



Índices espectrais de vegetação no monitoramento do milho (*Zea mays* L.) submetidos à bioestimulantes

Erasmio Venâncio de LUNA NETO¹, Antônio Veimar da SILVA¹, João Henrique Barbosa da SILVA^{1*},
Carla Michelle da SILVA¹, Tayron Rayan Sobrinho COSTA¹, Fabio MIELEZRSKI¹

¹Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, Brasil.
*E-mail: henrique485560@gmail.com

Submetido em 02/05/2022; Aceito em 01/09/2023; Publicado em 14/09/2023.

RESUMO: O milho é uma cultura de interesse nacional, sendo um dos principais cereais cultivados no Brasil. Nas últimas décadas, pesquisas aprofundaram-se no uso de bioestimulantes, que asseguram rendimentos agronômicos, tanto em qualidade quanto em produtividade. Os avanços para o monitoramento e caracterização das vastas áreas de plantio do milho estão em constante desenvolvimento, com a utilização de Vant's utilizando de câmeras que permitem avaliar de maneira remota o estado da cultura em campo. Este trabalho objetivou analisar a variação dos índices de vegetação na cultura do milho submetida à bioestimulantes. O experimento foi realizado no município de Areia, Paraíba, Brasil. Os bioestimulantes aplicados foram o extrato pirolenhoso, extrato de algas (*A. nodosum*), e o produto a base de três fitohormônios, aplicados em três diferentes doses, em três estágios da cultura: semente, V3, V8, resultando em um fatorial 3x4x3+1 (testemunha). As imagens obtidas foram obtidas através de drone DJI com câmera RGB de 12,4 megapixels acoplada, que foram posteriormente processadas, calculados os índices vegetais (NGRDI, SAVI, TGI, EXG). Os resultados obtidos mostraram que houve diferença significativa entre os índices e os dias após plantio, a melhor produtividade foi referente ao tratamento com cinetina; Ácido Giberélico; Ácido Indol-butírico na dose de 6 g/L aplicado na fase V8 da planta, e ocorreu correlação entre o índice NGRDI e SAVI e o teor de clorofila total.

Palavras-chave: biorreguladores; índices de vegetação; RGB.

Spectral vegetation indices in the monitoring of corn (*Zea mays* L.) submitted to biostimulants

ABSTRACT: Corn is a crop of great national interest, being one of the main grains in Brazil. In recent decades, research has deepened in using biostimulants, which promise to bring both quality and productivity agronomic yields. Advances in the monitoring and characterization of vast areas of corn planting are in constant development, with the use of Vant's cameras that allow the remote assessment of the state of the crop in the field. This work aimed to analyze the interaction of vegetation indices with the corn crop subjected to biostimulants. The experiment was carried out in the municipality of Areia, Paraíba, Brazil. The corn hybrid used was AG1051. The biostimulants were the pyroligneous extract, algae extract (*A. nodosum*), and the product based on three phytohormones, applied in three different doses, in three stages of the culture: seed, V3, V8, resulting in a 3x4x3+1 factorial (witness). The images obtained were taken using a DJI drone with an attached RGB camera 12.4 megapixels, attached, which were later processed, the plant indices calculated (NGDRI, SAVI, TGI, EXG), and extracted. The results obtained showed that there was a significant difference between the indices and the days after planting; the best productivity was related to the treatment with kinetin; Gibberellic Acid and Indole-butyric acid at a dose of 6 g/L applied in the V8 phase of the plant, and there was a correlation between the NGRDI and SAVI index and the total chlorophyll content

Keywords: bioregulators; vegetation indices; RGB.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura agrícola pertencente à família Poaceae, a qual apresenta importância econômica e social, sendo uma das culturas mais utilizadas e cultivadas no mundo, tornando o Brasil o terceiro maior produtor (VARMA et al., 2022), o segundo maior exportador (MILHOME et al., 2019) e a sexta atividade de maior geração de renda na economia agropecuária nacional (CONAB, 2016). A safra 2022/23 brasileira prevê uma produção total de 127,8 milhões de toneladas de milho, um aumento esperado de 12,9% quando comparado a safra anterior (CONAB, 2023).

O milho é considerado uma das principais "commodities" agrícolas, sendo um dos pilares da economia agropecuária do país e o segundo principal grão em termos de valor e importância (CONAB, 2019). As estimativas apontam que, para a safra 2022/23, um total de 79,4 milhões de toneladas de milho deverão ser consumidos internamente ao longo de 2023, chegando a um aumento de 6,6% à safra anterior (2021/22) (CONAB, 2023).

Para se obter altos rendimentos na cultura do milho, são realizadas diversas operações, a fim de incrementar produtividade e qualidade ao produto. Nesta perspectiva, na última década aprofundou-se estudos sobre os

bioestimulantes, estes que são definidos, segundo Santos et al. (2013), como substâncias naturais ou sintéticas que se origina da mistura de dois ou mais biorreguladores, ou dos mesmos com aminoácidos, nutrientes e vitaminas. Estes funcionam como ativadores no metabolismo das células, dão mais vigor ao sistema imunológico, reativam processos fisiológicos em diferentes períodos de desenvolvimento da planta, estimulam o desenvolvimento radicular, conduz a planta à formação de novos brotos, melhorando tanto a qualidade, quanto a maior produção do produto (NEPHALI et al., 2020).

Os bioestimulantes apresentam importância por apresentar uma abordagem inovadora para a regulação e/ou modificação dos processos fisiológicos das plantas, por intermédio de estímulo do crescimento, aumento da produção e diminuição do estresse hídrico, além de outros efeitos benéficos como os inseticidas presentes destes produtos, o que justificam o estudo e utilização dos mesmos.

Afim compensar a necessidade de monitoramento e manejo de grandes áreas agrícolas de forma mais prática e tecnológica, os sistemas de sensoriamento remoto é uma alternativa, pois trata-se de uma plataforma que contém sensores que detectam a radiação eletromagnética (REM) emitida e/ou refletida por objetos na superfície da terra (FORMAGGIO, 2017). Este sistema é capaz de captar imagens de grandes áreas e, a partir do processamento destas, é capaz de diagnosticar diversos atributos, como condição hídrica e fisiológica, bem como identificar plantas daninhas e processos erosivos.

Segundo Hunt; Daughtry (2018), o uso de sensores embutidos em VANTs para monitorar safras de produção de grãos, tem aumentado nos últimos anos. Os veículos não tripuláveis possibilitam a minimização de custos, além de sua utilização apresentar vantagens como amostragem a baixas altitudes, o que possibilita a aquisição de dados com melhor resolução para o processamento das imagens; imageamento sob demanda e possibilidade de se usar sensores com as mais diversas configurações, como aqueles que possuem apenas bandas do RGB (espectro visível).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi coletar imagens, através de um sensor RGB, coletar apenas nas bandas vermelho, verde e azul, devidamente processadas, e identificar diferentes tratamentos dentro de uma determinada área. Além de correlacionar os dados obtidos através dos índices de vegetação com dados fisiológicos referente a clorofila das plantas, através do índice, obtido de maneira convencional, e ao final fazer uma correlação dos índices com a produtividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização do local do experimento

Os trabalhos foram realizados no ano agrícola 2020, no período chuvoso, de dez de março até o dia dez de junho, na Fazenda Experimental, na qual são realizados diversos trabalhos de pesquisa principalmente com cana-de-açúcar e milho, Pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, município de Areia-PB, na microrregião geográfica do brejo paraibano, sub-região da zona da mata que apresenta clima ameno e úmido, sob as coordenadas geográficas 6° 58' 12" S e 35° 42' 15" W, 623 m de altitude. Segundo Köppen, o clima é As', quente e úmido com chuvas de outono-inverno e precipitações médias anuais de 1.200 a 1.400 mm, sendo que mais de 75% estão

concentradas nos meses de março-agosto, temperatura média anual oscilando entre 22 a 26 °C e umidade relativa do ar entre 75 a 87% (PEEL et al., 2007).

Os ensaios foram conduzidos em Latossolo Amarelo Distrófico Típico, textura média, classificado segundo EMBRAPA (2018), cuja característica textural é argilo-arenosa com 386,23 de argila; 77,19 de silte e 536,58 g.kg⁻¹ de areia. A adubação e calagem foram realizadas de acordo com a análise de solo que foi realizada antes da instalação do experimento, de acordo com o manual de adubação do estado do Pernambuco (CAVALCANTE et al., 2008), sendo esse uma referência para o estado da Paraíba.

A cultivar de milho utilizada foi o Híbrido de ciclo superprecoce, porte baixo, grãos duros e alaranjados.

2.2. Procedimento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 4x5x6, com quatro repetições, totalizando 480 unidades experimentais. O primeiro fator é constituído quatro bioestimulantes naturais (Cinetina; Ácido Giberélico; Ácido Indol-butírico®, Extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*), e Extrato Pirolenhoso), o segundo de cinco doses dos mesmos de forma isolada (0, 2, 4, 6 e 8 g/L), a solução foi diluída na proporção de 100 L/há, e o terceiro fator constituído de seis fases de aplicações dos produtos: 1) V3, 2) V8, 3) R1, 4) V3 + V8, 5) V3 + R1 e 6) V8 + R1. Os produtos foram aplicados a partir das 16:00 horas da tarde, sendo horário mais recomendado para redução de perdas dos produtos por deriva.

Cada parcela foi constituída por cinco linhas da cultura com 5 m de comprimento, com espaçamento entre linha de 0,5 m totalizando 10 m², sendo a área útil de cada parcela para as avaliações de 4,0 m² e área útil total de 1920 m², uma vez que será descartada uma linha de cada lado da parcela principal e 0,5 m em cada extremidade.

Para fins de processamento de imagem, foram delimitadas áreas úteis da parcela, desconsiderando as "bordas", afim de permitir uma acurácia dos resultados. A área delimitada compreende as dimensões de 4 m x 1,20 m, conseguindo desta forma cobrir todo o espaço preenchido por plantas dentro da parcela.

Foram colhidas as espigas do milho para se obter os dados de produtividade, para tal, as espigas foram colhidas manualmente, secas ao sol e debulhadas. Posteriormente, realizou-se a pesagem; determinou-se a umidade dos grãos, e conteúdo de água ajustado para 13%, sendo o rendimento expresso em kg/ha (ARAÚJO et al., 2016).

2.3. Aquisição das imagens

As imagens aéreas foram obtidas com uso de um VANT da marca DJI® modelo Phantom4, com peso de 1380g, velocidade máxima de 20 m/s, resistência máxima ao vento de 10 m/s. A câmera acoplada ao Vant é de 12,4 megapixels efetivos, gerando uma imagem com dimensões de 4000x3000, configurada para a captação de imagens na banda do visível (RGB), ou seja, vermelho, verde e azul.

As imagens foram obtidas no sentido norte-sul dos experimentos, bem como localização das parcelas e recolhidas no período entre 11:00 AM e 12:00 AM, para evitar diferença radiométrica, buscando não interferir no resultado. Foram feitas, ao todo, 7 coletas de imagens durante o ciclo do milho, desde o plantio até a colheita (Tabela 1).

Tabela 1. Datas em que foram adquiridas as imagens em campo.
Table 1. Dates on which field images were acquired.

Datas	Dias após plantio	Fases fenológicas
25/04/2020	15	V3
07/05/2020	27	V5
13/05/2020	33	V6
25/05/2020	45	V8
31/05/2020	51	V10
06/06/2020	58	V12
14/06/2020	66	V14

As imagens foram processadas através do uso do programa AgisoftPhotoscan® para geração do ortomosaico, feito conforme o seguinte procedimento:

I: Foram importadas as imagens, com seus respectivos ângulos de altitude, determinados pelo sistema de navegação inercial (IMU).

II: Alinhamento de imagens: foram extraídos as características e os descritores correspondentes entre as imagens (Geotags). Após, calculou-se as posições das imagens entre si (orientação externa relativa) e com relação ao terreno (orientação externa absoluta), e determinou-se o modelo de nuvem de pontos esparsos.

III: Nuvem de pontos densa: baseado nas posições estimadas das imagens e nos pontos esparsos, foram determinados novos pontos de profundidade. Então, esses novos pontos foram combinados em uma nuvem de pontos densa;

IV: Construção do Ortofotomosaico: o ortomosaico foi exportado no sistema de coordenadas Universal Transverso de Mercator (UTM), Zona 22 S, no sistema de referência WGS84, com uma resolução espacial de 3 cm. O valor do ND do pixel de saída foi obtido pelo cálculo da média dos valores sobrepostos;

V: Exportação do Ortofotomosaico: o ortomosaico da área do estudo foi exportado no formato Geotiff, com o mesmo sistema de referência e projeção cartográfica.

Utilizando-se do programa QGIS, foram trabalhados os seguintes índices de vegetação, calculados através da calculadora raster, utilizando-se apenas índices referentes as bandas RGB (Tabela 2).

Os sete ortomosaicos foram trabalhados com os referidos índices acima listados, utilizando-se do programa QGIS, onde foi classificado o objeto de estudo que foram apenas as superfícies das imagens onde continham plantas de milho, os valores de pixels negativos foram padronizados para 0. Logo após foram extraídos os valores de cada parcela, onde foram geradas planilhas exportadas para o Excel para que fossem feitos os procedimentos estatísticos.

Foram coletados índices de clorofila A, B, e clorofila total nas plantas, no estágio fenológico V10, com auxílio de um clorofilog portátil, modelo SPAD 502, coletando dez amostras aleatoriamente dentro das parcelas para obtenção da média (MIRANDA et al., 2018).

Tabela 2. Índices de vegetação trabalhados.

Tabela 2. Worked vegetation indices.

Índices de vegetação	Fórmula	Autores	Dados coletados
Excess Green Index (EXG)	$(2 \times G) - R - B / (R + G + B)$	Woebbecke et al. (1995)	Valor médio
Soil Adjusted Vegetation Index, (SAVI) adaptado	$((1 + L) * (G - R)) / (L + G + R)$	Magalhães et. al. (2019)	Valor médio
Normalized green-Red Difference Index (NGRDI)	$(G - R) / (G + R)$	Yang et. al. (2008)	Valor médio
Triangular Greenness Index	$G - 0.39 * R - 0.61 * B$	Hunt Jr. et al. (2011)	Valor médio

2.4. Análises estatísticas

Após a obtenção dos dados das avaliações tanto das imagens quanto do teor de clorofila das plantas, os mesmos foram submetidos à análise de variância pelo teste F de Snedecor, em seguida, os valores médios de produtos, fases, e doses, foram comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, e para os vãos levando em consideração os dias após plantio, foi feita a análise de regressão. Utilizou-se ainda, correlação de Pearson (r) entre as variáveis em estudo, sendo que a significância do r foi verificada por meio do teste t de Student a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R Versão 3.6 (2019).

3. RESULTADOS

Na Tabela 3 estão relacionados os resultados referentes a análise de variância, no qual é demonstrado que a interação entre os índices de vegetação e dias após plantio foram significativos, bem como quanto aos índices e os tratamentos, em exceção do índice SAVI, o qual não apresentou diferença significativa. Quanto a interação índice x D*T(dias*tratamento) não ocorreu significância em nenhum dos mesmos.

A Figura 1 apresenta a dispersão referente a interação dos dias após plantio x índices, obtidos através do cálculo de regressão. Pode-se observar que os IV's NGRDI e o SAVI têm um comportamento quadrático crescente conforme os dias avaliados. Já o comportamento dos IV's EXG e TGI, possui uma curva quadrática com tendência de queda nos dias avaliados, estes índices tiveram comportamentos semelhantes, sendo o ponto máximo do EXG aos 75 dap, e o índice TGI aos 73 dap.

Na Tabela 4 estão dispostos os grupos identificados a partir de cada IV, os valores apresentados representam os pixels contabilizados a partir de cada índice. Observa-se que todos os índices tiveram diferença quanto aos tratamentos, e os mesmos os classificaram em dois grupos. Os índices NGRDI e SAVI, apresentam bastante semelhança pois através da análise do teste Scott-Knott, ambos classificaram igualmente os grupos "a" e "b" quantos aos tratamentos, apesar de apresentar valores distintos. Da mesma forma, comportou-se os índices EXG, e TGI, que agruparam quase todos os tratamentos semelhantemente.

Para os dados de clorofila, a análise de variância apresentou diferença significativa para as clorofilas A, B, e total, quando confrontadas com os tratamentos (Tabela 5).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para Normalized Difference Green/Red (NGRDI), Excess Green Index (EXG), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) e Triangular Greenness Index (TGI). Areia, Paraíba, Brasil 2020.

Table 3. Summary of analysis of variance for Normalized Difference Green/Red (NGDRI), Excess Green Index (EXG), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and Triangular Greenness Index (TGI). Areia, Paraíba, Brazil 2020.

FV	GL	Quadrados Médios			
		NGRDI Média	EXG Média	SAVI Média	TGI Média
Dias após Plantio (D)	6	1,36**	84881,75**	3,02**	20903,23**
Tratamentos (T)	36	0,003**	144,74**	0,006**	39,66**
D * T	216	0,0004 NS	27,77NS	0,001NS	7,71NS
Bloco	4	0,033	974,28	0,074	236,88
Erro	773	0,001	52,39	0,002	13,75
CV (%)		25,32	19,37	25,20	20,04

ns,** e *: não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade.

Tabela 4. Classificação dos índices em grupos, utilizando Scott-Knott. Areia, Paraíba, Brasil 2020.

Table 4. Classification of indices into groups, using Scott-Knott. Areia, Paraíba, Brazil 2020.

Tratamentos	NGRDI Média	EXG Média	SAVI Média	TGI Média
1 - P1D1F1	0,142 a	36,48 b	0,212 a	14,01 b
2 - P1D1F2	0,109 b	32,21 b	0,163 b	12,65 b
3 - P1D1F3	0,134 a	37,60 a	0,201 a	14,82 a
4 - P1D2F1	0,128 b	37,85 a	0,189 b	14,72 a
5 - P1D2F2	0,135 a	36,35 b	0,201 a	14,25 b
6 - P1D2F3	0,129 b	36,98 b	0,192 b	14,53 b
7 - P1D3F1	0,130 b	35,19 b	0,193 b	13,62 b
8 - P1D3F2	0,134 a	37,61 a	0,199 a	14,47 b
9 - P1D3F3	0,130 b	39,33 a	0,194 b	15,64 a
10 - P1D4F1	0,113 b	34,06 b	0,169 b	13,32 b
11 - P1D4F2	0,128 b	36,09 b	0,191 b	13,75 b
12 - P104F3	0,132 b	39,77 a	0,197 b	15,68 a
13 - P2D1F1	0,143 a	41,59 a	0,213 a	16,10 a
14 - P2D1F2	0,122 b	37,28 a	0,181 b	14,46 b
15 - P2D1F3	0,145 a	38,68 a	0,216 a	15,06 a
16 - P2D2F1	0,113 b	35,54 b	0,168 b	13,82 b
17 - P2D2F2	0,143 a	38,55 a	0,213 a	15,46 a
18 - P2D2F3	0,144 a	42,38 a	0,214 a	16,63 a
19 - P2D3F1	0,122 b	38,28 a	0,182 b	14,89 a
20 - P2D3F2	0,127 b	37,96 a	0,189 b	14,95 a
21 - P2D3F3	0,142 a	40,68 a	0,212 a	15,72 a
22 - P2D4F1	0,131 b	34,08 b	0,194 b	13,14 b
23 - P2D4F2	0,129 b	35,27 b	0,192 b	13,81 b
24 - P2D4F3	0,139 a	38,38 a	0,206 a	15,02 a
25 - P3D1F1	0,136 a	37,97 a	0,203 a	14,99 a
26 - P3D1F2	0,127 b	35,04 b	0,189 b	13,34 b
27 - P3D1F3	0,114 b	34,00 b	0,171 b	13,41 b
28 - P3D2F1	0,155 a	40,47 a	0,230 a	16,00 a
29 - P3D2F2	0,125 b	39,23 a	0,186 b	15,21 a
30 - P3D2F3	0,144 a	38,64 a	0,215 a	15,11 a
31 - P3D3F1	0,117 b	38,10 a	0,175 b	15,32 a
32 - P3D3F2	0,128 b	36,07 b	0,191 b	13,89 b
33 - P3D3F3	0,119 b	36,06 b	0,178 b	14,08 b
34 - P4D4F1	0,119 b	34,77 b	0,178 b	13,21 b
35 - P4D4F2	0,130 b	40,00 a	0,194 b	15,26 a
36 - P4D4F3	0,142 a	38,15 a	0,211 a	15,43 a
37 - Teste	0,126 b	36,00 b	0,187 b	13,87 b

{P (3) Doses (4) x Fases (3)} + 1 (Testemunha);
 Produtos (P): Ext. Pirolenhoso (P1); Ext. Algas (P2); e Cinetina; Ácido Giberélico; Ácido Indol-butírico ® (P3);
 Doses (D): 2 (D1), 4 (D2), 6 (D3) e 8 (D4) g/L;
 Fases (F): Sementes (F1); V3 (F2); V8 (F3). Teste: Testemunha.

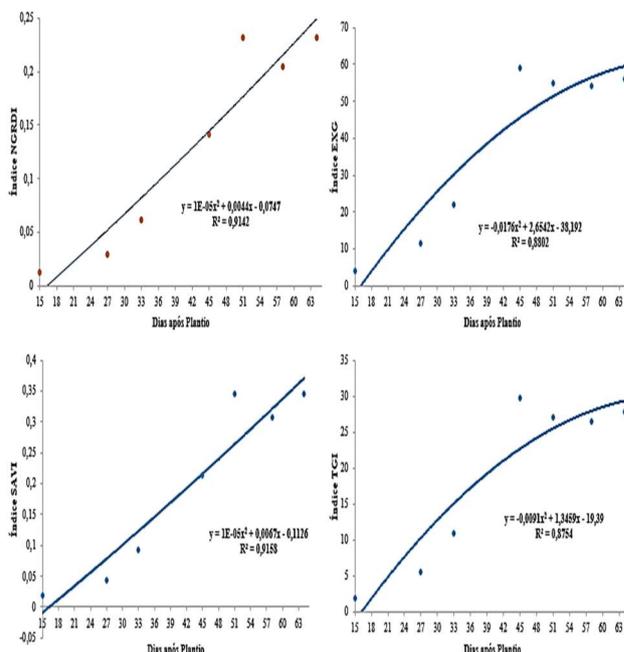


Figura 1. Interação de índices e DAP.

Figure 1. Interaction of indexes and DAP.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para Clorofila “A”, “B” e “Total”. Areia, Paraíba, Brasil 2020.

Table 5. Summary of analysis of variance for Chlorophyll “A”, “B” and “Total”. Areia, Paraíba, Brazil 2020.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Clorofila A	Clorofila B	Clorofila Total
Tratamentos	36	4,85**	2,28**	12,11**
Blocos	3	1,28NS	0,46NS	2,11NS
Erro	108	2,22	0,78	4,73
Total	147			
CV (%)		5,5	9,82	6,01

ns e **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade.

Na Tabela 6 estão dispostos os grupos classificatórios dos tratamentos resultantes da análise de Scott-Knott. Estes foram divididos em dois grupos quanto a clorofila A, grupo “a” e grupo “b”, onde o primeiro grupo é referente aos valores mais elevados de clorofila A, grupo em que a testemunha se encaixou. O segundo grupo, classifica os valores mais baixos da clorofila A.

Para a clorofila B, os tratamentos foram colocados em três grupos, “a”, “b” e “c”, da mesma forma da clorofila A, o grupo “c” correspondeu aos menores valores, e o “a” para os

maiores valores. A clorofila total também teve três grupos de classificação, mas cada tratamento recebeu uma ordenação diferente, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 6. Valores de Clorofila “A”, “B” e “Total”, utilizando Scott-Knott. Areia, Paraíba, Brasil 2020.

Table 6. Chlorophyll values “A”, “B” and “Total”, using Scott-Knott. Areia, Paraíba, Brazil 2020.

Tratamentos	Clorofila A	Clorofila B	Clorofila Total
1 - P1D1F1	24,45 b	7,81 c	32,26 c
2 - P1D1F2	24,87 b	8,15 c	33,02 c
3 - P1D1F3	26,97 a	9,30 b	36,27 b
4 - P1D2F1	27,62 a	8,75 c	36,37 b
5- P1D2F2	27,50 a	9,32 b	36,82 b
6- P1D2F3	26,17 b	8,22 c	34,40 c
7- P1D3F1	28,17 a	9,62 b	37,80 b
8- P1D3F2	25,32 b	8,12 c	33,45 c
9- P1D3F3	27,65 a	9,17 b	36,82 b
10 - P1D4F1	29,00 a	10,55 a	39,55 a
11- P1D4F2	26,02 b	9,12 b	35,15 c
12 - P104F3	27,92 a	9,65 b	37,57 b
13 - P2D1F1	26,85 a	8,20 c	35,05 c
14 - P2D1F2	26,80 a	9,87 b	36,67 b
15 - P2D1F3	27,20 a	8,67 c	35,87 b
16 - P2D2F1	28,17 a	8,87 c	37,05 b
17- P2D2F2	27,77 a	9,30 b	37,07 b
18 - P2D2F3	27,02 a	8,42 c	35,45 c
19 - P2D3F1	28,47 a	9,32 b	37,80 b
20 - P2D3F2	26,32 b	9,50 b	35,82 b
21 - P2D3F3	26,90 a	9,37 b	36,27 b
22 - P2D4F1	27,12 a	9,07 b	36,20 b
23 - P2D4F2	25,68 b	7,92 c	33,60 c
24 - P2D4F3	26,25 b	8,67 c	34,92 c
25 - P3D1F1	26,40 b	8,42 c	34,82 c
26 - P3D1F2	27,22 a	9,05 b	36,27 b
27- P3D1F3	27,80 a	9,25 b	37,05 b
28 - P3D2F1	30,27 a	11,60 a	41,87 a
29 - P3D2F2	27,52 a	8,87 c	36,40 b
30 - P3D2F3	26,50 b	8,75 c	35,25 c
31-P3D3F1	27,67 a	9,70 b	37,37 b
32 - P3D3F2	27,15 a	8,12 c	35,27 c
33 - P3D3F3	28,05 a	9,22 b	37,27 b
34 - P4D4F1	27,65 a	8,85 c	36,50 b
35 - P4D4F2	2757 a	8,25 c	35,82 b
36 - P4D4F3	27,27 a	8,82 c	36,10 b
37 - Teste	27,25 a	9,85 b	37,10 b

{P (3) Doses (4) x Fases (3)} + 1 (Testemunha);
Produtos (P): Ext. Pirolenhoso (P1); Ext. Algas (P2); e Cinetina; Ácido Giberélico; Ácido Indol-butírico ® (P3);
Doses (D): 2 (D1), 4 (D2), 6 (D3) e 8 (D4) g/L;
Fases (F): Sementes (F1); V3 (F2); V8 (F3). Teste: Testemunha.

Conforme mostra na tabela 6, a clorofila total teve apenas dois tratamentos classificados no grupo de maior valor, o grupo “a”, que foram o 10, e o 28. Estes tratamentos correspondem a P1D4F1, e P3D2F1, respectivamente. Por outro lado, 12 tratamentos (1, 2, 6, 8, 11, 13, 18, 23, 24, 25, 30, 32) tiveram valores de clorofila total abaixo a testemunha.

Sob a análise de variância (Tabela 7), a produtividade do milho apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

Na Tabela 8 ficou evidente a influência dos bioestimulantes na cultura do milho, quanto ao aspecto da produtividade. Foram obtidas 8 grupos com diferenças significativas entre si. O grupo “a” foi o que apresentou

melhor desempenho produtivo, tendo apenas um tratamento, que foi o tratamento 33, correspondente produto a base de Cinetina; Ácido Giberélico; Ácido Indol-butírico na dose de 6 g/L aplicado na fase V8 da planta.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para produtividade. Areia, Paraíba, Brasil 2020.

Table 7. Summary of analysis of variance for productivity. Areia, Paraíba, Brazil 2020.

	FV	GL	Quadrados médios	F
Blocos		3	13265,53	1,45 ^{NS}
Tratamentos		36	1282496,57	140,24 ^{**}
Resíduo		108	9145,04	
Total		147		
CV (%)			3,35	

ns e **: não significativo e significativo a 1 de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade.

Tabela 8. Produtividade classificada através de método estatístico Scott-Knott. Areia, Paraíba, Brasil 2020.

Table 8. Productivity classified using the Scott-Knott statistical method. Areia, Paraíba, Brazil 2020.

Tratamentos	Produtividades (kg/Ha)
1 - P1D1F1	2578,7 h
2 - P1D1F2	2060,2 j
3 - P1D1F3	3721,67 b
4 - P1D2F1	2835,82 g
5- P1D2F2	2628,02 h
6- P1D2F3	2763,02 g
7- P1D3F1	3072,15 f
8- P1D3F2	2976,25 f
9- P1D3F3	2696,67 h
10 - P1D4F1	3744,12 b
11- P1D4F2	3782,00 b
12 - P104F3	2866,67 g
13 - P2D1F1	2785,82 g
14 - P2D1F2	2624,47 h
15 - P2D1F3	2624,47 h
16 - P2D2F1	1409,00 i
17- P2D2F2	3019,17 f
18 - P2D2F3	2513,00 h
19 - P2D3F1	2069,22 j
20 - P2D3F2	2543,70 h
21 - P2D3F3	2867,50 g
22-P2D4F1	3172,50 e
23 - P2D4F2	2069,50 j
24 - P2D4F3	2341,47 i
25 - P3D1F1	2894,17 g
26 - P3D1F2	3766,65 b
27- P3D1F3	2282,30 i
28 - P3D2F1	3063,55 f
29 - P3D2F2	2560,15 h
30 - P3D2F3	2670,02 h
31-P3D3F1	3289,15 d
32 - P3D3F2	2637,62 h
33 - P3D3F3	4247,50 a
34 - P4D4F1	3491,67 c
35 - P4D4F2	3036,97 f
36 - P4D4F3	3332,47 d
37 - Teste	2576,55 h

{P (3) Doses (4) x Fases (3)} + 1 (Testemunha);
Produtos (P): Ext. Pirolenhoso (P1); Ext. Algas (P2); e Cinetina; Ácido Giberélico; Ácido Indol-butírico ® (P3);
Doses (D): 2 (D1), 4 (D2), 6 (D3) e 8 (D4) g/L;
Fases (F): Sementes (F1); V3 (F2); V8 (F3). Teste: Testemunha.

Já os tratamentos que foram classificados no grupo H, são os que mais se assemelharam a testemunha, visto que esta se encontra no mesmo grupo que ela. Estes foram o tratamento 1 (P1D1F1), 5 (P1D2F2), 9 (P1D3F3), 14 (P2D1F2), 15 (P2D1F3), 18(P2D2F3), 20(P2D3F2), 29(P3D2F2), 30(P3D2F3), e 32(P3D3F2), desta forma, não se teve influência dos produtos referentes a estes tratamentos.

Ainda na Tabela 8, os tratamentos 16 (P2D2F1), 24(P2D4F3), tiveram uma produtividade abaixo da testemunha, ou seja, a forma de aplicação em conjunto do produto, teve um efeito negativo na produtividade do milho. Os demais tratamentos classificados acima do grupo H, apresentaram efeitos positivos na sua produtividade.

Os tratamentos classificados no grupo “b” foram o 10 (P1D4F1), 11 (P1D4F2), e o 26 (P3D1F2). Estes, apesar de

não ter tido o melhor desempenho, apresentaram resultados bastante expressivos quando comparados a testemunha.

Na Tabela 9, apresenta-se os dados da correlação de Pearson referente aos índices trabalhados, clorofilas e produtividade. A correlação entre os índices NGRDI e SAVI apresentam moderada taxa de correlação, bem como os IV's TGI e EXG. Quanto a correlação entre os índices de vegetação e os valores de clorofila “A” tem-se valores insignificantes, a Clorofila B tem possui uma correlação razoável frente aos índices NGRDI e SAVI. Quanto ao teor de clorofila total x índices, tem-se uma correlação de 50% com o NGRDI e 46% para o índice SAVI. Ainda na Tabela 9, tem-se uma correlação entre a produtividade e o teor de clorofila total de 45%, e quanto aos índices, os percentuais de correlação foram baixos, tendo tido o NGRDI e o SAVI os maiores valores comparados com os demais.

Tabela 9. Correlação de Pearson. Areia, Paraíba, Brasil, 2020.
Table 9. Pearson's Correlation. Areia, Paraíba, Brazil, 2020.

	NGRDI	EXG	SAVI	TGI	CL A	CL B	CL Tot	PROD
NGRDI	1							
EXG	0,67	1						
SAVI	0,99	0,68	1					
TGI	0,66	0,97	0,66	1				
CL A	0,04	0,16	0,04	0,2	1			
CL B	0,34	0,14	0,34	0,08	0,53	1		
CL Tot	0,50	0,29	0,46	0,22	0,54	0,55	1	
PROD	0,12	0,02	0,13	0,04	0,19	0,31	0,45	1

4. DISCUSSÃO

Os índices de vegetação demonstraram significativos resultados através do sensoriamento remoto na cultura do milho, nas condições do trabalho.

O índice NGRDI tem crescente aumento dos valores, sendo um indicativo de aumento da biomassa verde das plantas de milho. Do mesmo modo, Hunt et al. (2005), apresenta em seu trabalho a alta correlação entre seus resultados com o IV NGRDI e os valores de biomassa verde do milho, soja e alfafa. Além disto, assim como os demais, o NGRDI identificou dois grupos dentre os 37 tratamentos.

O SAVI, apesar de valores diferentes, classificou os tratamentos exatamente igual ao índice NGRDI. O SAVI adaptado utilizado neste trabalho possui alta correlação com o índice NGRDI, segundo MAGALHÃES, 2019, este autor ainda ressalta que este novo índice apresentou melhor correlação com o verde na imagem. Porém, no presente trabalho, os dois apresentaram iguais resultados quanto a identificação da vegetação.

Da mesma forma e com tamanha semelhança, os índices EXG e TGI trabalharam de forma quase idênticas no processo de identificação dos tratamentos. Por serem índices com alta correlação com a banda verde, ambas tendem a realçar apenas a quantidade relativa de vegetação idealmente saudável e fotossinteticamente ativa (ABRANTES, 2021). Ambos os índices também identificaram seis tratamentos a mais que os outros 2 índices (NGRDI, SAVI).

Os tratamentos que apresentaram maior teor de clorofila total foram referentes a dose de 8g/L do extrato pirolenhoso aplicado na semente, e a dose 4 g/L do produto a base de cinetina; ácido Giberélico; ácido Indol-butiúrico aplicado, também, na semente. Lacerda (2020), trabalhando com mudas de maracujazeiro, teve resultado positivo em relação

ao teor de clorofila utilizando o mesmo produto quando aplicados em plântulas. De acordo com José (2016), em seu trabalho, as respostas da germinação em sementes tratadas com extrato pirolenhoso dependem da espécie e da dose, sendo observado em seus resultados que espécies de *E. dysenterica* em resposta à baixa concentração apresentaram maior taxa de germinação, e conseqüentemente menor tempo para a estabilizar a plântula, auxiliando na produção mais rápida de clorofila.

O melhor tratamento para produtividade foi na dose de 6 g/L do produto a base de cinetina; ácido Giberélico; ácido Indol-butiúrico, quando aplicado na fase V8 da planta do milho, apresentando uma média produtiva de 4247,50 kg/Ha. Carvalho et al. (2016), também encontrou bons resultados na utilização deste bioestimulante quando aplicado em forma de pulverização na região aérea do milho, sendo os melhores tratamentos quando se utilizou-o em consórcio com outros produtos.

Os tratamentos que apresentaram desempenho produtivo menor que a testemunha foram os referentes ao extrato de algas, na dose de 4 g/L aplicada na semente, e na dose de 6 g/L quando aplicada no estágio V8 da planta. Segundo Sivritep (2008), foi observado a inibição da germinação em sementes de pimenta quando aplicado doses do extrato de algas superior a 4 ml kg⁻¹. Já Gehling (2014), constatou em seu trabalho que a aplicação do bioestimulante supracitado realçou o desempenho agrônômico do trigo, quando aplicado doses de 1,1 ml kg⁻¹.

Os tratamentos do grupo “b”, que tiveram resultados acima da testemunha, foram os referentes as doses de 8,0 g/L do extrato pirolenhoso, quando aplicado na semente e no estágio V3 do milho. Ressalta-se que, a dose de 8,0 g/L do extrato do pirolenhoso aplicado na semente, também foi o

tratamento em que a clorofila total apresentou maior índice. Também classificado no grupo “b”, o tratamento com o produto 3 (cinetina; ácido Giberélico; ácido Indol-butírico) na dose 2 g/L, quando aplicado no estágio V3, ofereceu melhor desempenho, corroborando com este resultado, Martins (2016) verificou em seu trabalho que os tratamentos onde foram aplicados o stimulate® tiveram maior produtividade, referentes a cultivar de milho P30F53YH.

Os índices EXG e o TGI apresentam forte semelhança, isto se deve ao fato de os dois índices realçarem a banda verde na imagem processada, e diminuir os valores das bandas vermelha e azul. O índice EXG que foi proposto por Woebbecke et al. (1995), onde estes, a partir de análises com índices de vegetação, traçaram uma fórmula que permite a identificação do material vegetativo de outros materiais não-vivos, apresentou uma correlação de 29% frente a clorofila total, considerada uma baixa correlação que também foi identificada no trabalho de Oliveira et al. (2020), onde tiveram uma correlação de 24%, analisando folhas de Croada.

A correlação do TGI e da clorofila total foi a menor dentre os Índices de vegetação, entretanto ainda possuiu uma correlação de 22%, diferente do constatado no trabalho de Ribeiro et al. (2023), no qual o TGI foi o índice que teve maior correlação dentre os testados, chegando a 44,7% frente a clorofila total.

Os índices em geral apresentaram uma porcentagem muito pequena de correlação com a produtividade, os IV's SAVI e NGRDI apresentaram de 13 e 12%, respectivamente, mas ainda é um valor baixo. A correlação direta entre os índices e a produtividade, em geral, não teve interação expressiva.

5. CONCLUSÕES

O melhor tratamento quanto ao teor de clorofila total foi o 8g/L do extrato pirolenhoso e a dose 4 g/L do Cinetina; Ácido Giberélico; Ácido Indol-butírico, aplicados na semente.

A melhor produtividade foi referente ao tratamento com cinetina; ácido giberélico; ácido indol-butírico, na dose de 6 g/L aplicado na fase V8 da planta.

Ocorreu correlação entre o índice NGRDI e SAVI e o teor de clorofila total. Não houve correlação entre os índices e a produtividade.

6. REFERÊNCIAS

ABRANTES, T. C.; QUEIROZ, A. R. S.; LUCIO, F. R.; MENDES JUNIOR, C. W.; KUPLICH, T. M.; BREDEMEIER, C.; MEROTTO JUNIOR, A. Assessing the effects of dicamba and 2, 4 Dichlorophenoxyacetic acid (2, 4D) on soybean through vegetation indices derived from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based RGB imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 7, p. 2740-2758, 2021. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1832283>

ARAÚJO, E. O.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M. Doses de Nitrogênio e inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho em condições de solo fértil. **Acta agrônômica**, v. 64, n. 1, p. 16-23, 2016. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n1.44300>

CARVALHO, M. D.; BORGES, I. D.; CRUZ, J. C.; NETTO, D. A. M. Produtividade de duas cultivares de milho submetidas ao tratamento de sementes com

bioestimulantes fertilizantes líquidos e *Azospirillum* sp. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 217-228, 2016. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n2p217-228>

CONAB_Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária**. Volume 6. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/images/arquivos/outros/Perspectivas-para-a-agropecuaria-2018-19.pdf>>. Acesso: 01 nov 2021.

CONAB_Companhia Nacional de Abastecimento. **O Acompanhamento da safra brasileira – Grãos**. Safra 2022/23. Volume 10. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso: 28 ago. 2023.

CONAB_Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de grãos tem previsão de aumento de 5,7%, chegando a 271,7 milhões de t**. Brasília. 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3989-producao-de-graos-tem-previsao-de-aumento-de-5-7-chegando-a-271-7-milhoes-de-toneladas>>. Acesso: 01 nov 2021.

COSTA, N. L.; DAROS, E. **Bioestimulante como fator de produtividade da cana-de-açúcar**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2010. 15p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/878849/1/ClicNews20104.pdf>

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília: Embrapa, 2018. 212p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829?version=1.1>>

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 288p.

GEHLING, V.; BRUNES, A.; DIAS, L.; AISENBERG, G. R.; AUMONDE, T. Desempenho fisiológico de sementes de trigo tratadas com extrato de alga *Ascophyllum nodosum* (L.). **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 743-750, 2014.

HUNT, E. R.; CAVIGELLI, M.; DAUGHTRY, C. S.; MCMURTREY, J. E.; WALTHALL, C. L. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 4, p. 359-378, 2005. <https://doi.org/10.1007/s11119-005-2324-5>

JOSÉ, A. C.; ANDRADE, R. J.; PEREIRA, W. V. S.; SILVA, N. C. N.; FARIA, J. M. R. Efeito do extrato pirolenhoso sobre a germinação de espécies do Cerrado brasileiro. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 62-69, 2016.

LACERDA, E. G.; JESUS SANCHES, L. F.; QUEIROZ, J. O.; SILVA, C. P.; MENDONÇA, M. A.; MORAIS, J. U. G. Efeito do bioestimulante no desenvolvimento de mudas de maracajueiro (*Passiflora alata*) em condições de canteiro. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 3, n. 2, p. 71-81, 2020. <https://doi.org/10.32406/v3n22020/71-80/agrariacad>

LERAYER, A. **Guia do milho: tecnologia do campo a mesa**. Conselho de Informações sobre Biotecnologia, 2006. 15p. Disponível em: <https://chilebio.cl/wp-content/uploads/2015/09/Guia-do-Milho->

%E2%80%93Tecnologia-do-Campo-%C3%A0-Mesa.pdf

- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Cultivo do milho**: germinação e emergência. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 9p. (Comunicado Técnico, 39). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/487000/1/Com39.pdf>
- MARTINS, D. C.; BORGES, I. D.; CRUZ, J. C.; NETTO, D. A. M. Produtividade de duas cultivares de milho submetidas ao tratamento de sementes com bioestimulantes fertilizantes líquidos e *Azospirillum* sp. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 217-228, 2016.
- MILHOME, M. A. L.; VIEIRA, S. K. V.; REGES, B. M.; FERNANDES, D. R.; UCHOA, M. L. P.; PINHEIRO, A. I.; NASCIMENTO, R. F. Multiresidue analysis and evaluation of the matrix effect on 20 pesticides in Brazilian maize (*Zea mays* L.) flour. **Journal of Environmental Science and Health - Part B**, v. 54, n. 11, p. 892-897, 2019. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1640586>
- NEPHALI, L.; PIATER, L. A.; DUBERY, I. A.; PATTERSON, V.; HUYSER, J.; BURGESS, K.; TUGIZIMANA, F. Biostimulants for plant growth and mitigation of abiotic stresses: A metabolomics perspective. **Metabolites**, v. 10, n. 12, p. 505, 2020.
- OLIVEIRA, A. J.; SILVA, G. F.; SILVA, G. R.; SANTOS, A. A. C.; CALDEIRA, D. S. A.; VILARINHO, M. K. C.; OLIVEIRA, T. C. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64140-64149, 2020.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.
- RIBEIRO, A. L. A.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; LUZ, J. M. Q.; GALLIS, R. B. D. A.; ASSIS, P. H. D. S.; YADA, R. Y. Vegetation Indices for Predicting the Growth and Harvest Rate of Lettuce. **Agriculture**, v. 13, n. 5, p. 1091, 2023.
- SANTOS, V. M.; MELO, A. V.; CARDOSO, D. P.; GONÇALVES, A. H.; VARANDA, M. A. F.; TAUBINGER, M. Uso de bioestimulantes no crescimento de plantas de *Zea mays* L. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 307-318, 2013.
- SIVRITEPE, N.; SIVRITEPE, H. Ö. Organic priming with seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) affects viability of pepper seeds. **Asian Journal of Chemistry**, v. 20, n. 7, p. 5689-5694, 2008.
- VARMA, M. N.; PALAI, J. B.; MAHAPATRA, A.; BERA, M. Growth, yield and economics of hybrid maize (*Zea mays* L.) as affected by plant density and fertilizer levels. **Crop Research**, v. 57, n. 3, p. 151-155, 2022. <https://doi.org/10.31830/2454-1761.2022.022>
- WAGNER, M. V.; JADOSKI, S. O.; SANTOS, A. L. dos; POTT, C. A.; SUCHORONCZEK, A. Avaliação do ciclo fenológico da cultura do milho em função da soma térmica em Guarapuava, Sul do Brasil. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 4, n. 1, p. 135-149, 2011.

Contribuição dos autores: E.V.L.N., J.H.B.S., C.M.S. e T.R.S.C – metodologia, coleta de dados, redação (revisão e edição), administração e escrita; A.V.S. – validação, redação (rascunho original) e análise estatística; F.M.- orientação e revisão. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Coordenação Brasileira de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES (Bolsa de Mestrado para o primeiro autor).

Revisão por comitê institucional: Não se aplica.

Comitê de Ética: Não se aplica.

Disponibilização de dados: **Contribuição dos autores:** Os dados desse estudo podem ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente ou primeiro autor, através do e-mail (erasnetinhow@gmail.com).

Conflito de Interesse: Os autores declaram que não existem conflitos de interesse com outros pesquisadores ou instituições.