

USO DO ÍNDICE SAVI PARA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE E TEOR DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO NO ESTADO DE SERGIPE

JOHN ALAN ALVES DE MACEDO ¹, DIEGO CAMPANA LOUREIRO ², ANDRÉ QUINTÃO DE ALMEIDA ³, JLYEL MAX SANTOS DA CRUZ ⁴, WELINGTON GONZAGA DO VALE ⁵, JULIANA ARAUJO ALVES DA SILVA ⁶

¹ Eng. Agrícola, Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, UFS, São Cristóvão - SE, johna@gmail.com

² Eng. Agrônomo, Prof. Dr., Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, UFS, São Cristóvão - SE

³ Eng. Florestal, Prof. Dr., Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, UFS, São Cristóvão - SE

⁴ Eng. Agrícola, Graduando, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, UFS, São Cristóvão - SE

⁵ Eng. Agrícola, Prof. Dr., Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, UFS, São Cristóvão - SE

⁶ Eng. Agrícola, Graduanda, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, UFS, São Cristóvão - SE

Apresentado no
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

RESUMO: O nitrogênio (N) é crucial na alta produtividade do milho, potencializada por modelos matemáticos regionais. Este estudo avalia o impacto da adubação nitrogenada no Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e estimativas de produtividade e nitrogênio foliar. Na fase R4 do milho em Sergipe, Brasil, o SAVI, coletado por drone, oferece os melhores resultados de R² para estimar produtividade e nitrogênio foliar. O tratamento com 200 kg ha⁻¹ de N alcança a maior produtividade média (5.341 kg ha⁻¹). Para o teor de N foliar, 400 kg ha⁻¹ de N atinge o valor máximo médio (23,2 kg ha⁻¹). As equações polinomiais de 1º grau permitem estimar a produtividade (R²=0,6674) e o teor de N foliar (R²=0,6137): Produtividade a 13% de umidade = 110.947 * (SAVI) - 11.993; e Teor de N foliar = 314.053 * (SAVI) -25.441. Os erros médios são de -0,095 kg ha⁻¹ para produtividade e 0,03 g ha⁻¹ para o N foliar, conforme as equações estabelecidas.

PALAVRAS-CHAVE: adubação, agricultura de precisão; drone

USE OF THE SAVI INDEX TO ESTIMATE PRODUCTIVITY AND NITROGEN CONTENT IN CORN CROPS IN THE STATE OF SERGIPE

ABSTRACT: Nitrogen (N) is crucial for high corn productivity, enhanced by regional mathematical models. This study assesses the impact of nitrogen fertilization on the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and estimates of productivity and leaf nitrogen. During the R4 phase of corn in Sergipe, Brazil, SAVI, collected by drone, provides the best R² results for estimating productivity and leaf nitrogen. The treatment with 200 kg ha⁻¹ of N achieves the highest average productivity (5,341 kg ha⁻¹). For leaf N content, 400 kg ha⁻¹ of N reaches the maximum average value (23.2 kg ha⁻¹). First-degree polynomial equations allow estimating productivity (R²=0.6674) and leaf N content (R²=0.6137): Productivity at 13% moisture = 110.947 * (SAVI) - 11.993; and Leaf N content = 314.053 * (SAVI) -25.441. The mean errors are -0.095 kg ha⁻¹ for productivity and 0.03 g ha⁻¹ for leaf N, according to the established equations.

KEYWORDS: drone, fertilization; precision agriculture

INTRODUÇÃO: A agricultura de precisão é um sistema de gerenciamento que otimiza a produção e minimiza o impacto ambiental das práticas agrícolas. Essa abordagem envolve o uso de tecnologias avançadas, como drones, sensores e big data. E, desta forma, possibilita a coleta e análise dos dados sobre culturas e condições do solo em tempo real, com maior sustentabilidade e economia nas lavouras (EMBRAPA, 2023). Os drones, também conhecidos como aeronaves remotamente pilotadas (ARPs), são uma ferramenta promissora para a agricultura de precisão devido à sua capacidade de capturar de forma rápida dados de alta precisão em grandes áreas. Os drones ganharam grande popularidade na agricultura por sua capacidade de fornecer dados em tempo real sobre as condições das lavouras e possibilitar práticas de agricultura de precisão (EMBRAPA, 2023). Com a ajuda de sensores avançados e tecnologia de imagem, os drones podem coletar imagens de alta resolução de culturas e analisá-las para detectar variações na saúde das plantas, umidade do solo e níveis de nutrientes. Dentro desse contexto tecnológico, destaca-se a cultura do milho no Brasil, que adquiriu o posto de alimento mais produtivo do mundo devido a sua versatilidade de consumo. É um grão que pode ser utilizado desde a produção animal até a produção de derivados alimentícios e não alimentícios. (SILVA; HERMANN, 2013). Nos últimos anos, a cultura do milho no Brasil experimentou importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos de produtividade. Um dos principais fatores para a construção de alta produtividades na cultura do milho está relacionado com o manejo de nutrientes. O nitrogênio (N) desempenha muitos papéis na fisiologia do milho e gerenciar a sua aplicação requer métodos de diagnóstico precisos, os quais estão ligados a decisões agrícolas em tempo real, por meio da avaliação de variáveis do solo e da planta durante o desenvolvimento da cultura (VIAN, 2018). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adubação nitrogenada (ou de doses de nitrogênio) no Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI, sigla em inglês) e estimar a produtividade e o índice de nitrogênio foliar através deste índice.

MATERIAL E MÉTODOS: O presente experimento foi realizado no Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, localizado no município de São Cristóvão – SE, cujas coordenadas são -10,92447 S -37,19924 O. De acordo com a classificação de Koppen, o clima da área é do tipo ‘As’, verão seco e tropical chuvoso. A semeadura do milho foi realizada manualmente no dia 05 de julho de 2022, utilizando-se o híbrido SHS 7939 PRO2. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico e foi previamente preparado por meio de duas passagens de grade intermediária. A primeira gradagem aconteceu um mês antes da semeadura com o objetivo de incorporar 1,5 Mg ha⁻¹ de calcário aplicado à lanço. A segunda gradagem foi realizada no dia anterior ao da semeadura. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com seis tratamentos e seis repetições. Os tratamentos corresponderam às seis doses de nitrogênio utilizadas (0, 25, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de N), onde 35% dessa dose foi aplicada no momento da semeadura e os outros 65% em cobertura no estágio V4. A área experimental ocupou uma área de 864 m². As parcelas experimentais consistiram em áreas de 8 x 3 m. A população de plantas adotada foi de 62.500 plantas por hectare e espaçamento entre linhas de 0,5 m. A parcela útil para a realização das avaliações foi de 12 m², obtida a partir da exclusão das fileiras marginais e das primeiras e últimas 3 plantas do tratamento. As doses de nitrogênio para os tratamentos 1 ao 5 foram 0, 25, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ respectivamente, na forma de ureia (40% de N), sendo que 35% da dose total foi aplicada na semeadura e 65% em cobertura no estágio V4 do milho. Durante a semeadura do milho também foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de pentóxido de fósforo (P₂O₅), através de superfosfato simples e cloreto de potássio, e 40 kg ha⁻¹ de óxido de potássio (K₂O) ao longo de toda a cultura. Para a demarcação da área, foi utilizado um dispositivo GNSS RTK da marca *Timberland* para um georreferenciamento

preciso da área do experimento, linhas de plantio e plantas analisadas. Utilizamos o drone multirrotor DJI Phantom 4 Pro que possui câmera RGB de 20 megapixels, e acoplamos câmeras multiespectrais MAPIR OCN e RGN. Os voos de drone foram feitos a uma altura de 30 metros de altura do solo com uma velocidade de 5 m s^{-1} . Foi optado por não realizar a irrigação da cultura durante todo o seu desenvolvimento. Na figura a seguir (Figura 1) é possível verificar os dados de precipitação da área de estudo durante o ano de 2022, considerando a precipitação diária e a acumulada. Através da leitura do gráfico, pode-se perceber picos de alta intensidade de precipitação nas fases e baixo volume de precipitação em alguns períodos e baixo volume nos demais períodos.

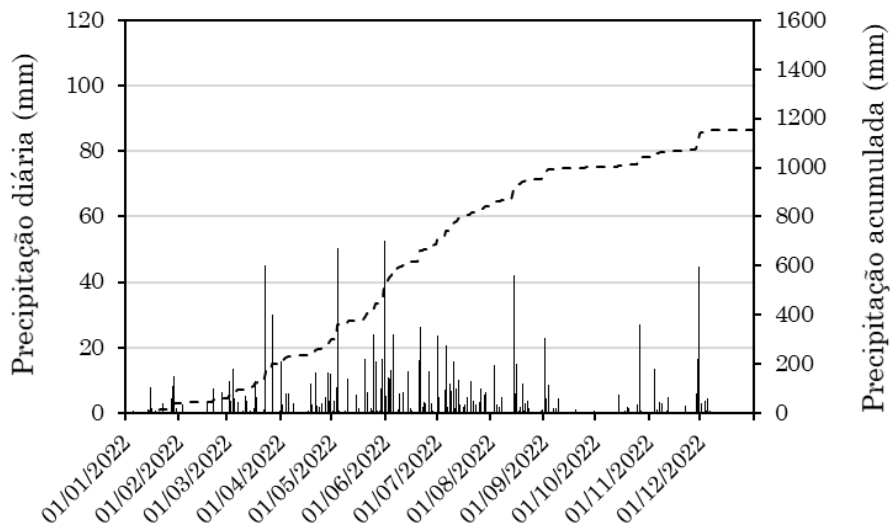


FIGURA 1. Dados de precipitação na área de estudo no ano de 2022.

Durante o crescimento do milho, foi mensurado o índice de clorofila nas diferentes parcelas da plantação a cada 15 dias, os quais foram correlacionados com imagens aéreas multiespectrais. Em cada parcela foram selecionados, ao acaso, 3 plantas nas 4 fileiras centrais (excluindo-se a primeira e a última) para realizar a coleta quinzenal destes dados até a maturação da planta. Por fim, a colheita foi realizada no dia 31/10/2022, com as espigas de milho apresentando um índice médio de umidade de 14,65%. Em seguida, a produtividade foi calculada através da pesagem das espigas com palha, e, pós descascadas e debulhadas, foi estimado o índice de matéria seca dos grãos de milho. Os valores de produtividade foram ajustados para 13% de umidade do milho, valor padrão para experimentos. Após a maturação da planta, coletou-se a 4 folhas de cada planta das linhas centrais das regiões plantadas, sendo dividida em 3 repetições, de forma que as folhas coletadas na segunda linha são a primeira repetição, as da terceira linha a segunda repetição e as plantas coletadas na quarta e quinta linha correspondem a terceira repetição. Estes materiais foram levados ao laboratório de Remediação de Solos para estimar o nitrogênio foliar. A estimativa de nitrogênio foliar foi realizada através de 3 principais etapas, são elas: a digestão, destilação e titulação, que foram realizadas de acordo com SILVA (2009). O processamento de dados ocorreu no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento da UFS – SERGEO. Para a realização da análise e tratamento dos dados espaciais obtidos por drone, *Mapir* e GNSS foram utilizados os softwares *ArcGis* e *Metashape*. Também foram realizadas análises estatísticas por meio dos softwares *Microsoft Excel*, *R* e *Sisvar*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores de refletância foram registrados em várias datas durante diferentes estágios fenológicos, seguindo a metodologia de Magalhães (2006):

07/07/2022 (VE), 21/07/2022 (V2), 28/07/2022 (V4), 04/08/2022 (V6), 18/08/2022 (V8), 25/08/2022 (R1), 01/09/2022 (R3), 13/09/2022 (R4), 22/09/2022 (R5) e 06/10/2022 (R6). Utilizando o índice SAVI, foram correlacionados com a produtividade e o teor de nitrogênio foliar (Figura 2).

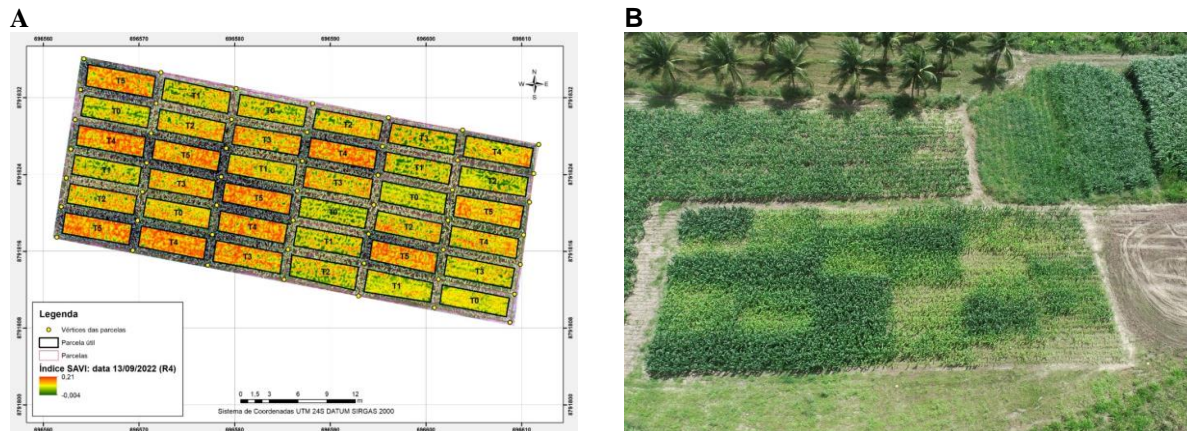


FIGURA 2. No dia 13/09/2022, o índice SAVI indicou que as regiões avermelhadas apresentaram maior teor de nitrogênio (A). A observação do experimento revelou que as áreas com maior densidade e coloração mais escura correspondiam às regiões com maior aplicação de nitrogênio (B).

Na análise da produtividade com 13% de umidade em cada parcela, os tratamentos 0, 1, 2, 3, 4 e 5, com doses de nitrogênio de 0, 25, 50, 100, 200 e 400kg ha⁻¹, tiveram produtividade média de 456, 1271, 2029, 3175, 5341 e 4178 kg ha⁻¹, com desvio padrão de 309, 571, 513, 514, 545 e 738 kg ha⁻¹, respectivamente. Analisando o teor de nitrogênio foliar em cada parcela, os tratamentos 0, 1, 2, 3, 4 e 5, apresentaram teor médio de 13,2; 12,2; 14,9; 14,7; 19,6; e 23,2, g ha⁻¹ com desvio padrão de 1,7; 0,7; 4,7; 2,4; 4,9; e 5,8 g ha⁻¹, respectivamente. Com base nos resultados deste trabalho, foi realizado a correlação a partir do índice SAVI com a produtividade e o teor de nitrogênio foliar. Pode-se perceber que estágio R4 de desenvolvimento do milho, manifestado nos valores referentes a 13 de setembro, apresentaram coeficiente de determinação R² mais próximos de 1 para a regressão polinomial de 1º, ou seja, uma maior correlação com o índice SAVI (Figura 3). Desta forma, pode-se induzir que o estágio R4 pode trazer resultados mais acurados de estimativas de produtividade e de teor de N foliar.

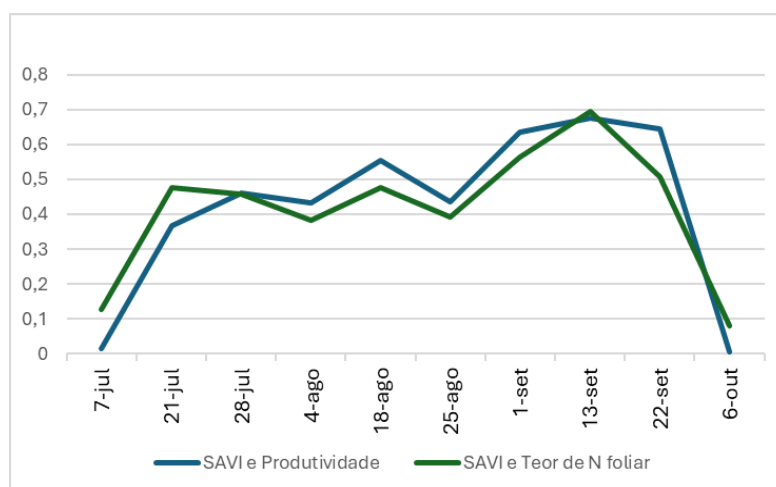


Figura 3. Resultado do R² da regressão polinomial de 1º grau entre o índice SAVI coletado e os valores reais de produtividade e teor de N foliar.

Pode-se notar que o tratamento (T4), que recebeu dose de nitrogênio de 200kg ha⁻¹, obteve o maior resultado de produtividade dentre as parcelas, atingindo uma produtividade média de 5341 kg ha⁻¹. O tratamento (T5), tratamento que recebeu dose de nitrogênio de 400kg ha⁻¹, obteve os maiores valores de teor de nitrogênio foliar dentre as parcelas, atingindo um teor médio de 23,2 g kg⁻¹.

No estágio fenológico R4 (13/set), o milho refletiu radiação eletromagnética com alta correlação às suas características produtivas (Figura 4), permitindo a estimativa de produtividade pela equação polinomial de 1º grau (R²=0,6674) (Eq. 1).

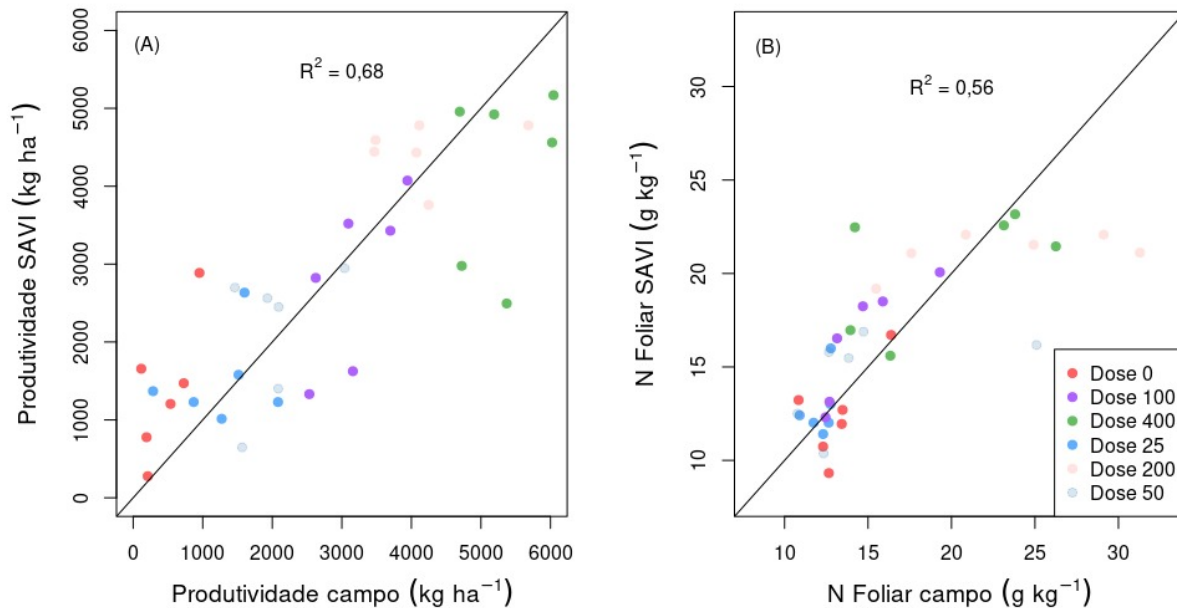


Figura 4. Regressão linear entre o índice SAVI e as variáveis analisadas no dia 13/09/2022.

A produtividade de milho pode ser estimada através da seguinte equação polinomial de 1º (Eq. 1), com R²=0,6674:

$$P13U = 110.947 \times (\text{SAVI}) - 11.993 \quad (1)$$

Em que,

P13U = produtividade a 13% de umidade, kg ha⁻¹;

SAVI = Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.

No estágio fenológico R4 (13/set), o milho refletiu radiação eletromagnética altamente correlacionada com seu teor de N foliar (Figura 4), estimado pela equação polinomial de 1º grau (R²=0,6137).

O teor de N foliar pode ser estimado através da seguinte equação polinomial de 1º (Eq. 2), com R²=0,6137:

$$\text{TNF} = 314.053 \times (\text{SAVI}) - 25.441 \quad (2)$$

Em que,

TNF = teor de nitrogênio foliar, g ha⁻¹;

SAVI = Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.

As equações traçadas mostram erros médios de $-0,095 \text{ kg ha}^{-1}$ para a produtividade (Tabela 1) e $0,03 \text{ kg}^{-1}$ para o N foliar (Tabela 2). A variabilidade na produtividade aumentou devido ao tratamento 0 e parcelas destoantes. O N foliar teve menor variância, resultando em estimativas mais homogêneas. Além do tratamento 0, o uso de calcário de baixa qualidade e o tamanho das parcelas também influenciaram negativamente a produtividade.

TABELA 1. Valores de produtividade obtidos através da regressão do SAVI referente a 13/set.

Bloco	Tratamento	SAVI	Produtividade média observada (kg ha^{-1})	Produtividade média estimada (kg ha^{-1})	Diferença (kg ha^{-1})
0	0	0,121	456	1379	-923
1	25	0,122	1271	1509	-238
2	50	0,127	2029	2118	-88
3	100	0,133	3175	2800	375
4	200	0,146	5341	4180	1161
5	400	0,148	4178	4465	-287
Média		0,13	2742	2742	-0,095

TABELA 2. Valores de N foliar obtidos através da regressão do SAVI referente a 13/set.

Bloco	Tratamento	SAVI	N foliar médio observado (g ha^{-1})	N foliar médio estimado (g ha^{-1})	Diferença (g ha^{-1})
0	0	0,121	13,2	12,4	0,8
1	25	0,122	12,2	12,8	-0,6
2	50	0,127	14,9	14,5	0,4
3	100	0,133	14,7	16,4	-1,7
4	200	0,146	19,6	20,3	-0,7
5	400	0,148	23,2	21,1	2,1
Média		0,13	16,3	16,3	0,03

Ferreira (2020) concluiu que o SAVI é o índice mais eficaz para estimar a produtividade e biomassa do milho. No presente experimento, os valores de R^2 obtidos com o SAVI também foram mais próximos de 1 do que com o NDVI, devido à alta variabilidade de densidade de vegetação causada pelo parcelamento das doses de nitrogênio. Cassiano (2021) afirmou que um R^2 abaixo de 0,5 não prevê bem a variação da produção usando índices de vegetação. Assim, a relevância dos dados obtidos nas datas selecionadas é destacada, pois eles atingiram valores de R^2 superiores a 0,5.

CONCLUSÕES: Com base nos resultados desta pesquisa o estágio R4 do desenvolvimento do milho, oferece estimativas mais precisas de produtividade e teor de nitrogênio foliar com o índice SAVI coletado por drone. As equações fornecem uma base para estimar a produtividade e o teor de nitrogênio foliar, com erros médios aceitáveis, permitindo uma previsão confiável desses parâmetros cruciais para a agricultura.

REFERÊNCIAS:

EMBRAPA. **A agricultura de precisão no contexto do sistema de produção: lucratividade e sustentabilidade**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnicas/-/produto-servico/528/agricultura-de-precisao>. Acesso em: 28/02/2023.

CASSIANO, Erika Vieira. **Previsão de safras de cultivos anuais: estimativa com índices espectrais de vegetação**. Trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentado a UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. 2021.

FERREIRA, Elton José Sant'ana. **Avaliação de índices de vegetação para estimativa de produtividade do milho em sistemas de manejo do solo no cerrado**. 2020. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Iha Solteira, 2020. disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/194159>. Acesso em: 27 nov. 2021.

SILVA, F. C. (eds.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 627, 2009.

SILVA, J. R. P.; HERMANN, E. R. **Fontes de potássio para a cultura do milho (Zea mays, L.)**. Congresso brasileiro de ciência do solo. 2013.

VIAN, A. L., et al. Limites críticos de ndvi para estimativa do potencial produtivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.1, p. 91-100, 2018. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/829/1335>.