

Protocolo de processamento de imagens RGB aéreas para identificação de genótipos potenciais de milho em fase vegetativa

Barbara Nascimento Santos^a, Nartênia Susane Costa Aragão^b, Mário Sérgio Rodrigues Barreto^c, Henrique Rocha Azevedo Santos^d, Jacilene Francisca Souza Santos^e, José Jairo Florentino Cordeiro Junior^f e Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira^g

- c Graduando em Engenharia Agronômica na Universidade Federal do Sergipe – UFS. E-mail: <u>mzs.esc@gmail.com</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0002-4037-4328</u>.
- d Graduando em Engenharia Agronômica na Universidade Federal do Sergipe – UFS. E-mail: <u>rique999@academico.ufs.br</u>.
- Doutoranda em Agricultura e Biodiversidade na Universidade Federal do Sergipe – UFS. E-mail: jacilenesantos 14@hotmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5109-3663.
- f Doutor em Engenharia Agrícola. Professor na Universidade Federal de Sergipe – UFS. E-mail: jairofcordeiro@academico.ufs.br. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1138-8309.
- g Doutor em Agronomia. Professor na Universidade Federal de Sergipe UFS. E-mail: <u>gustavooliveira@academico.ufs.br</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0002-3839-6261</u>.

RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar v. 9, n. 2 2023. ISSN: 2448-0452

Mestranda em Agricultura e Biodiversidade na Universidade Federal do Sergipe – UFS. E-mail: <u>barbaranascimento2804@gmail.com</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0002-1689-7399</u>.

b Graduanda em Engenharia Agronômica na Universidade Federal do Sergipe – UFS. E-mail: <u>nartenia.aragao@gmail.com</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0003-3409-3236</u>.

Resumo: Objetivou-se avaliar um protocolo de imagens RGB, para identificação da produtividade de grãos do milho antes da maturidade fisiológica em região semiárida. Utilizou-se o DBC, com duas repetições para avaliar 50 genótipos de milho. Realizou-se dois voos em diferentes datas, 27 e 46 dias após o plantio (DAP) com alturas de 40, 60 e 80 m. Utilizou-se 29 índices de vegetação. A análise de variância evidenciou a variabilidade genética entre os genótipos, permitindo a seleção de materiais promissores. Com as repetibilidades dos índices de vegetação, determinou-se a melhor data para voo. As estimativas dos BLUP temporais, permitiram categorizar os materiais como sendo de alto ou baixo desempenho, considerando a média da produtividade de grãos e a distinção dos materiais mais produtivos durante o estágio fenológico vegetativo da cultura. Recomenda-se, portanto, a realização de voos com 27 DAP, a uma altura de 80 m. Os índices de vegetação TGI e Green demonstraram ser indicativos para previsão precoce do potencial produtivo dos materiais. Indica-se manter a área experimental livre de interferências bióticas e abióticas e conduzir voos adicionais, otimizando assim a fenotipagem por imagens aéreas.

Palavras-chave: Melhoramento de plantas. Índices de vegetação. Zea mays L.

Aerial RGB image processing protocol for identifying potential maize genotypes in the vegetative stage

Barbara Nascimento Santos^a, Nartênia Susane Costa Aragão^b, Mário Sérgio Rodrigues Barreto^c, Henrique Rocha Azevedo Santos^d, Jacilene Francisca Souza Santos^e, José Jairo Florentino Cordeiro Junior^f and Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira^g

Abstract: The aim was to evaluate an RGB image for identify grain yield potential in maize before physiological maturity in a semi-arid region. A randomized complete block design with two replications was employed, to access 50 maize genotypes. Two drone flights were conducted at different time points, specifically 27 and 46 days after planting (DAP), at flight heights of 40, 60, and 80 meters. A total of 29 vegetation indices were used in the analysis.

Master's student in Agriculture and Biodiversity at the Federal University of Sergipe – UFS. Email: <u>barbaranascimento2804@gmail.com</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0002-1689-7399</u>.

b Student of Agricultural Engineering at the Federal University of Sergipe – UFS. Email: <u>nartenia.aragao@gmail.com</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0003-3409-3236</u>.

c Student of Agricultural Engineering at the Federal University of Sergipe – UFS. Email: <u>mzs.esc@gmail.com</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0002-4037-4328</u>.

d Student of Agricultural Engineering at the Federal University of Sergipe – UFS. Email: rique999@academico.ufs.br.

e PhD student in Agriculture and Biodiversity at the Federal University of Sergipe – UFS. Email: jacilenesantos 14@hotmail.com.

f PhD in Agricultural Engineering. Professor at the Federal University of Sergipe – UFS. Email: jairofcordeiro@academico.ufs.br. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1138-8309.

g PhD in Agronomy. Professor at the Federal University of Sergipe – UFS. Email: <u>gustavooliveira@academico.ufs.br</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0002-3839-6261</u>.

Analysis of variance revealed genetic variability among the genotypes, enabling the selection of promising materials. By assessing the repeatability of vegetation indices, the optimal flight date was determined. Temporal BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) allowed for the categorization of materials as high or low performers, considering the mean grain yield, and identified the most productive materials during the vegetative phenological stage of the crop. It is recommended, to conduct flights at 27 DAP at an height of 80 meters. The TGI (Triangular Greenness Index) and Green indices proved to be indicative of early predictions of material productivity. It is suggested to maintain the experimental area free from biotic and abiotic interferences and to conduct additional flights, thus optimizing aerial image phenotyping.

Keywords: Plant breeding. Vegetation indices. Zea mays L.

Protocolo de procesamiento de imágenes aéreas RGB para la identificación de potenciales genotipos de maíz en estado vegetativo

Barbara Nascimento Santos^a, Nartênia Susane Costa Aragão^b, Mário Sérgio Rodrigues Barreto^c, Henrique Rocha Azevedo Santos^d, Jacilene Francisca Souza Santos^e, José Jairo Florentino Cordeiro Junior^f y Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira^g

Resumen: El objetivo fue evaluar un protocolo de imágenes RGB para identificar la productividad del grano de maíz antes de la madurez fisiológica en una región semiárida. Se utilizó DBC, con dos repeticiones para evaluar 50 genotipos de maíz. Se realizaron dos vuelos en diferentes fechas, 27 y 46 días después de la siembra

- a Estudiante de maestría en Agricultura y Biodiversidad de la Universidad Federal de Sergipe – UFS. Correo electrónico: <u>barbaranascimento2804@gmail.com</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0002-1689-7399</u>.
- b Graduando en Ingeniería Agrícola de la Universidad Federal de Sergipe
 UFS. Correo electrónico: <u>nartenia.aragao@gmail.com</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0003-3409-3236</u>.
- c Graduado en Ingeniería Agrícola por la Universidad Federal de Sergipe UFS. Correo electrónico: <u>mzs.esc@gmail.com</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0002-4037-4328</u>.
- d Graduado en Ingeniería Agrícola por la Universidad Federal de Sergipe UFS. Correo electrónico: rique999@academico.ufs.br.
- Estudiante de Doctorado en Agricultura y Biodiversidad en la Universidad Federal de Sergipe – UFS. Correo electrónico: jacilenesantos 14@hotmail.com.
- f Doctorado en Ingeniería Agrícola. Profesor de la Universidad Federal de Sergipe – UFS. Correo electrónico: jairofcordeiro@academico.ufs.br. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0002-1138-8309</u>.
- g Doctor en Agronomía. Profesor de la Universidad Federal de Sergipe UFS. Correo electrónico: <u>gustavooliveira@academico.ufs.br</u>. ORCID: <u>https://orcid.org/0000-0002-3839-6261</u>.

(DAP) con alturas de 40, 60 y 80 m. Se utilizaron 29 índices de vegetación. El análisis de varianza destacó la variabilidad genética entre genotipos, lo que permitió la selección de materiales prometedores. Con la repetibilidad de los índices de vegetación se determinó la mejor fecha para el vuelo. Las estimaciones del BLUP temporal permitieron categorizar los materiales como de alto o baio rendimiento, considerando la productividad promedio del grano y la distinción de los materiales más productivos durante la etapa fenológica vegetativa del cultivo. Por ello se recomienda realizar vuelos a las 27 DAP, a una altura de 80 m. Los índices TGI y Vegetación verde resultaron indicativos para la predicción temprana del potencial productivo de los materiales. Se recomienda mantener el área experimental libre de interferencias bióticas v abióticas y realizar vuelos adicionales, optimizando así el fenotipado mediante imágenes aéreas.

Palabras clave: Mejoramiento vegetal. Índices de vegetación. Zea mays I.

1. Introdução

No contexto brasileiro, o milho (*Zea mays* L) tem se destacado consistentemente com resultados satisfatórios ao longo dos anos, como evidenciado nos dados fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (2023), que apresenta estimativas para uma área plantada de aproximadamente 21.975 milhões de hectares e uma produção total de 125.536 milhões de toneladas para a safra 22/23, com uma produtividade média de 5.713 toneladas por hectare. Na região Nordeste do país, no Estado de Sergipe, por exemplo, espera-se uma média de rendimento de 5.209 kg por hectare em uma área de aproximadamente 182.2 milhões de hectares.

Na agricultura familiar, o cultivo do milho se destaca pela presença marcante nos campos de produção, servindo como fonte de renda e alimentação. Apesar de uma produtividade dentro da média nacional, ainda existem limitações para alcançar todo o potencial produtivo (Silva et al., 2019). Essas limitações podem ser atribuídas a restrições tecnológicas entre os agricultores ou mesmo pelas disparidades educacionais.

Para abordar essa questão, estão sendo desenvolvidas e aplicadas alternativas tecnologias que oferecem viabilidade econômica e eficiência proporcional competitiva em cenário comercial ou redução de custos de produção. Como resultado, diversos estudos têm demonstrado resultados positivos da aplicação de imagens capturadas por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). Essa abordagem tem sido amplamente explorada para monitorar várias culturas, fornecendo informações em tempo real sobre questões como falhas no estande de plantas, estresses hídricos e nutricionais, infestações por pragas e outros fatores que podem afetar a produtividade de grãos (Maes et al., 2019; Qiu et al., 2021; Furuya et al., 2021).

Dessa forma, torna-se evidente a importância de realizar estudos relacionados à fenotipagem de alto rendimento por meio

de imagens, visando a seleção de materiais com potencial produtivo. Portanto, nesse trabalho objetivou-se avaliar e propor um protocolo de processamento de imagens RGB aéreas (ou capturadas via VANT) para identificação de genótipos com alta produtividade de grãos do milho antes da maturidade fisiológica em região semiárida.

2. Metodologia

2.1 Descrição da área, material genético e delineamento experimental

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Embrapa Semiárido (Figura 1), localizada no município de Nossa Senhora da Glória, Sergipe (10° 12' 50.6" S de latitude e 37° 10' 03.2" W de longitude e altitude média de 210 m), Brasil, na safra de 2022.

O clima da região é caracterizado como tropical quente e seco, classificado como As de acordo com a tipificação de Alvares et al. (2013), sendo o padrão climático na área marcado por chuvas no inverno e estiagem durante o verão.

No estudo, o delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), com duas repetições. Cada parcela experimental consistia em duas fileiras de cinco metros de comprimento, resultando em 50 plantas em cada parcela. Estas foram dispostas com um espaçamento de 0,20 m entre plantas e 0,70 m entre linhas.

Em relação ao manejo de plantas daninhas no experimento, esse processo foi inicialmente conduzido manualmente. Posteriormente, recorreu-se à aplicação de herbicida para um controle mais eficaz. Foram empregados 50 genótipos de milho, que englobam tanto variedades experimentais quanto comerciais, disponibilizados pela Embrapa Milho e Sorgo (Tabela 1).



Figura 1 – Localização geográfica da área experimental na fazenda da Embrapa Semiárido em Nossa Senhora da Glória/ SE

Fonte: Autores.

Tabela 1 – Materiais utilizados no experimento implantado na Fazenda Experimental da Embrapa Semiárido, em Nossa Senhora da Glória, na safra de 2022

N°	Genótipos	Tipo de grão	Tecnologia	Empresa
1	GNZ7730Vip3	Semi-duro/ Alaranjado	Vip3	GENEZE
2	GNZ7740Vip3	Semi-duro/ Alaranjado	Vip3	GENEZE
3	GNZ7720Vip3	Semi-duro/ Alaranjado	Vip3	GENEZE
4	BRS3046 Saboroso	Dentado/ Amarelo Alaranjado	_	EMBRAPA
5	BRS2022	Semi-duro/ Alaranjado	-	EMBRAPA
6	P3707VYH	Duro/ Amarelo Alaranjado	LEPTRA	Pioneer
7	NS73ViP3	Semi-duro/ Amarelo Alaranjado	Vip3	Nidera
8	NS45ViP3	Semi-duro/ Amarelo	Vip3	Nidera

N°	Genótipos	Tipo de grão Tecnologia		Empresa	
		Alaranjado			
9	30A37PWU	Semi-duro/ Amarelo Alaranjado	i-duro/ Amarelo POWERCOR Alaranjado E		
10	MG607PWU	Semi-duro/ Amarelo Alaranjado	POWERCOR E	Morgan	
11	FS533PWU	Semi-duro/ Amarelo Alaranjado	POWERCOR E	FORSEED	
12	FS512PWU	Semi-duro/ Alaranjado	POWERCOR E	FORSEED	
13	SHS7940Pro3	Semi-dentado/ Alaranjado	VTPRO3	Santa Helena	
14	SHS8010Pro3	Semi-duro/ Alaranjado	Vip3	Santa Helena	
15	SHS5570RR	Semi-duro/ Alaranjado	RR	Santa Helena	
16	BM270	Semi-duro/ Alaranjado	-	biomatrix	
17	BM207	Semi-duro/ Alaranjado	_	biomatrix	
18	BM3066Pro2	Dentado/ Amarelo		biomatrix	
19	BM930Pro3	Semi-dentado/ Amarelo	VTPRO3	biomatrix	
20	BM880Pro3	Semi-duro/ Alaranjado	VTPRO3	biomatrix	
21	BM270Pro2	Semi-duro/ Alaranjado	VTPRO3	biomatrix	
22	BM815Pro2	Semi-duro/ Alaranjado	Pro2	biomatrix	
23	BM709Pro2	Semi-dentado/ Amarelo	Pro2	biomatrix	
24	BM990Vip3	Semi-duro/ Alaranjado	Vip3	biomatrix	
25	AG8701Pro4	Semi-dentado/ Amarelo Alaranjado	VTPRO4	Agroceres	
26	AG8480Pro4	Semi-dentado	VT PRO4	Agroceres	
27	NK455Vip3	Semi-duro/ Alaranjado	Vip3	Syngenta	
28	NK525Vip3	Semi-duro/ Alaranjado	Vip3	Syngenta	
29	NK555Vip3	Semi-duro/ Amarelo Alaranjado	Vip3	Syngenta	
30	NK511Vip3	Semi-duro/ Laranja	Vip3	Syngenta	
31	NK508	Amarelo Alaranjado	_	Syngenta	
32	FormulaVip3	-	Experimental	Syngenta	
33	NK505Vip3	Duro/ Laranja	Vip3	Syngenta	
34	NK467Vip3	Semi-duro/ Amarelo	Vip3	Syngenta	

Protocolo de processamento de imagens RGB

N°	Genótipos	Tipo de grão Tecnolo		Empresa
		Alaranjado		
35	Hibrido1641	-	Experimental	-
36	SXC2320Vip3	-	Experimental	-
37	NS80Vip3	Semi-duro/ Laranja Amarelado	Vip3	Nidera
38	NS75Vip3	Semi-duro/ Amarelo Alaranjado	Vip3	Nidera
39	Hibrido6101	-	Experimental	-
40	Hibrido2241	-	Experimental	-
41	FerozVip3	Duro/ Alaranjado	Vip3	Syngenta
42	NS91Vip3	Semi-duro/ Amarelo	Vip3	Nidera
43	NS88Vip3	Semi-duro/ Laranja	Vip3	Nidera
44	Agroeste1780Pr o3	Semi-dentado/ Amarelo Alaranjado	VT PRO3	Agroeste
45	Agroeste1868Pr o3	Semi-dentado/ Amarelo Alaranjado	VT PRO3	Agroeste
46	DKB335Pro3	Dentado/ Amarelo	VT PRO3	DKB
47	DKB360Pro3	Dentado/ Amarelo Alaranjado	VT PRO3	DKB
48	K7510Vip3	Semi-dentado/ Amarelo Alaranjado	Vip3	KWS
49	K9606Vip3	Semi-duro/ Alaranjado	Vip3	KWS
50	Agroeste1633	Semi-duro/ Amarelo Alaranjado	VT PRO3	Agroeste

Fonte: Autores.

2.2 Avaliações e coleta dos dados de imagens

As avaliações manuais foram realizadas no decorrer do ciclo fenológico da cultura, para obtenção dos dados de produtividade após a colheita de todas as espigas de cada parcela, sendo a umidade ajustada a 13%.

Para as avaliações por meio de imagens aéreas, instalou-se um total de sete pontos de controle terrestres (PCT) em torno da área experimental. Utilizou-se um GNSS RTk (FOIF modelo A60) para coleta das coordenadas e dessa forma tornar possível a

Santos et al.

correção dos erros durante o processamento das imagens e criação dos ortomosaicos.

Foi utilizado drone do modelo *Mavic 2 Pro*, com um sensor RGB (20 megapixels). Foi definido sobreposição de 80% lateral e frontal para as três alturas de voo avaliadas (40, 60 e 80 m) nas duas diferentes datas (Tabela 2). Todos os voos foram realizados entre os horários de 11 e 13h, sempre em condições de sol, evitando-se dias chuvosos ou nublados.

Tabela 2 – Datas de obtenção das imagens do experimento implantado na Fazenda Experimental da Embrapa Semiárido, em Nossa Senhora da Glória, na safra de 2022

Altura (m)	N°	Data	DAP	EF
40/60/80	1	14/ 07/ 2022	27	V-4/ V-5
40/60/80	2	02/ 08/ 2022	46	V-6/ V-8

Fonte: Autor (2023) DAP: Dias após plantio; EF: Estágio fenológico; V: Vegetativo.

O plano de voo foi realizado no software *Dronedeploy*, para definição dos parâmetros: altura, sobreposição frontal e lateral, velocidade e área de sobrevoo demarcada pelos pontos de controle.

2.3 Processamento das imagens e Índices de Vegetação

Foi realizada a coleta dos dados de fenotipagem de forma manual e posteriormente com os dados das imagens RGB capturadas pelo drone (Figura 2-A), onde, as imagens foram processadas usando a interface WebODM do software *OpenDroneMap* (ODM), e foram calibradas para correção dos erros, estes, foram ajustados pelos pontos de controle, tendo como intuito obter o ortomosaico (Figura 2-B), sendo então, ajustado no software QGIS a camada buff para extrair no *RStudio* os Índices de Vegetação (Figura 2-C), descritos na Tabela 3.





Fonte: Autores.

Tabela 3 – Índices de Vegetação RGB utilizados nas análises de fenotipagem por imagem do trabalho

Índices de Vegetação	Equação ¹	Referência
Normalised GreeneRed Difference Index (NGRDI)	(G-R)/(G+R)	Tucker (1979)
Green Leaf Index (GLI)	(2*G-R-B)/(2*G+R+B)	Louhaichi et al. (2001)
Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)	(G-R)/(G+R-B)	Gitelson et al. (2002)
Spectral Slope Saturation Index (SI)	(R-B)/(R+B)	Ceccato et al. (2001)

Índices de Vegetação	Equação ¹	Referência
Blue Green Pigment Index (BGI)	B/G	Zarco-Tejada et al. (2005)
Brightness Index (BI)	$\frac{\sqrt{R^2+G^2+E}}{3}$	Liu (1990)
Excess red vegetation index (ExR)	((1.4*R)- G)	Meyer et al. (2008)
Excess green minus excess red vegetation index (ExGR)	((3*G)-(2.4*R)-B)	Meyer et al. (2004)
Excess green vegetation index (ExG)	((2*G)-R-B)	Woebbecke et al. (1995)
Normalized blue (BCC)	B/(R+G+B)	Woebbecke et al. (1995)
Color Index of Vegetation Extraction (CIVE)	((0.441*R)-(0.811*G) +(0.385*B)+18.78745)	Kataoka et al. (2003)
Combined indices 1 (COM1)	ExG + CIVE + ExGR+ VEG	Guijarro et al. (2011)
Combined indices 2 (COM2)	0.36*ExG + 0.47*CIVE + 0.17*VEG	Guerrero et al. (2012)
Green red difference (GRD)	G-R	-
Green blue difference (GBD)	G-B	Woebbecke et al. (1995)
Green blue ratio index (GBRI)	G/B	-
Green red ratio index (GRRI)	G/R	-
Normalized green (GCC)	(G/(R+G+B))	Woebbecke et al. (1995)
Modified Excess Green Index (MExG)	((1.262*G)-(0.884*R)- (0.311*B))	Burgos-Artizzu et al. (2011)
Modified green red	((G^2)-(R^2))/((G^2)+	
vegetation index (MGVRI)	(R^2))	Tucker (1979)
(NDI)	(G-R)/ (G+R)	Perez et al. (2000)
Kawashima index (NDRBI)	(R-B)/(R+B)	Kawashima and Nakatani (1998)
Normalized Blue Green Difference Index (NGBDI)	(GB)/(G + B)	Hunt et al. (2005)
Red blue difference (RBD)	(R-B)	Asadzadeh et al. (2016)
Red blue ratio index (RBRI)	R/B	-
Normalized red (RCC)	(R/(R+G+B)	Woebbecke et al. (1995)
Red green blue vegetation	(((G^2)-(R*B))/((G^2)+	Bendig et al. (2015)

162

Índices de Vegetação	Equação ¹	Referência
index (RGBVI)	(R*B)))	
Triangular Greenness Index (TGI)	(G-((0.39*R)-(0.69*B)))	Hunt Jr et al. (2011)
Vegetative (VEG)	G/R^0.667*B^0.334	Hague, Tillett et al. (2006)

Fonte: Autores.

3. Resultados e discussões

Por meio da análise de variância, foram observadas diferenças estatisticamente significativas a um nível de 1% entre os genótipos de milho avaliados (Tabela 4), evidenciando a presença de considerável variabilidade genética. Isso ressalta o potencial para a seleção de materiais promissores. Adicionalmente, merece destaque que o coeficiente de variação está em consonância com o limite aceitável para o cultivo de milho, que é inferior a 20 %, conforme apontado por Gurgel et al. (2013). Essa congruência indica que a dispersão dos dados observados está em conformidade com as expectativas para esse tipo de experimento.

QM						
FV	GL	PG				
TRATAMENTO	49	473377,57*				
BLOCO	1	10600953,90***				
RESÍDUO		277185,28				
MÉDIA		3468,69				
CV (%)		19,98				

Tahela 4 –	Resumo	da	análise	de	variância	nara	produtividade	de	arãos
100010 4 -	Resumo	uu	ununse	ue	variancia	puru	produtividude	ue	yi uos

Fonte: Autores. FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; CV= coeficiente de variação; *, ***= nível de significância a 5% e 0,1% de probabilidade elo teste F, respectivamente; PG= produtividade de grãos (kg/ha).

Neste estudo, as repetibilidades dos índices de vegetação foram categorizadas como baixa (<40 %), moderadas (>40 % < 50 %), e alta (> 50 %), alinhando-se com abordagens presentes na

literatura que também empregaram imagens e índices de vegetação (Herzig et al., 2021; Anderson et al., 2019; Farias et al., 2002).

Na Figura 3, observou-se que o voo realizado em 27 dias após o plantio (DAP) apresentou repetibilidades consistentes, nas três alturas avaliadas, destacando-se especialmente nas alturas de 60 e 80 metros. É importante enfatizar que nesse período, a planta ainda se encontra nos estágios vegetativos entre V-4 e V-5, caracterizando a fase de potencial produtivo.

Figura 3 – Identificação da melhor Data de Voo após Plantio (DAP) para obtenção de altos valores de repetibilidade dos índices de vegetação em relação as alturas de voo



Fonte: Autores.

Essa abordagem possibilita a obtenção de informações precisas e rápidas por meio de imagens aéreas, ainda durante a fase juvenil da cultura. Isso oferece a oportunidade de reverter situações adversas que possam surgir no campo e que possam resultar em perdas de rendimento ao final do ciclo da planta, permitindo que os produtores independentemente do nível tecnológico, tenham maior assertividade nas tomadas de decisões. Experiências semelhantes foram identificadas nos estudos de Tetila et al. (2020) e Santana et al. (2021), que utilizaram essa

mesma ferramenta para monitorar o ataque de pragas na soja e a deficiência de nitrogênio no milho, respectivamente.

Após determinar a data de voo mais apropriada a ser realizada após plantio, procedeu-se à seleção dos índices de vegetação, TGI; Green e BI, (conforme Figura 4) que apresentaram repetibilidade satisfatória tanto a uma altura de 60 metros (com percentuais de 50,46 %; 60,85 % e 55,22% respectivamente) quanto a 80 metros (com percentuais de 44,22 %, 42,40 % e 39,69 %, respectivamente).

Figura 4 – Identificação dos índices de vegetação com os maiores valores de repetibilidade para cada altura de voo em 27 DAP



Fonte: Autores.

Sendo de fundamental importância que os índices alcancem boas repetibilidades quando se pretende investir na fenotipagem por imagem, pois, dessa forma aumenta-se a acuracidade destes ao serem aplicados em novos trabalhos (Hu et al., 2020).

Os índices selecionados demonstraram a capacidade de diferenciar os materiais que apresentaram valores superiores à média da produtividade de grãos (Figuras 5 e 6), no estádio de 27 DAP, esse resultado é encorajador, uma vez que se pôde identificar materiais produtivos antes mesmo da maturidade fisiológica dos grãos, como também relatado pelos autores

Anderson et al. (2019) e Lane et al. (2020), em seus trabalhos.



Figura 5 – Gráfico de linhas com medida temporal no voo de 60 metros, para separar os materiais mais produtividade de acordo com a média

Fonte: Autores.

No primeiro voo, os índices também conseguiram distinguir os materiais que apresentaram um maior potencial durante a fase juvenil (conforme Figuras 7 e 8), em ambas as altitudes, mantendo um padrão consistente em todos os índices analisados. Os materiais que se destacaram foram o NK555Vip3, o FS533PWU e o BM270, apresentando produtividades de 4407,82 kg/ha1, 4401,26 kg/ha1 e 4342,811 kg/ha1, respectivamente. Os dois primeiros materiais foram identificados em ambas as alturas de voo, enquanto o último foi identificado a uma altitude de 80 metros. Do mesmo modo, no segundo voo, observou-se várias interações complexas entre os materiais. Porém, nesse ponto de voo houve uma mudança no padrão dos índices, ocorrendo a diferenciação dos materiais, no entanto, não foi possível realizar a identificação destes genótipos.

Protocolo de processamento de imagens RGB...

Figura 6 – Gráfico de linhas com BLUP temporal no voo de 80 metros, para separar os materiais mais produtividade de acordo com a média



Fonte: Autores.

Figura 7 – Gráfico de linhas com BLUP temporal no voo de 60 metros, para diferenciar os materiais quanto a sua produtividade de grãos por hectare



Fonte: Autores.

A mudança de comportamento dos índices pode ser explicada pelo estágio fenológico da planta no momento da captura das imagens, pois, os índices tendem a extrair melhores resultados nos estágios iniciais de desenvolvimento da planta, como abordou Wilber et al. (2022), em sua pesquisa. Esse período inicial de desenvolvimento da planta coincide com a definição do seu potencial produtivo, salientando-se que, nessa situação a planta está no ápice do seu verde. Já nos estágios fenológicos mais avançados, a sensibilidade do índice diminui conforme o verde da planta vai se esvaindo (Herzig et al., 2021), resultando em menores valores de repetibilidade.





Fonte: Autores.

Percebe-se então que, para alcançar bons resultados por meio da fenotipagem por imagem utilizando índices de vegetação é necessário verificar o estágio fenológico da planta. Esses resultados indicam a possibilidade de identificar genótipos de milho com potencial antes mesmo de atingirem a maturidade fisiológica, por meio da combinação de imagens aéreas e índices de vegetação RGB.

Esse enfoque oferece uma maneira eficaz de otimizar a seleção de materiais promissores, que podem ser cultivados nas propriedades agrícolas de pequenos a grandes produtores que buscam aprimorar os investimentos na cultura com intuito de obter os melhores resultados. Importante destacar que, nesse contexto, o investimento necessário também é mais acessível em comparação com sensores de câmeras alternativos, como os do

Protocolo de processamento de imagens RGB...169tipo multispectral e hiperespectral.169

4. Conclusões

A altura de voo com drone mais indicada é a de 80 metros com o período ideal para execução dos voos aos 27 dias após o plantio, sendo recomendado utilizar os índices de vegetação TGI e Green para identificação de genótipos promissores.

Referências

ALVARES, C. A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <u>http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

ANDERSON, S. L. *et al.* Prediction of maize grain yield before maturity using improved temporal height estimates of unmanned aerial systems. **The Plant Phenome Journal**, v. 2, n. 1, p. 1-15, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.2135/tppj2019.02.0004. Acesso em: 22 jan. 2023.

ASADZADEH, S.; SOUZA FILHO, C. R. Investigating the capability of WorldView-3 superspectral data for direct hydrocarbon detection. **Remote Sensing of Environment**, v. 173, p. 162-173, 2016. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.030</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

BENDIG, J. *et al.* Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 39, p. 79-87, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012. Acesso em: 22 jan. 2024.

BURGOS-ARTIZZU, X. P. *et al.* Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, n. 2, p. 337-346, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.12.011. Acesso em: 22 jan. 2024.

CECCATO, P. *et al.* Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. **Remote sensing of environment**, v. 77, n. 1, p. 22-33, 2001. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00191-2</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 8 oitavo levantamento, maio 2023. Disponível em: <u>https://www.conab.gov.br/info-</u>

170

agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em 15 mai. 2023.

FARIAS NETO, J. T.; YOKOMIZO, G.; BIANCHETTI, A. Coeficientes de repetibilidade genética de caracteres em pupunheira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p. 731-733, 2002. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-2945200200030004. Acesso em: 22 jan. 2024.

FURUYA, D. E. G. *et al.* Prediction of insect-herbivory-damage and insecttype attack in maize plants using hyperspectral data. **International**

Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 105, p. 102608, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102608. Acesso em: 22 jan. 2024.

GITELSON, A. A. *et al.* Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 76-87, 2002. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

GUIJARRO, M. *et al.* Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, n. 1, p. 75-83, 2011. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.09.013</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

GURGEL, F. L.; FERREIRA, D. F.; SOARES, A. C. S. **O coeficiente de** variação como critério de avaliação em experimentos de milho e feijão. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, p. 80, 2013. Disponível em:

https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/955896. Acesso: em 15 mai. 2023.

HAGUE, T.; TILLETT, N. D.; WHEELER, H. Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals. **Precision Agriculture**, v. 7, p. 21-32, 2006. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1007/s11119-005-6787-1</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

HERZIG, P.; *et al.* Evaluation of RGB and Multispectral Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery for High-Throughput Phenotyping and Yield Prediction in Barley Breeding. **Remote Sensing**, v. 13, n. 14, p. 2670, 7 jul. 2021. Disponível em: <u>https://doi.org/10.3390/rs13142670</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

HUNT, E. R. *et al.* Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v. 6, p. 359-378, 2005. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1007/s11119-005-2324-5</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

HUNT JR, E. R. et al. Remote sensing leaf chlorophyll content using a visible

Protocolo de processamento de imagens RGB...

band index. **Agronomy journal**, v. 103, n. 4, p. 1090-1099, 2011. Disponível em: <u>https://doi.org/10.2134/agronj2010.0395</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

HU, P. *et al.* Phenomic selection and prediction of maize grain yield from nearinfrared reflectance spectroscopy of kernels. **The Plant Phenome Journal**, v. 3, n. 1, p. e20002, 2020. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1002/ppj2.20002</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

LANE, H. M. *et al.* Phenomic selection and prediction of maize grain yield from near-infrared reflectance spectroscopy of kernels. **The Plant Phenome Journal**, v. 3, n. 1, p. e20002, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1002/ppi2.20002. Acesso em: 22 jan. 2024.

LIU, J. G.; MOORE, J. McM. Hue image RGB colour composition. A simple technique to suppress shadow and enhance spectral signature.

International Journal of Remote Sensing, v. 11, n. 8, p. 1521-1530, 1990. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1080/01431169008955110</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

LOUHAICHI, M; BORMAN, M. M.; JOHNSON, D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. **Geocarto International**, v. 16, n. 1, p. 65-70, 2001. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1080/10106040108542184</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

KATAOKA, T. *et al.* Crop growth estimation system using machine vision. In: **Proceedings 2003 IEEE/ASME international conference on advanced intelligent mechatronics** (AIM 2003). IEEE, v. 2, 2003. p. b1079-b1083. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1109/AIM.2003.1225492</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

KAWASHIMA, S.; NAKATANI, M. An algorithm for estimating chlorophyll content in leaves using a video camera. **Annals of Botany**, v. 81, n. 1, p. 49-54, 1998. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0544</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

MAES, W. H.; STEPPE, K. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. **Trends in plant science**, v. 24, n. 2, p. 152-164, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.007. Acesso em: 22 jan. 2024.

MEYER, G. E. *et al.* Intensified fuzzy clusters for classifying plant, soil, and residue regions of interest from color images. **Computers and electronics in agriculture**, v. 42, n. 3, p. 161-180, 2004. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1016/j.compag.2003.08.002</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

172

Santos et al.

MEYER, G. E.; NETO, J. C. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. **Computers and electronics in agriculture**, v. 63, n. 2, p. 282-293, 2008. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.03.009. Acesso em: 22 jan. 2024.

PEREZ, A. J. *et al.* Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. **Computers and electronics in agriculture**, v. 25, n. 3, p. 197-212, 2000. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1016/S0168-</u> <u>1699(99)00068-X</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

QIU, R. *et al.* Detection of the 3D temperature characteristics of maize under water stress using thermal and RGB-D cameras. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 191, p. 106551, 2021. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106551</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

SANTANA, D. C. *et al.* UAV-based multispectral sensor to measure variations in corn as a function of nitrogen topdressing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 23, p. 100534, 2021. Disponível em:<u>https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100534</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

SANTOS, E. F. N.; SOUSA, I. F. D.; LEITE, I. V. Regiões Homogêneas em Sergipe Agrupadas Através dos índices Climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 4, p. 477–489, out. 2022. Disponível em: <u>http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863740053</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

SILVA, A. F.; REGITANO NETO, A.; NETO, A. R. As principais culturas anuais e bianuais na agricultura familiar. **Agricultura Familiar**, p. 45, 2019. Acesso em: 22 jan. 2024.

TETILA, E. C. *et al.* Detection and classification of soybean pests using deep learning with UAV images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 179, p. 105836, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105836. Acesso em: 22 jan. 2024.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

WOEBBECKE, D. M. *et al.* Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 1, p. 259-269, 1995. Disponível em: <u>https://doi.org/10.13031/2013.27838</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

WOEBBECKE, D. M. et al. A. Shape features for identifying young weeds

Protocolo de processamento de imagens RGB... 173

using image analysis. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 1, p. 271-281, 1995. Disponível em: <u>https://doi.org/10.13031/2013.27839</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.

WILBER, A. L.; CZARNECKI, J. M. P.; MCCURDY, J. D. An ArcGIS Pro workflow to extract vegetation indices from aerial imagery of small plot turfgrass research. **Crop Science**, 62, 503–511, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1002/csc2.20669. Acesso em: 22 jan. 2024.

ZARCO-TEJADA, P. J. *et al.* Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, n. 3, p. 271-287, 2005. Disponível em: <u>https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.002</u>. Acesso em: 22 jan. 2024.