à família Asteraceae. É considerada planta anual e herbácea. Está entre as hortaliças mais populares e consumidas no Brasil e no mundo. A produção brasileira dessa cultura é superior a 1,5 milhões de toneladas e sua atividade se concentra próximo aos grandes centros chamados “cinturões verdes” (Camara et al., 2018; Abcsem, 2017).

O uso de fenotipagem por imagem vem sendo utilizada para auxiliar na seleção e caracterizar variáveis quantitativas e qualitativas presentes em um determinado indivíduo por meio de análises não destrutivas (Dhondt et al., 2013). A utilização de aeronaves não tripuladas (ARPs) com câmeras e sensores acoplados possibilitam realizar análises e acompanhar as fases de desenvolvimento das culturas, desde o espectro eletromagnético visível até o espectro infravermelho (Sousa et al., 2015). O custo, tempo e mão-de-obra para obter as informações no campo e laboratório são reduzidos ao se utilizar o sensoriamento remoto.

Os índices de vegetação são baseados na refletância e os seus valores variam de acordo com a cobertura vegetal e suas características biofísicas (Ponzoni et al., 2012). Na alface, os índices de vegetação estão sendo utilizados para diferenciar níveis de pigmentos presentes nas folhas e estimar o índice de área foliar por meio de imagens infravermelhos (Clemente et al., 2021, Maciel et al., 2020).

Estudos referente a predição da taxa de crescimento e ponto de colheita em vegetais a partir de imagens é insipiente. Para a culturas do eucalipto o sensoriamento remoto se mostrou eficiente no monitoramento das lavouras utilizando índices de vegetação. Essa técnica constitui uma metodologia de baixo custo, podendo ser aplicada em grandes extensões (Berger, 2019).

Em pequenas áreas de cultivo da alface, a observação da taxa de crescimento e verificação do ponto de colheita são facilmente identificados visualmente. Porém, em grandes áreas de plantio, os produtores têm dificuldades em realizar esse monitoramento, ocorrendo desperdícios e prejuízos importantes (Aliotte et al., 2022). O uso de imagens digitais coletadas por meio de ARPs pode ser útil e auxiliar na tomada de decisões. O objetivo do trabalho foi avaliar diferentes índices de vegetação para predição da taxa de crescimento e ponto de colheita em alface.

## MATERIAL E MÉTODOS

## Material genético e local do experimento

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Hortaliças (18°42'43,19" S e 47°29'55,8" O, 873 m de altitude) da Universidade Federal de Uberlândia- UFU, campus Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil (Figura 1).

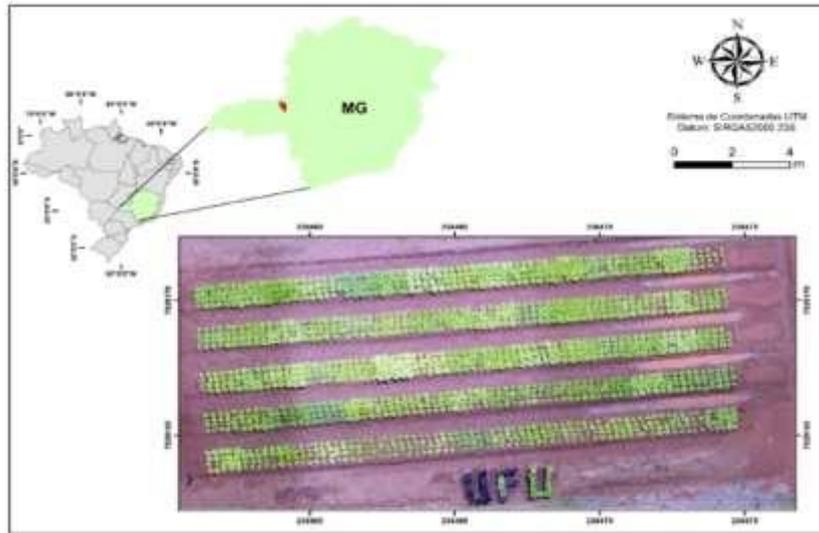
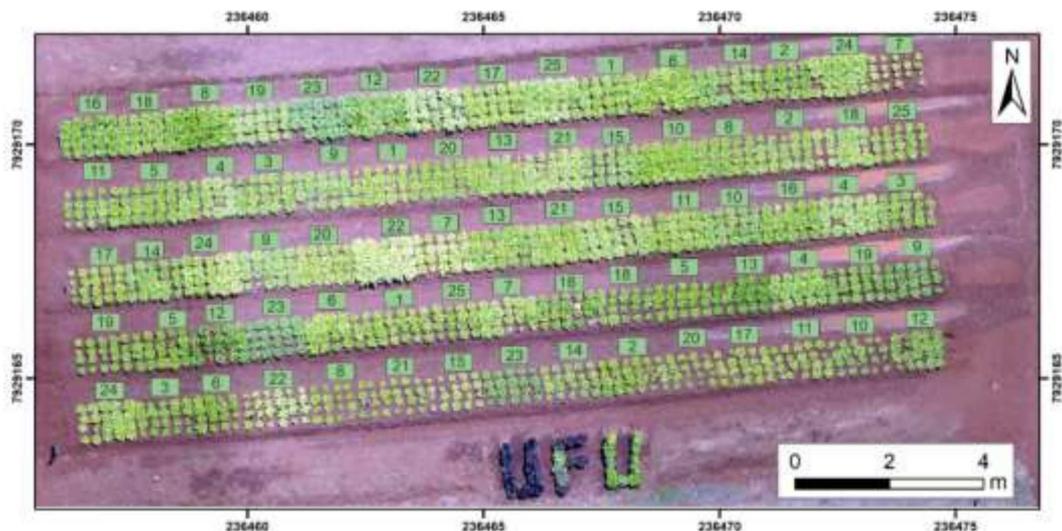


FIGURA 1. Localização do experimento.

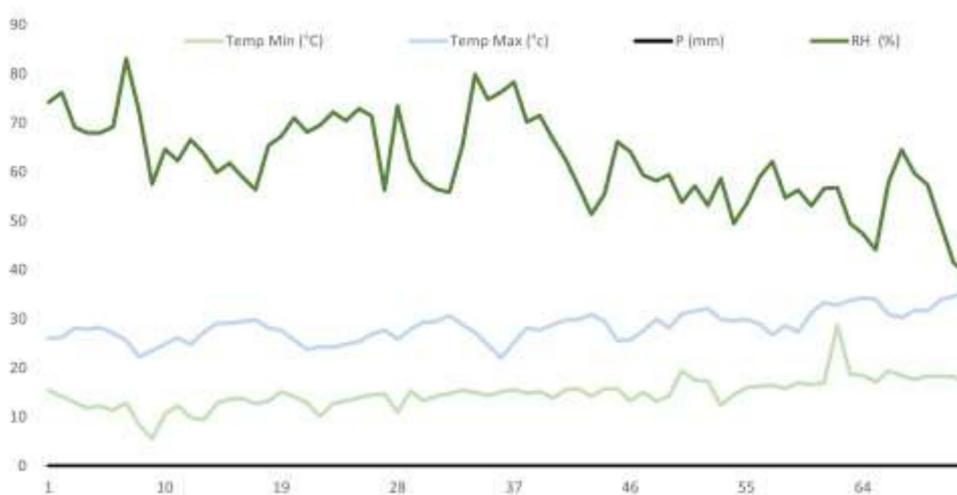
Foram avaliados vinte e cinco genótipos (Figura 2), sendo duas testemunhas comerciais (cv. Grand Rapids e Uberlândia 10000) e vinte e três linhagens de alface verde biofortificadas, pertencentes ao banco de germoplasma da UFU registradas no Software BG  $\alpha$  BIOFORT (Maciel et al., 2019).



**FIGURA 2.** Distribuição dos genótipos de alface verde no campo. 1:UFU-206#1#6#1;2:UFU BIOFORT189E8; 3: UFU-197#3#1#1; 4: UFU-125#1#1#1; 5:UFU-7#1#2#1; 6: UFU BIOFORT155E12; 7: UFU BIOFORT120E21;8: UFU BIOFORT189E22;9:UFU-197#2#1#1; 10: UFU-199#3#1#1; 11: UFU-206#1#1#1;12: UFU BIOFORT206E32; 13:UFU BIOFORT197E34; 14:UFU-197#2#2#1; 15: UFU BIOFORT155E39; 16: UFU BIOFORT189E43; 17: UFU-206#1#4#1; 18: UFU-125#2#2#1; 19: UFU-206#1#2#1; 20: UFU BIOFORT189E48; 21: UFU-206#1#5#1; 22: UFU-040#5#5#1; 23: UFU MC BIOFORT; 24: Grand Rapids; 25: Uberlândia 10000.

Os genótipos utilizados são provenientes de sete sucessivas autofecundações, após hibridação, entre as cultivares PIRA 72 *versus* Uberlândia 10000 entre os anos de 2013 à 2018. As mudas foram produzidas em bandejas de polietileno expandido com 200 células preenchidas com substrato comercial à base de fibra de coco. O transplântio foi realizado quando as plantas de alface apresentaram quatro folhas definitivas. As mudas foram transferidas para canteiros de 1,3 m, construídos com o auxílio de um rotoencateirador.

A análise das características físicas e químicas do solo foram: textura argilosa (> 50%); pH em CaCl<sub>2</sub> = 4,9; Ca = 3,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 1,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al = 4,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB = 4,90 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SOM = 3,9 dag kg<sup>-1</sup>; P (rem) = 79,1 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,29 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CEC = 9,80 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; BS% = 50. Os tratos culturais foram realizados conforme preconizado para a cultura da alface (Filgueira, 2013). As condições climáticas foram monitoradas diariamente durante a execução do experimento (Figura 3).



**FIGURA 3.** Condições climáticas durante a execução do experimento. Umidade (RH), Temperatura mínima (Temp Min), Temperatura máxima (Temp Max) e Precipitação (P).

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC) com três

repetições, totalizando 75 parcelas. As parcelas foram constituídas por vinte plantas, com espaçamento 0,25 x 0,25 m entre plantas.

### Aquisição e processamento das imagens áreas

Durante a execução do experimento foram realizados cinco voos em diferentes dias após o transplântio (1, 8, 18, 24 e 36 DAT). As imagens áreas foram capturadas utilizando um drone modelo Phantom 4 Advanced, câmara visível (RGB) com resolução de 20 megapixels.

Com o auxílio do software DroneDeploy os voos foram realizados seguindo os parâmetros de 20 metros de altura, 80% de sobreposição longitudinal e 75% sobreposição lateral. A ortoimagem foi gerada a partir do programa Pix4d. O cálculo dos índices de vegetação (Tabela 1) e a reclassificação da imagem foram realizados no 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 no experimento.

Índice	Fórmula	Referências
SI- Spectral Slope Saturation Index	$\frac{R - B}{R + B}$	Espadafal et al. (1994)
HUE- Overall Hue Index	$\text{atan} \left( 2 \times \frac{(B - G - R)}{30,5 \times (G - R)} \right)$	Escadafal et al. (1994)
GLI-Green Leaf Index	$\frac{(2 \times G - R - B)}{(2 \times G + R + B)}$	Louhaichi et al. (2001)
NGRDI- Normalized Green Red Difference Index	$\frac{G - R}{G + R}$	Tucker (1979)

G= green band; R = red band; B= blue band

O índice Overall Hue Index (HUE) foi calculado e utilizado para formação da camada máscara e reclassificação da imagem RGB excluindo o solo. Após o cálculo dos índices, Green Leaf Index (GLI), Normalized Green Red Difference Index (NGRDI) e Spectral Slope Saturation Index (SI) foi obtido o índice médio de cada parcela em todos os voos realizados.

O monitoramento da taxa de crescimento foi realizado com métodos não destrutivos utilizando imagens. Além dos índices de vegetação, foram extraídos área foliar no software (AFS) e o diâmetro de planta no software (DPS) utilizando o software QGIS v. 3.0 para todos os voos. O DPS foi mensurado por meio da ferramenta calculadora raster com medição de seis plantas centrais.

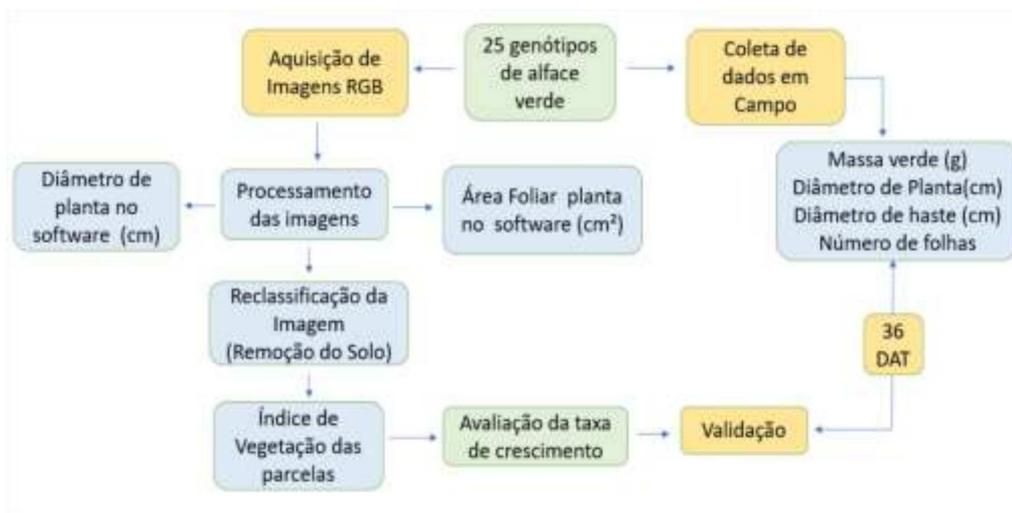
Para a obtenção da AFS foram extraídos os valores de pixels na banda do verde a partir da imagem RGB. Com o auxílio do software QGIS v. 3.0. e por meio da função r. recode foi possível atribuir uma classificação de 1 a 0, para o solo e planta, respectivamente. Assim, o contorno das plantas foi mensurado, o que possibilitou o cálculo da área foliar média nas respectivas parcelas.

### Avaliação de dados agronômicos no campo

No ponto comercial (36 DAT) além da captura das imagens foram mensurados no campo a massa verde (MV) por meio da pesagem de folhas; contagem de número de folhas (NF); diâmetro de planta (DP) e diâmetro de haste (DH). Para as avaliações foram utilizadas seis plantas centrais de cada parcela.

### Fluxograma experimental

As etapas metodológicas, o processamento das imagens e análise dos dados estão apresentadas no fluxograma experimental (Figura 4).



**FIGURA. 4.** Fluxograma de etapas do experimento: coleta de dados no campo e informações obtidas por imagens.

### **Análise Estatística**

Os resultados mensurados no campo e os dados provenientes de imagens extraídas no último voo (36 DAT) foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Por meio da análise multivariada obteve-se o dendrograma utilizando o método hierárquico Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Averages (UPGMA). Esse método foi aplicado visando comprovar a diversidade genética entre os tratamentos do experimento. Sugere-se que para validar índices de vegetação, é preciso experimentos com tratamentos comprovadamente dissimilares (maior número de ramificações do dendrograma), aumentando o espectro da eficiência dos índices avaliados (Clemente et al., 2021)

A correlação de Pearson entre as variáveis coletadas em campo e provenientes das imagens foram realizadas individualmente entre os genótipos (*per se*), e verificada a significância dos coeficientes. Após a observação das correlações foram gerados modelos de regressão linear simples visando monitorar a taxa de crescimento e o ponto de colheita ideal para cultura da alface. Os gráficos foram gerados para as variáveis repostas AFS, DPS e os índices de vegetação GLI, NGRDI e SI em diferentes DAT. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos softwares R (R Core Team, 2019) e Genes (CRUZ, 2013).

## **RESULTADOS**

Durante a execução do experimento as temperaturas máximas variaram de 18,8 a 32°C e as temperaturas mínimas de 5,7 a 20,9 °C (Figura 3).

### **Avaliação do Germoplasma**

Os genótipos de alface diferiram entre si para os índices de vegetação GLI, SI e NGRDI e para a variável NF (Tabela 2). As características MV, DP e DH não diferiram entre si.

**TABELA 2.** Médias referentes aos dados coletados no campo. Massa verde (MV), diâmetro de planta (DP), diâmetro da haste (DH), número de folhas (NF) em genótipos de alface verde.

Genótipo	MV (g)		DP (cm)		DH (cm)		NF $\bar{X}$
	$\bar{X}$	$\sigma$	$\bar{X}$	$\sigma$	$\bar{X}$	$\sigma$	
UFU-206#1#6#1	178,8	±84,0	25,3	±3,11	1,84	±0,22	23,3 b
UFU BIOFORT189E8	163,9	±31,8	24,5	±1,02	2,12	±0,18	26,5 a
UFU-197#3#1#1	197,1	±22,3	26,3	±0,86	1,96	±0,11	22,2 b
UFU-125#1#1#1	195,8	±8,17	28,3	±0,71	2,12	±0,08	27,7 a
UFU-7#1#2#1	154,3	±34,8	25,5	±1,42	2,12	±0,11	29,3 a
UFU BIOFORT155E12	154,3	±38,1	24,5	±2,14	2,00	±0,16	28,6 a
UFU BIOFORT120E21	157,5	±60,3	24,8	±4,60	1,86	±0,51	17,8 b
UFU BIOFORT189E22	181,8	±86,8	27,6	±3,33	2,00	±0,20	33,3 a
UFU-197#2#1#1	168,6	±32,2	25,1	±2,35	1,63	±0,34	29,5 a
UFU-199#3#1#1	132,2	±45,0	25,4	±1,68	1,94	±0,40	28,5 a
UFU-206#1#1#1	180,8	±76,4	24,6	±1,72	1,65	±0,27	27,7 a
UFU BIOFORT206E32	114,9	±51,5	24,5	±2,62	1,97	±0,38	29,4 a
UFU BIOFORT197E34	120,8	±53,8	25,3	±1,79	2,09	±0,25	32,6 a
UFU-197#2#2#1	167,3	±57,2	25,0	±3,80	1,99	±0,49	25,5 b
UFU BIOFORT155E39	141,2	±66,9	24,0	±3,68	1,50	±0,08	25,5 b
UFU BIOFORT189E43	140,5	±36,5	25,4	±1,96	1,87	±0,24	33,2 a
UFU-206#1#4#1	180,2	±60,0	27,0	±2,54	2,16	±0,22	23,0 b
UFU-125#2#2#1	191,1	±67,2	26,9	±3,43	2,09	±0,18	28,0 a
UFU-206#1#2#1	134,3	±45,5	25,3	±1,36	1,78	±0,08	22,0 b
UFU BIOFORT189E48	161,3	±57,2	28,7	±2,45	2,30	±0,39	27,2 a
UFU-206#1#5#1	160,9	±64,4	25,1	±3,70	1,78	±0,27	23,5 b
UFU-040#5#5#1	139,3	±41,1	26,4	±0,49	1,91	±0,12	27,0 a
UFU MC BIOFORT1	105,8	±32,8	22,7	±2,03	1,77	±0,32	20,0 b
Grand Rapids	189,7	±7,14	26,9	±1,16	1,95	±0,12	22,9 b
Uberlândia 10000	140,8	±59,8	25,1	±2,12	2,14	±0,04	29,6 a
Média Geral	160,9		25,3		1,967		27,25

$\bar{X}$ : médias;  $\sigma$ : desvio padrão. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste Scott- Knott  $\alpha=0,05$ .

Os genótipos UFU BIOFORT189E8, UFU- 125#1#1#1, UFU-7#1#2#1, UFU BIOFORT155E12, UFU BIOFORT189E22, UFU- 197#2#1#1, UFU- 199#3#1#1, UFU-206#1#1#1, UFU BIOFORT206E32, UFU BIOFORT197E34, UFU BIOFORT189E43, UFU-125#2#2#1, UFU BIOFORT189E48, UFU- 040#5#5#1 e Uberlândia 10000 se destacaram em NF, sendo superiores aos demais genótipos e à testemunha comercial cv. Grand Rapids (Tabela 2). O incremento do NF em comparação com a cv. Grand Rapids foi de 45,4% para UFU BIOFORT189E22; 44,9% para UFU BIOFORT189E43 e 42,35% para UFUBIOFORT197E34.

Os genótipos apresentaram comportamentos diferentes ( $p \leq 0,05$ ) entre os índices de

vegetação SI, GLI e NGRDI (Tabela 3). UFU-206#1#6#1, UFU-125#1#1#1, UFU BIOFORT120E21, UFU-197#2#1#1, UFU BIOFORT155E39, UFU BIOFORT189E48, UFU-206#1#5#1 e UFU-040#5#5#1 não diferiram do genótipo Uberlândia 10000 e a cultivar comercial Grand Rapids para o índice de vegetação SI.

**TABELA 3.** Médias referentes aos dados provenientes de análise de imagens. Diâmetro de planta no software (DPS), área foliar no software (AFS), Spectral Slope Saturation Index (SI), Normalized Green Red Difference Index (NGRDI), Green Leaf Index (GLI) em linhagens de alface verde.

Genótipo	DPS (cm)		AFS (cm <sup>2</sup> )		SI	GLI	NGRDI
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
UFU-206#1#6#1	22,93	±2,70	476,2	±63,52	147,9 a	0,262 b	0,162 b
UFU BIOFORT189E8	20,31	±2,73	433,2	±49,73	135,2 b	0,286 a	0,183 b
UFU-197#3#1#1	20,78	±0,31	432,9	±71,69	132,8 b	0,279 a	0,183 b
UFU-125#1#1#1	18,46	±4,55	487,3	±17,16	151,2 a	0,254 b	0,172 b
UFU-7#1#2#1	18,58	±5,83	462,1	±60,48	122,7 b	0,325 a	0,212 a
UFU BIOFORT155E12	22,81	±1,41	477,6	±88,73	138,5 b	0,286 a	0,175 b
UFU BIOFORT120E21	20,23	±4,12	391,1	±150,2	155,2 a	0,206 b	0,118 b
UFU BIOFORT189E22	20,10	±4,08	453,1	±131,6	134,2 b	0,307 a	0,194 a
UFU-197#2#1#1	20,53	±5,53	445,0	±58,51	146,7 a	0,243 b	0,181 b
UFU-199#3#1#1	20,97	±5,06	448,5	±136,2	132,9 b	0,302 a	0,204 a
UFU-206#1#1#1	20,47	±4,56	424,1	±100,3	134,9 b	0,270 b	0,169 b
UFU BIOFORT206E32	20,24	±4,88	485,3	±93,04	123,5 b	0,309 a	0,231 a
UFU BIOFORT197E34	20,91	±7,13	492,4	±62,31	135,5 b	0,319 a	0,218 a
UFU-197#2#2#1	20,47	±1,88	443,3	±90,66	138,6 b	0,272 b	0,189 a
UFU BIOFORT155E39	20,63	±2,99	431,9	±137,4	148,4 a	0,235 b	0,156 b
UFU BIOFORT189E43	22,33	±2,44	482,1	±69,73	131,3 b	0,317 a	0,219 a
UFU-206#1#4#1	20,35	±4,10	435,6	±108,9	138,7 b	0,263 b	0,156 b
UFU-125#2#2#1	18,88	±6,25	459,9	±98,53	139,5 b	0,272 b	0,177 b
UFU-206#1#2#1	18,49	±4,75	427,8	±78,82	132,4 b	0,257 b	0,180 b
UFU BIOFORT189E48	21,67	±4,26	439,0	±130,5	144,5 a	0,263 b	0,161 b
UFU-206#1#5#1	22,37	±3,10	458,5	±154,6	148,5 a	0,255 b	0,158 b
UFU-040#5#5#1	23,98	±1,73	510,8	±140,2	168,2 a	0,196 b	0,128 b
UFU MC BIOFORT1	20,90	±1,40	442,2	±77,55	136,2 b	0,245 b	0,215 a
Grand Rapids	24,61	±1,08	531,8	±39,36	145,0 a	0,267 b	0,170 b
Uberlândia 10000	23,41	±3,10	456,1	±118,0	144,4 a	0,256 b	0,162 b
Média Geral	21,82		477,56			0,267	0,177

$\bar{x}$ : médias;  $\sigma$ : desvio padrão. Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste Scott- Knott ( $p < 0,05$ ).

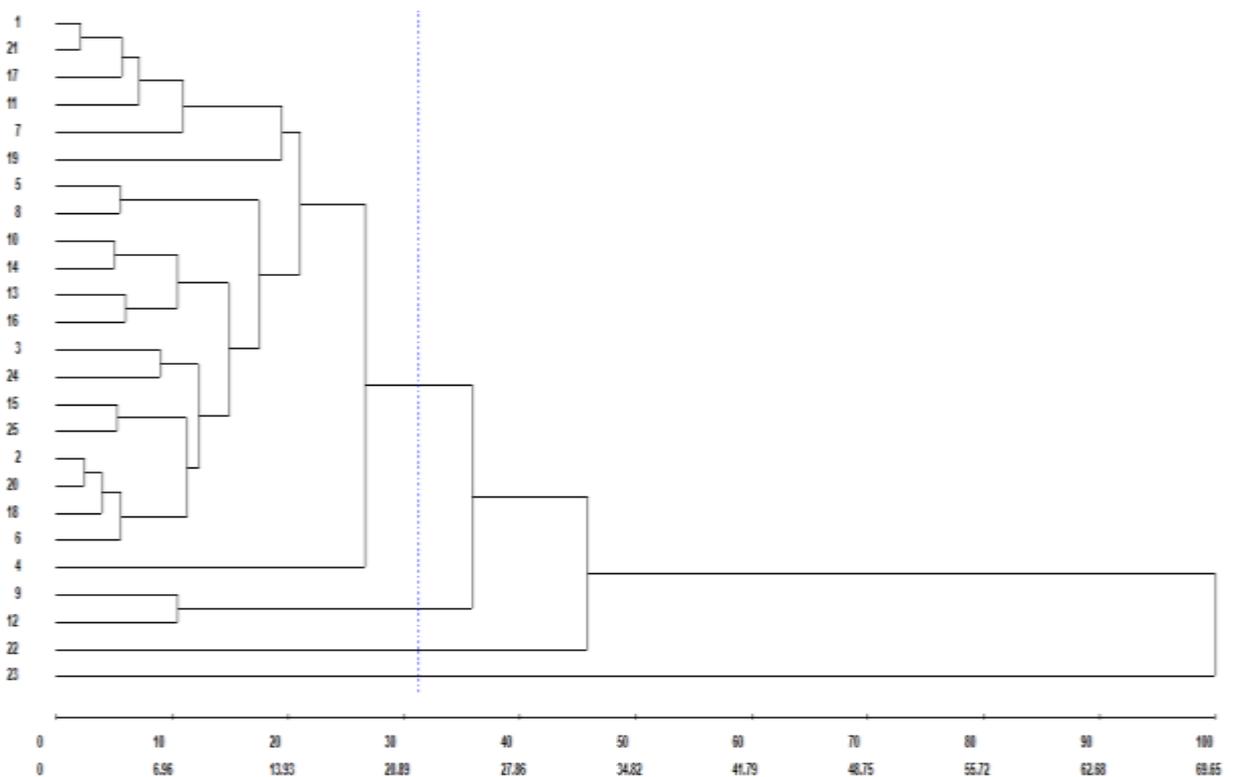
Para o índice GLI, os genótipos UFU BIOFORT189E8, UFU-197#3#1#1, UFU-

7#1#2#1, UFU BIOFORT155E12, UFU BIOFORT189E22, UFU-199#3#1#1, UFU BIOFORT206E32, UFU BIOFORT197E34, UFU BIOFORT189E43 foram superiores aos demais. Em relação ao índice NGRD, os genótipos UFU-7#1#2#1, UFU BIOFORT189E22, UFU-199#3#1#1, UFU BIOFORT206E32, UFU BIOFORT197E34, UFU-197#2#2#1, UFU BIOFORT189E43 e UFU MC BIOFORT1 apresentaram incremento médio de 24, 14,1, 20, 35,8, 28,2, 11,17%, 28,8 e 26, 47%, respectivamente, sendo todos superiores a cv. comercial Grand Rapids (Tabela 3).

Os índices GLI e NGRDI apresentaram cerca de 67% de similaridade na escolha dos genótipos com as maiores estimativas de desenvolvimento vegetativo. Ambos os índices selecionaram os genótipos UFU-7#1#2#1, UFU BIOFORT189E22; UFU-199#3#1#1; UFU BIOFORT206E32; UFU BIOFORT197E34 e UFU BIOFORT189E43.

### Dissimilaridade genética

O dendrograma (UPGMA) obtido pela distância generalizada de Mahalanobis confirmou a existência de dissimilaridade genética entre os genótipos avaliados. O coeficiente de correlação cofenética (CCC) foi de 88,49%. A linha de corte foi traçada a 31,23% de dissimilaridade, sendo identificado a formação de quatro grupos (Figura 5).

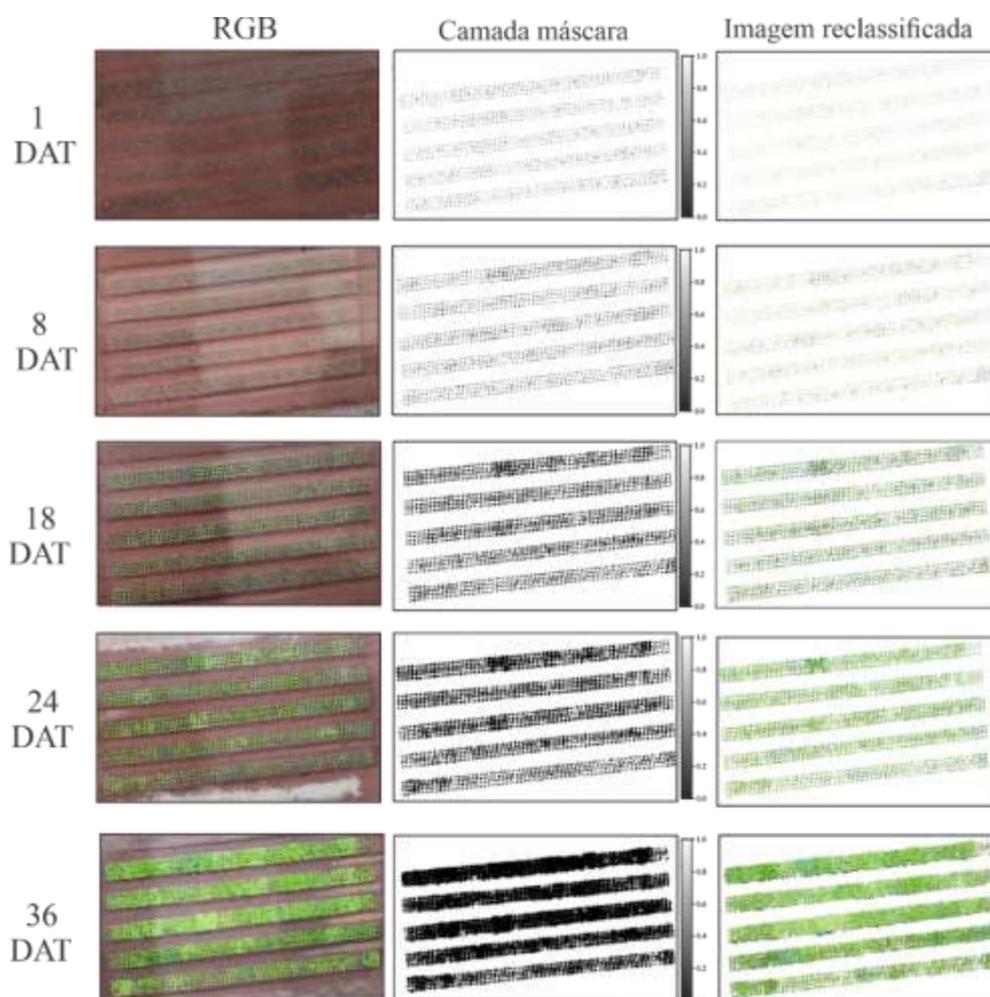


**FIGURA 5.** Dendrograma UPGMA obtido pela distância generalizada de Mahalanobis de 25 genótipos de alface verde. 1:UFU-206#1#6#1;2:UFU BIOFORT189E8; 3: UFU-197#3#1#1; 4: UFU-125#1#1#1; 5:UFU-7#1#2#1; 6: UFU BIOFORT155E12; 7: UFU BIOFORT120E21;8: UFU BIOFORT189E22;9:UFU-197#2#1#1; 10: UFU-199#3#1#1; 11: UFU-206#1#1#1;12: UFU BIOFORT206E32; 13:UFU BIOFORT197E34; 14:UFU-197#2#2#1; 15: UFU BIOFORT155E39; 16: UFU BIOFORT189E43; 17: UFU-206#1#4#1; 18: UFU-125#2#2#1; 19: UFU-206#1#2#1; 20: UFU BIOFORT189E48; 21: UFU-206#1#5#1; 22: UFU-040#5#5#1; 23: UFU MC BIOFORT; 24: Grand Rapids; 25: Uberlândia 10000.

O grupo I foi constituído por 84% dos genótipos analisados. O grupo II foi constituído pelos genótipos UFU-197#2#1#1 e UFU BIOFORT206E32. Os grupos III e IV foram constituídos apenas por um genótipo, sendo respectivamente, o UFU-040#5#5#1 e UFU MC BIOFORT1.

### Monitoramento da taxa de crescimento

A aquisição de imagens RGB utilizando ARPs permitiu realizar o monitoramento da taxa de crescimento na cultura da alface em relação aos DAT (Figura 6).

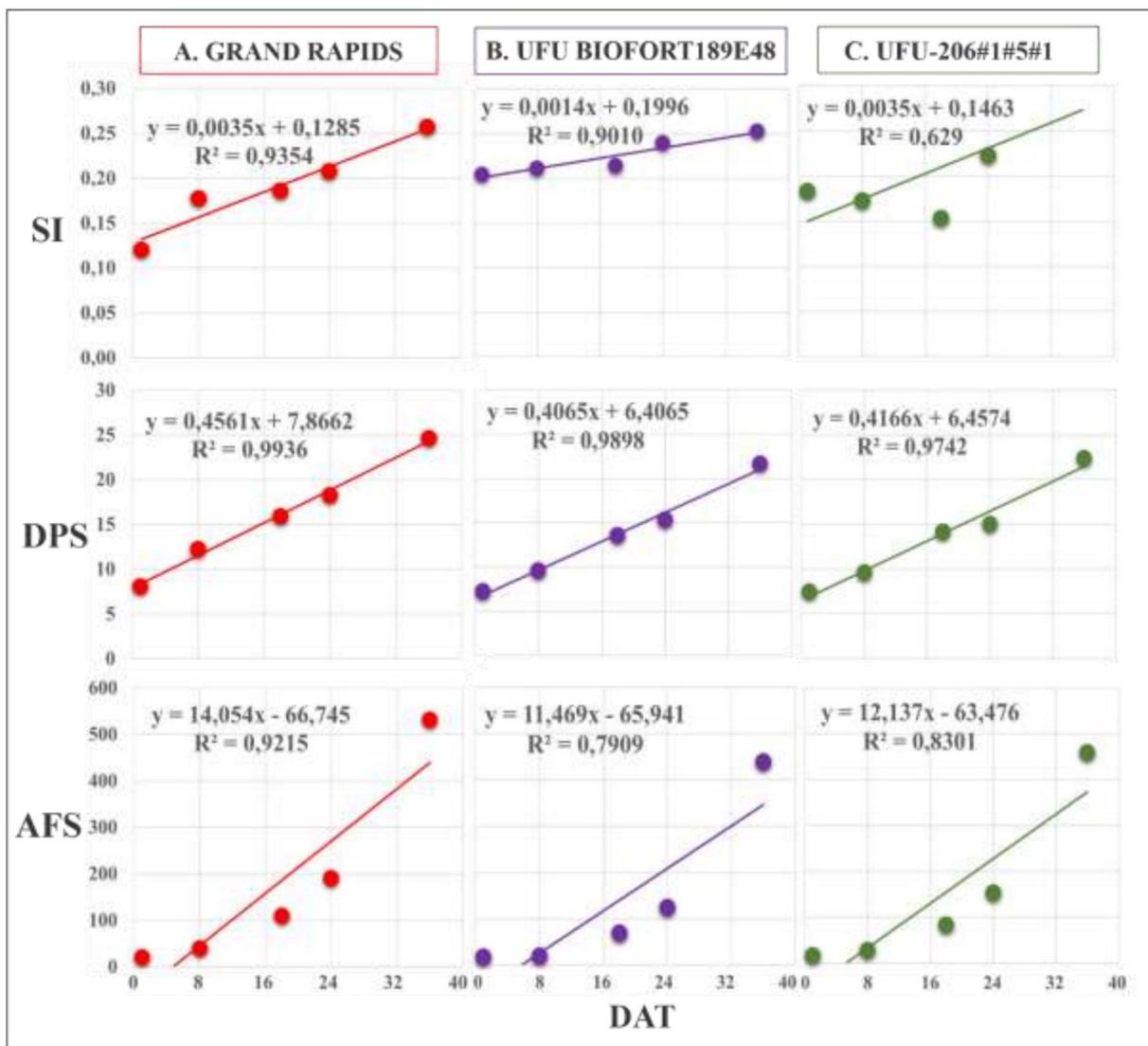


**FIGURA 6.** Imagem RGB, camada máscara e imagem reclassificada dos voos obtidos por meio de ARPs durante a execução do experimento em diferentes dias após o transplântio (1, 8, 18, 24 e 36 DAT).

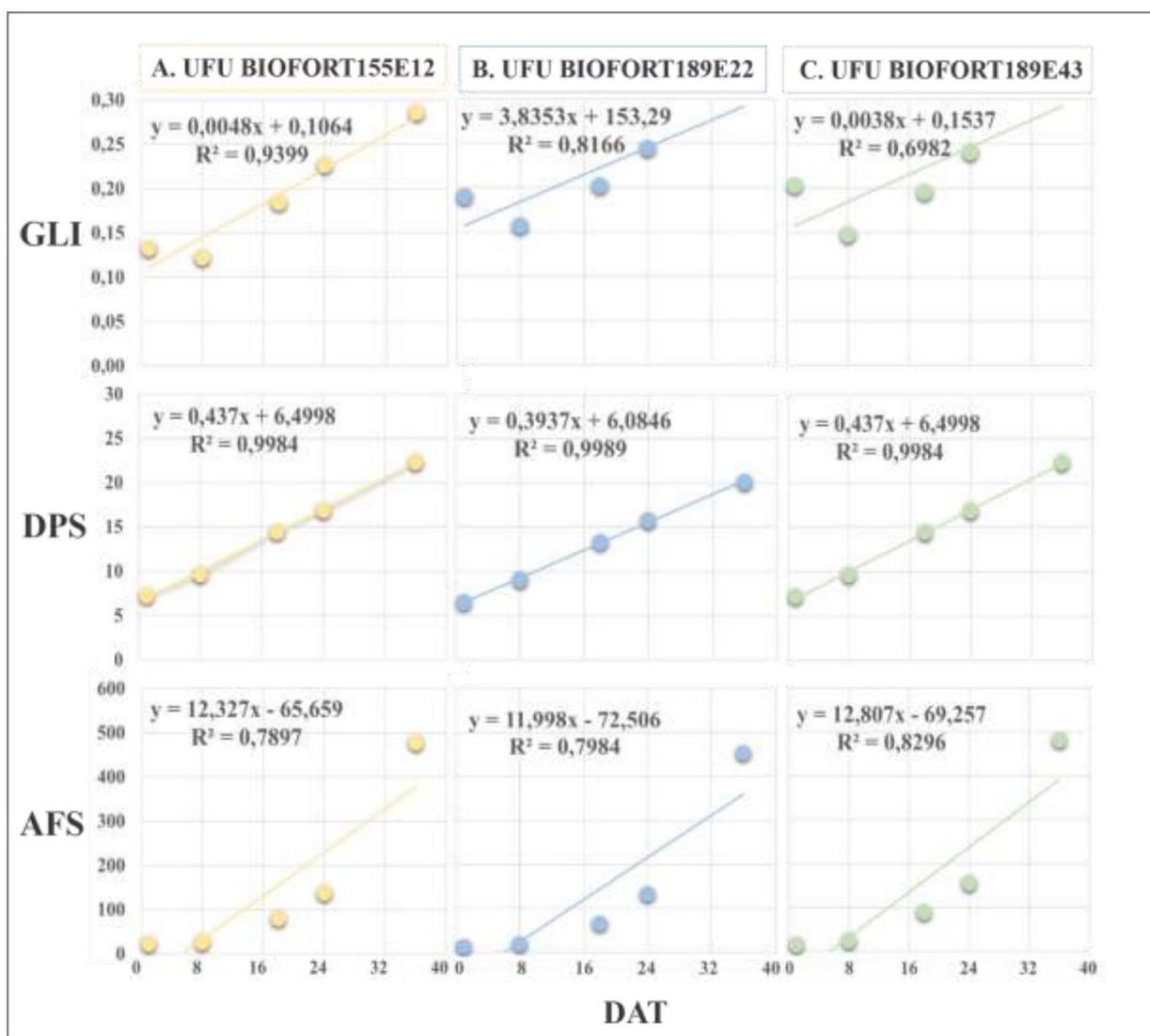
As imagens passaram por uma reclassificação ou remoção do solo de forma automatizada utilizando-se os índices de vegetação e a imagem RGB. Esta etapa foi realizada visando uma melhor reprodutividade e redução de ruídos na imagem (Fig. 6). Após análise dos valores de pixels no histograma obtidos pelos índices de vegetação, o índice HUE possibilitou a discriminação da planta e do solo, utilizando um valor de corte de 1,5 para formação da camada máscara.

A avaliação do DPS e da AFS extraídos por meio das imagens mostra um crescimento ao longo dos DAT. No primeiro voo (DAT 1), o diâmetro obtido pelo software QGis apresentou uma variação entre os genótipos de 5,6 a 9,21 cm; de 7,86 a 13 cm no segundo voo e no terceiro, quarto e quinto voo os valores variavam entre 10,6 a 18,56 cm, 11,1 a 21,5 cm e 11 a 24,6 cm, respectivamente. Já para AFS, observou-se os menores valores no primeiro voo (DAT 1) e os maiores valores encontrados no quinto voo (DAT 5) que variaram de 6,74 a 531,8 cm<sup>2</sup> entre os genótipos.

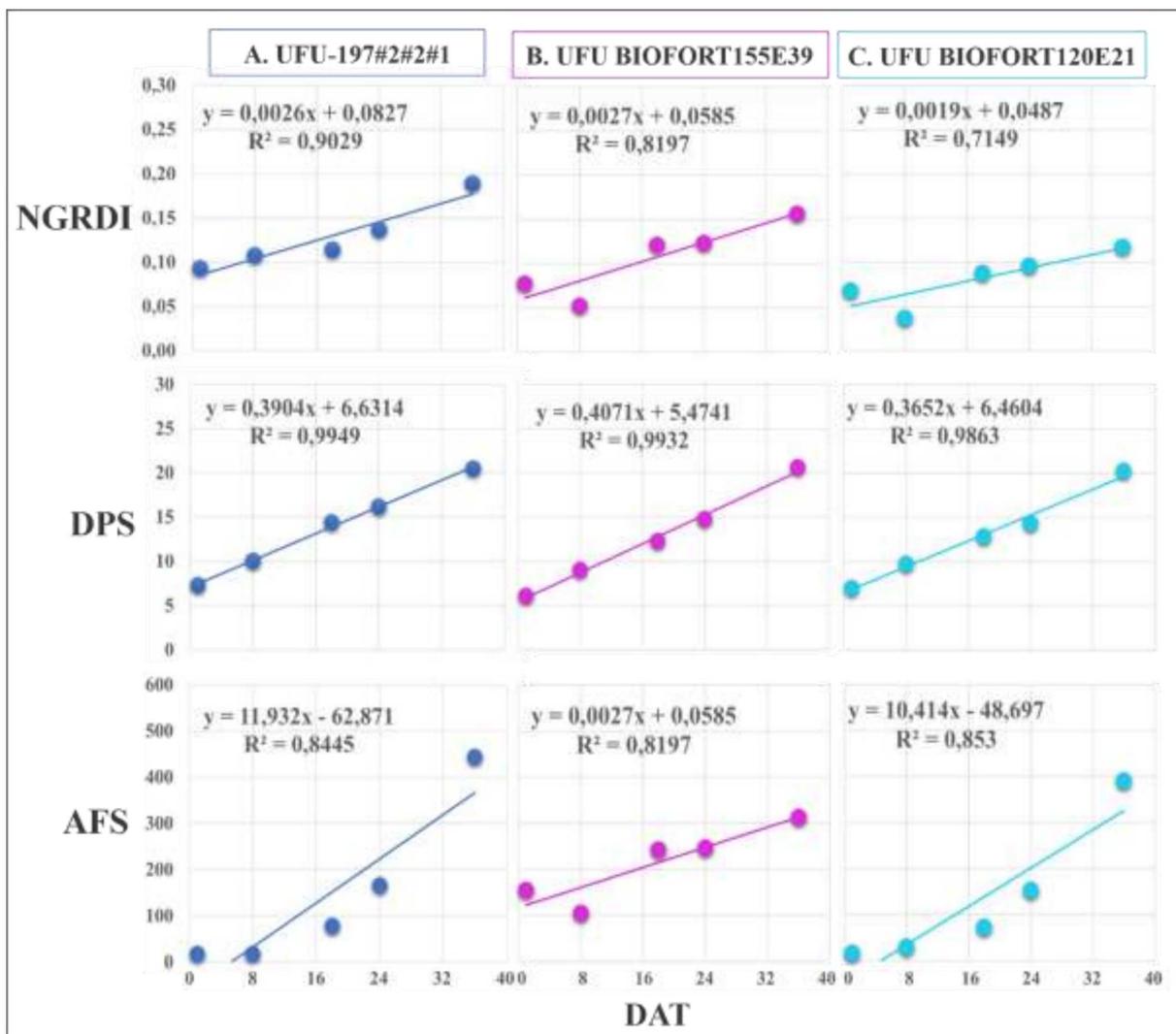
A obtenção dos valores de AFS e DPS provenientes das imagens foi realizado com eficiência. As equações de regressão apresentaram valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre 78 e 99% para os genótipos avaliados. No monitoramento da taxa de crescimento na cultura da alface houve coerência entre os índices de vegetação SI, GLI e NGRDI com os valores de DPS e AFS, observando-se incremento dos valores ao longo dos voos para os genótipos (Figura 7, 8 e 9).



**FIGURA 7.** Equações de regressão do Spectral Slope Saturation Index (SI), área foliar do software (AFS) (cm<sup>2</sup>) e diâmetro de planta (DPS) obtidos por imagem em diferentes dias após o transplântio (DAT). Os genótipos apresentados foram selecionados com base no seu desempenho para o acompanhamento da taxa de crescimento utilizando o índice de vegetação. A: superior (Grand Rapids), B: intermediário (UFU BIOFORT189E4) e C: inferior (UFU-206#1#5#1).



**FIGURA 8.** Equações de regressão do índice GLI Green Leaf Index (GLI), área foliar do software (AFS) ( $\text{cm}^2$ ) e diâmetro da planta (DPS) obtidos por imagem em diferentes dias após o transplante (DAT). Os genótipos apresentados foram selecionados com base no seu desempenho para o acompanhamento da taxa de crescimento utilizando o índice de vegetação. A: superior (UFU BIOFORT155E12). B: intermediário (UFU BIOFORT189E22) e C: inferior (UFU BIOFORT189E43).



**FIGURA 9.** Equações de regressão do índice Normalized Green Red Difference Index (NGRDI), área foliar do software (AFS) (cm<sup>2</sup>) e diâmetro da planta (DPS) obtidos por imagem em diferentes dias após o transplante (DAT). Os genótipos apresentados foram selecionados com base no seu desempenho para o acompanhamento da taxa de crescimento utilizando o índice de vegetação. A: superior (UFU-197#2#2#1), B: intermediário (UFU BIOFORT155E39) e C: inferior (UFU BIOFORT120E21).

Para o índice SI a cv. comercial Grand Rapids e o genótipo UFUBIOFORT189E48 se destacaram apresentando bom ajuste na regressão, sendo o  $R^2 = 93,5$  e  $90\%$  respectivamente. O genótipo UFU-206#1#5#1 apresentou equação com  $R^2 = 62,9\%$ , demonstrando que a regressão linear não explicou o comportamento do genótipo ao longo do seu ciclo (Fig. 7).

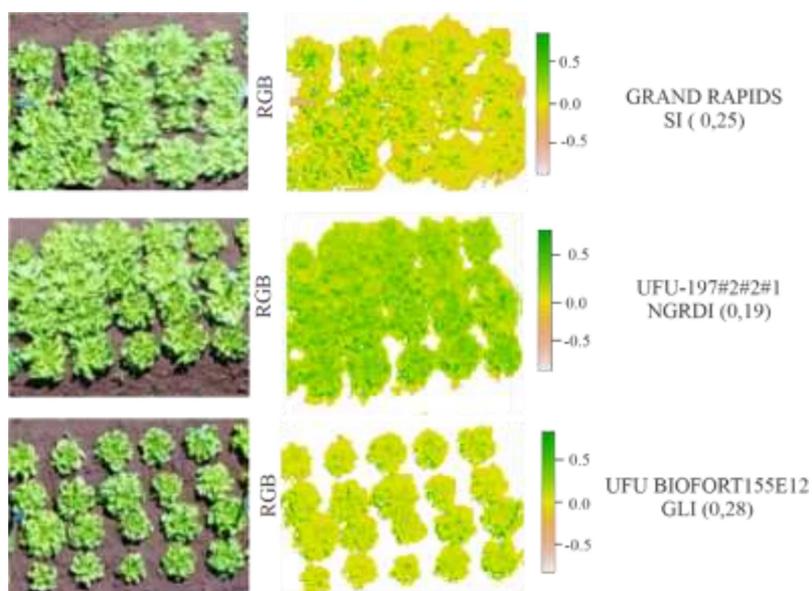
O índice GLI foi eficiente na determinação da cobertura vegetal ao longo do desenvolvimento e ponto de colheita dos genótipos UFU BIOFORT155E12 ( $R^2 = 94\%$ ) e UFU BIOFORT189E22 ( $R^2 = 81\%$ ). A equação de regressão do genótipo UFU BIOFORT189E43 referente ao índice GLI apresentou  $R^2 = 69,8\%$ .

O índice NGRDI foi bom para estimar o desenvolvimento dos genótipos UFU

BIOFORT155E39 e UFU 197#2#2#1 ( $R^2= 81,9$  e  $90,2\%$ , respectivamente) no monitoramento da cultura da alface utilizando imagens RGB. Comparado com os genótipos acima, o UFU BIOFORT155E21 apresentou equação de regressão com  $R^2= 71,4 \%$ .

### Validação da técnica de fenotipagem por imagem

Os índices de vegetação apresentaram comportamentos diferentes para os genótipos em estudo o que determinou a análise de cada genótipo individualmente (Figura 10).



**FIGURA 10.** Representação do comportamento dos índices de vegetação Spectral Slope Saturation Index (SI), Normalized Green Red Difference Index (NGRDI), Green Leaf Index (GLI) para genótipos de alface Grand Rapids, UFU- 197#2#2#1, UFU BIOFORT 155E12.

A cv. comercial Grand Rapids e os genótipos UFU BIOFORT189E48, UFU BIOFORT189E43, UFU BIOFORT155E39, UFU BIOFORT155E12, UFU- 206#1#5#1, UFU BIOFORT189E22, obtiveram altas correlações entre os valores de MV coletada em campo com AFS proveniente da análise por imagem (0,78, 0,81, 0,82, 0,88, 0,88, 0,99, 1,00, respectivamente). Verificou-se correlação alta e positiva entre o DPS proveniente da análise por imagem e o DP em campo. Esse comportamento foi observado para os genótipos UFU BIOFORT155E48, UFU- 206#1#5#1, UFU BIOFORT120E21, UFU BIOFORT155E43, UFU BIOFORT155E39, UFU BIOFORT189E22, (0,83, 0,85, 0,92, 0,98, 1,00, 1,00 respectivamente) (Tabela 4).

**TABELA 4.** Correlações *per se* entre os dados coletados no campo e dados obtidos por imagem 36 dias após o transplântio (DAT) de nove genótipos de alface verde. Diâmetro de planta no software (DPS), área foliar no software (AFS), Spectral Slope Saturation Index (SI), Normalized Green Red Difference Index (NGRDI), Green Leaf Index (GLI), Massa verde (MV), diâmetro de planta (DP), diâmetro da haste (DH), número de folhas (NF).

		MV	DP	DH	NF
UFU BIOFORT155E12	SI	0,88**	0,90**	0,89**	0,84**
	GLI	0,64*	0,60*	0,62*	0,69*
	NGRDI	0,77**	0,74**	0,75**	0,81**
	DPS	0,48*	0,52*	0,50*	0,42*
	AFS	0,88**	0,90**	0,89**	0,85**
UFU BIOFORT120E21	SI	0,89**	1,00*	0,67*	0,93**
	GLI	1,00*	0,88**	0,96**	0,98**
	NGRDI	0,99**	0,87**	0,97**	0,98**
	DPS	0,68*	0,92**	0,37*	0,75**
	AFS	0,68*	0,92**	0,37*	0,75**
UFU BIOFORT189E22	SI	-0,35 <sup>ns</sup>	-0,43 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,94 <sup>ns</sup>
	GLI	0,99**	0,98**	0,97**	0,55*
	NGRDI	1,00*	0,99**	0,95**	0,61*
	DPS	1,00*	1,00*	0,93**	0,66*
	AFS	1,00*	1,00*	0,90**	0,71**
UFU - 197#2#1#1	SI	-0,94 <sup>ns</sup>	-0,93 <sup>ns</sup>	-0,74 <sup>ns</sup>	-0,92 <sup>ns</sup>
	GLI	-0,72 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,93 <sup>ns</sup>	-0,75 <sup>ns</sup>
	NGRDI	-0,70 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,92 <sup>ns</sup>	-0,74 <sup>ns</sup>
	DPS	0,71**	0,04*	0,92**	0,74**
	AFS	0,59*	-0,11 <sup>ns</sup>	0,85**	0,63*
UFU BIOFORT155E39	SI	-0,56 <sup>ns</sup>	-0,64 <sup>ns</sup>	0,46*	-0,56 <sup>ns</sup>
	GLI	0,99**	0,97**	0,60*	0,99**
	NGRDI	0,97**	0,94**	0,69*	0,97**
	DPS	0,99**	1,00*	0,39*	0,99**
	AFS	0,88**	0,92**	0,00 <sup>ns</sup>	0,88**
UFU BIOFORT189E43	SI	-0,54 <sup>ns</sup>	-0,71 <sup>ns</sup>	0,82**	0,53*
	GLI	0,99**	1,00*	-0,97 <sup>ns</sup>	-0,99 <sup>ns</sup>
	NGRDI	0,98**	0,91**	-0,83 <sup>ns</sup>	-0,98 <sup>ns</sup>
	DPS	0,91**	0,98**	-1,00 <sup>ns</sup>	-0,90 <sup>ns</sup>
	AFS	0,82**	0,92**	-0,98 <sup>ns</sup>	-0,81 <sup>ns</sup>
UFU BIOFORT189E48	SI	0,98**	1,00*	1,00*	0,89**
	GLI	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,07*	-0,45 <sup>ns</sup>
	NGRDI	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,16*	-0,37 <sup>ns</sup>
	DPS	0,76**	0,83**	0,91**	0,57*
	AFS	0,81**	0,87**	0,94**	0,64*
UFU - 206#1#5#1	SI	0,87**	0,89**	0,76**	0,83**
	GLI	0,59*	0,55*	0,74**	0,65*
	NGRDI	0,79**	0,76**	0,90**	0,84**
	DPS	0,88**	0,85**	0,95**	0,91**
	AFS	0,99**	0,99**	1,00*	1,00*
GRAND RAPIDS	SI	-0,33 <sup>ns</sup>	-0,37 <sup>ns</sup>	-0,79 <sup>ns</sup>	0,24*
	GLI	-0,11 <sup>ns</sup>	0,73**	0,98**	-0,64 <sup>ns</sup>
	NGRDI	0,03*	0,63*	0,94**	-0,53 <sup>ns</sup>
	DPS	0,97**	-0,89 <sup>ns</sup>	-0,53 <sup>ns</sup>	0,94**
	AFS	0,78**	-1,00 <sup>ns</sup>	-0,84 <sup>ns</sup>	1,00*

\*: significativo a 5% de probabilidade.; \*\*: significativo, a 1% de probabilidade, ambos pelo teste t Student.; <sup>ns</sup>: não significativo.

Foi observado correlação positiva entre os índices de vegetação SI, GLI e NGRDI e as variáveis determinadas em campo: MV, DP, DH e NF. Os valores apresentaram variação de 0,55 a 1,0 para os genótipos UFU BIOFORT155E12; UFU BIOFORT120E21 e UFU-206#1#5#1 em relação ao índice SI. Verificou-se correlação positiva entre os índices GLI e NGRDI e todas as características analisadas em campo para os genótipos UFU BIOFORT189E22 e UFU BIOFORT155E39, sendo que os maiores valores de correlação foram observados na associação destes índices com a MV em UFU BIOFORT189E22 (0,99 e 1,00, respectivamente); e em UFU BIOFORT155E39 (0,99 e 0,97, respectivamente). Este segundo genótipo também apresentou os maiores valores de correlação na associação com o NF (0,97 para NGRDI e 0,99 para o GLI) (Tabela 4).

O DPS e AFS correlacionou-se positivamente com MV, DP, DH e NF. Este resultado foi observado nos genótipos UFU BIOFORT155E12, UFU BIOFORT120E21, UFU BIOFORT189E22, UFU BIOFORT189E48 e UFU – 206#1#5#1. Em Grand Rapids, os índices GLI e NGRDI correlacionaram-se de forma positiva com DP e DH. Em adição, DPS e AFS apresentaram altas correlações com MV (0,97 e 0,78, respectivamente) e NF (0,94 e 1,0, respectivamente) (Tabela 4).

## **DISCUSSÃO**

O clima foi pouco favorável para o estudo, considerando a temperatura ótima para o desenvolvimento da cultura da alface em torno de 18°C (Fontes e Nick, 2019). Apesar da irregularidade da condição climática as plantas não sofreram alterações e apresentaram boas condições durante a execução do experimento.

As características agronômicas apresentadas na cultura da alface podem estar relacionadas ao clima, fator genético e fotoperíodo (Queiroz et al., 2014; Oliveira et al., 2003). Essas características definem e são utilizadas como ferramentas para a seleção do produto. As alfaces com maior massa verde são frequentemente escolhidas pelo consumidor (Oliveira et al., 2003).

O maior número de folhas na planta de alface impacta de forma positiva em sua comercialização. Essa característica pode ser utilizada como parâmetro para definir adaptações climáticas dos genótipos (Diamante et al., 2013). Outros estudos mostraram genótipos com melhor desempenho para número de folhas quando comparados com a cv. comercial Grand Rapids (Medeiros et al., 2008; Ferreira et al., 2013; Mendes et al., 2021). Esse resultado

demonstra eficiência no melhoramento genético da cultura da alface, gerando produtos de maior qualidade comparado aos existentes no mercado.

O sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta com potencial para auxiliar no monitoramento e tomada de decisões em cultivos agrícolas. A avaliação do desenvolvimento das plantas por imagens está atrelada à registros que devem ser realizados ao longo do tempo (Pandit et al., 2018). Diante disso, os índices de vegetação consistem numa importante ferramenta na avaliação do desenvolvimento vegetativo e identificação do ponto de colheita na cultura da alface.

A análise do conjunto de dados permitiu identificar a existência de variabilidade genética entre os genótipos caracterizados. Esta informação possibilita validar o uso da fenotipagem utilizando imagens (Maciel et al., 2019; Clemente et al. 2021). Além disso, conhecer a variabilidade genética entre os genótipos é essencial para a seleção dos melhores genótipos em programas de melhoramento (Araújo et al., 2016).

Foi identificada variabilidade no desenvolvimento vegetativo entre as linhagens avaliadas. O alto valor de correlação cofenética apresentado demonstra maior confiabilidade no agrupamento gerado, sendo que quanto mais próximos esses valores são da unidade melhor a representatividade e a qualidade do agrupamento (Cruz et al., 2014).

Foi observado semelhança no desenvolvimento vegetativo das linhagens para os índices GLI e NGRDI. Comportamentos similares dos índices que utilizam a banda visível RGB (vermelho, azul e verde) pode ser explicada pelo fato de possuírem características de detecções semelhantes para vegetação. O índice GLI tem potencial para avaliar a vegetação e possui boa correlação com o teor de clorofila presente nas plantas (Hunt et al., 2011; Ballesteros et al., 2018). O índice NGRDI possui forte relação com os teores de clorofila em diferentes épocas do desenvolvimento da cultura, além de apresentar alto potencial para estimar a biomassa da vegetação (Hunt et al., 2005; Poley e Mcdermid, 2020). Já o índice HUE foi utilizado em diferentes coberturas vegetais para diferenciar os pixels de vegetação e não vegetação (Beniaich et al., 2019).

Os índices de vegetação analisados por meio de imagens se expressaram de forma distinta entre os genótipos de alface. Isso acontece por exemplo, diante de diferentes níveis de carotenoides (Maciel, et al. 2019; Clemente et al., 2021). Ao estudarem a cultura do trigo, autores demonstraram que os valores do índice de vegetação NDVI entre as cultivares foram influenciados pelos estádios fenológicos da cultura e a quantidade de nitrogênio presente no solo (Reznick et al., 2021; Rissini et al., 2015).

A fenotipagem de plantas utilizando imagens comparada com o método de fenotipagem convencional é mais consistente e pode ser útil em programas de melhoramento genético (Makanza, 2018; Walter et al., 2015). Em estudo realizado com alface, os autores verificaram correlação de 0,68 entre os teores de antocianina quantificados em laboratório e os índices de vegetação CIG, CIV, GNDVI e NDVI (Clemente et al., 2021).

Pesquisas com informações extraídas de imagens demonstraram altas correlações dos índices com diferentes características fenotípicas em algumas culturas. No capim brachiaria foram observadas correlações de 0,92 entre os escores de controle (%) e os valores do índice NDVI extraído via imagem (Alvarenga, 2021). No milho foram utilizadas imagens digitais para avaliar o desempenho da cultura (Makanza et al., 2018).

Na cultura da alface estudos tem demonstrado que as mensurações de área foliar da planta são realizadas de forma tradicional pela contagem de folhas e medidores eletrônicos podendo ou não serem destrutíveis (Zuffo et al., 2016). Porém, em grandes áreas de plantio, os produtores têm dificuldades em realizar esse monitoramento, ocorrendo desperdícios e prejuízos importantes (Aliotte et al., 2022). Neste contexto, a avaliação da área foliar e do diâmetro de planta obtidos por meio de imagens torna-se uma ferramenta rápida, eficaz e de baixo custo para o uso da fenotipagem de plantas. Os resultados apresentados neste trabalho sugerem que a metodologia de coleta de informações por meio de imagens conseguiu monitorar de forma adequada o desenvolvimento das plantas de alface ao longo do tempo.

O acompanhamento da área foliar em diferentes anos em outras culturas, como na do eucalipto, utilizando os índices de vegetação NDVI, SRI e SAVI, apresentaram equações com  $R^2$  que variaram entre 6,1% e 67,2% (Berger, 2019). Neste trabalho foi obtido valores de  $R^2$  para área foliar obtida por imagem variando de 7,8 a 92%. Este resultado mostra eficiência na fenotipagem por imagem na caracterização do desenvolvimento das plantas de alface.

As informações obtidas no presente trabalho indicam que a tecnologia de fenotipagem utilizando imagem RGB para análise e obtenção de informações referentes a índices de vegetação, área foliar e diâmetro de planta de alface apresenta grande potencial. Estes resultados facilitam o acompanhamento da taxa de crescimento das plantas de alface e possibilita determinar o seu ponto de colheita. A fenotipagem por imagem é uma tecnologia e ferramenta de baixo custo utilizando sensores RGB, que pode auxiliar em tomada de decisões, redução de mão de obra e diminuição de custos existentes nas lavouras. Além disso, é ferramenta útil no melhoramento genético facilitando a caracterização e seleção de plantas.

## CONCLUSÃO

Os índices de vegetação SI, GLI e NGRDI foram eficientes para monitorar a taxa de crescimento e determinar o ponto de colheita em diferentes genótipos de alface verde.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCSEM – Associação brasileira do comércio de sementes e mudas. 2021, nov 20. Dados do setor. Disponível em: <http://www.abcsem.com.br/dados-do-setor>. Acesso em: 10 de novembro de 2021.

ALLOTTE, J. T. B.; FILASSI, M.; OLIVEIRA, A. L. R. Caracterização da logística de distribuição de frutas, legumes e verduras na Central de Abastecimento de Campinas/SP. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, e252673, 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.252673>.

ALVARENGA, CB.; MUNDIM, G.S. M.; SANTOS, E. A.; GALLIS R. B. A.; ZAMPIROLI, R.; RINALDI, P.C.N.; PRADO, J.R. Normalized difference vegetation index for desiccation evaluation with glyphosate + 2,4-D in magnetized spray solution. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e246579, 2021. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.246579>.

ARAÚJO, J.C.; TELHADO, S.F.P.; SAKAI, R.H.; LEDO, C.A.S.; MELO, P.C.T. Univariate and multivariate procedures for agronomic evaluation of organically grown tomato cultivars. **Horticultura Brasileira**, vol. 34, n. 3, p. 374-380, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362016003011>.

BALLESTEROS, R.; ORTEGA J.F.; HERNANDEZ, D.; CAMPO A. Del.; MORENO, M.A. Combined use of agro-climatic and very high-resolution remote sensing information for crop monitoring. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, vol. 72, p. 66–75, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.019>.

BENIAICH, A.; SILVA, M. L. N.; AVALOS, F. A. P.; MENEZE, M. D.; CÂNDIDO, B. M. 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. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 40, n.1, p. 49-66, 2019. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p49>.

BERGER, R.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; CANDEIAS, A. L. B.; RUBILAR, R. Índices de vegetação para a estimativa do índice de área foliar em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 885-899, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509816942>.

CAMARA, G. R.; BUSATO, L. M.; ALMEIDA, B. F., MORAES, W. B. Elaboration and validation of diagrammatic scale for lettuce powdery mildew. **Summa Phytopathol**, v. 44, n. 2, p. 116-121, 2018. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/175851>.

CLEMENTE, A.A.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A.C. S.; GALLIS R. B. A.; MEDEIROS, L. M.; Duarte, J.G. High-throughput phenotyping to detect anthocyanins, chlorophylls, and carotenoids in red lettuce germplasm. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 103, 102533, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102533>.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. Acta. **Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa : Editora UFV, 2012. 514 p.

DHONDT, S.; WUYTS, N.; INZÉ, D. Cell to whole-plant phenotyping: the best is yet to come. **Trends in Plant Science**, v.18, p. 428-439, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.04.008>.

DIAMANTE, M. S.; SEABRA JR, S.; INAGAKI, A. M.; SILVA, M. B.; DALLACORT, R. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 133-140, 2013.

ESCADAFAL, R.; BELGHITH, A.; BEM, M. H. Indices 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**, p.17-21, 1994.

FERREIRA, L. L.; ANICETO, R. R.; MONTENEGRO, I. N. A.; RIBEIRO, T. S.; ALMEIDA, D. G.; PORTO, V. C. N. Comportamento de variedades de alface na semeadura de março no município de Areia-PB. **Scientia Plena**. 9, 040202-1, 2013.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa : Editora UFV, 2013. 421 p.

FONTES, P. C. R., NICK, C., **Olericultura Teoria e Prática**. 2. ed. Viçosa : Editora UFV, 2019. 632 p.

HUNT, E. R.; HIVELY, W. DEAN; MCCARTY, G. W.; DAUGHTRY, C. S. T.; FORRESTAL, P. J., KRATOCHVIL, R. J., CARR, J. L., ALLEN, N. F., FOX-RABINOVITZ, J. R., MILLER, C. D. NIR-Green-Blue High-Resolution Digital Images for Assessment of Winter Cover Crop Biomass. **Geoscience and Remote Sensing**, v. 48, p. 86–98, 2011. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.48.1.86>.

HUNT, E.R.; CAVIGELLI JR.; M., DAUGHTRY, C.S.T.; MCMURTREY, J. E.; WALTHALL, C.L. 2005. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v. 6, p. 359–378, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-005-2324-5>.

LOUHAICHI, M.; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. SPATIALLY located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto Internacional**, v. 16, p. 65-70, 2001. <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. Image phenotyping of inbred red lettuce lines with genetic diversity regarding carotenoid levels. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 81, p. 154-160, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.016>.
- MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; GALLIS, R. B. A.; PEREIRA, L. M.; SALES, V. F. Programa de computador BG a Biofort. Depositante: Universidade Federal de Uberlândia. BR512019002403-6. Depósito: 01 fev. 2019. Concessão: 23 out. 2019.
- MAKANZA, R.; ZAMAN-ALLAH, M.; CAIRNS, J.E.; EYRE, J.; BURGUENO, J.; PACHECO, A.; DIEPENBROCK, C.; MAGOROKOSSHO, C.; TEREKEGNE, A.; OLSEN, M.; PRASANNA, B. M. High-throughput method for ear phenotyping and kernel weight estimation in maize using ear digital imaging. **Plant Methods**, v. 14, n. 49, 2018. <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0317-4>.
- MATIAS, F.I.; caraza harter, M.V.; ENDELMAN, J.B. FIELDImageR: An R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. **The Plant Phenome Journal**, v. 3, e20005, 2020. <https://doi.org/10.1002/ppj2.20005>.
- MEDEIROS, D.C.; FREITAS, K.C.S.; VERAS, F.S.; ANJOS, R.S.B.; BORGES, R. D.; CAVALCANTE, N. J. G.; NUNES, G.H.S.; FERREIRA, H.A. Qualidade de mudas de alface em função de substratos com e sem biofertilizante. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 186-189, 2008.
- MENDES, F. T. C.; FREITAS, A. S.; ALCANTRA, E.; MARQUES, R. F. P. V.; OLIVEIRA, A. S.; BARBOSA, R. A.; PADUA, M. C.; JUNQUEIRA, R. R.; 2021. Desempenho agrônômico de cultivares de alface em aquaponia. **Research, Society and Development**, v. 10, p. 2525 – 3409, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18176>.
- OLIVEIRA, A. C.B.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M.W.; GARCIA, N. C. P.; GARCIA, S. L. R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, p. 211-217, 2003.
- PANDIT, S.; TSUYUKI, S.; DUBE, T. Estimating above-ground biomass in sub-tropical buffer zone community Forests, Nepal, using Sentinel 2 data. **Remote Sens**, v. 10, 2018. <http://dx.doi.org/10.3390/rs10040601>.
- POLEY, L. G., Mcdermid, G. J. A Systematic Review of the Factors Influencing the Estimation of Vegetation Aboveground Biomass Using Unmanned Aerial Systems. **Remote Sens**, v. 12, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12071052>.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. 2012. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176 p.
- QUEIROZ, J. P. S.; COSTA, A. J. M.; NEVES, L. G. N.; SEABRA JUNIOR, S.; BARELLI, M. A. A. Estabilidade fenotípica de alfaves em diferentes épocas e ambientes de cultivo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 276-283, 2014.

REZNICK, J. P. K.; PAULETTI, V.; BARTH, G. Field estimate with NDVI of grain yield and quality of wheat flour. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 25, p. 801-806, 2021. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n12p801-806>.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENU, A. M. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1703-1713, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140686>.

SOUSA, C. A. F.; CUNHA, B. A. D. B.; MARTINS, P. K. M.; MOLINARI, H. B. C.; KOBAYASHI, A. K.; SOUZA JR, M. T. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 660-672, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p660-672>.

TUCKER, C. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127-150, 1979. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0).

WALTER, A.; LIEBISCH, F.; HUND, A. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. **Plant Methods**. v. 11 , p. 1 -11, 2015. <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0056-8>.

ZUFFO, A. M.; JUFFO JÚNIOR, J. M.; SILVA, L. M. A.; SILVA, R. L.; MENEZES, K. O. Análise de crescimento em cultivares de alface nas condições do sul do Piauí. **Rev. Ceres**, v. 63, p. 145 – 153, 2016.