

COMPARAÇÃO ESPECTRAL ENTRE MULTI SENSORES ORBITAIS PARA A ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR EM PERNAMBUCO

JOSÉ GALDINO DE O. JÚNIOR¹, DAVI DE FARIAS THORPE², CAMILA GOMES B. DE MELO³, MÁRIO MONTEIRO ROLIM⁴, CRISTINA RODRIGUES NASCIMENTO⁵, PABRÍCIO MARCOS O. LOPES⁶

¹ Mestrando em Eng. Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, PGEA/UFRPE, (81) 3320-6279, dinojr95@gmail.com

² Mestrando em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, PGEA/UFRPE, Recife – PE.

³ Mestrando em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, PGEA/UFRPE, Recife – PE.

⁴ Doutor em Engenharia Agrícola, Professor titular, Depto. de Engenharia Agrícola, DEAGRI/UFRPE, Recife – PE.

⁵ Doutora em Engenharia Agrícola, Professora associada, Depto. de Agronomia, DEPA/UFRPE, Recife – PE.

⁶ Doutor em Sensoriamento Remoto, Professor associado, Depto. de Agronomia, DEPA/UFRPE, Recife – PE.

Apresentado no
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: O Índice de Área Foliar (IAF) obtido a partir de dados de sensores orbitais surge como uma ferramenta muito importante para monitoramento remoto de culturas agrícolas no campo, pois é capaz de obter informações pertinentes em curto espaço de tempo como: área plantada, produtividade e existência de ervas daninhas, pragas ou doenças. Assim, este estudo tem como objetivo comparar os sensores OLI, MUX e MSI – satélites LANDSAT 8, CBERS 4 e Sentinel 2A, respectivamente –, na estimativa de produção de cana de açúcar em uma área localizada na Usina Cucaú, Rio Formoso-PE, entre os anos de 2016 a 2020. Com o auxílio dos softwares QGIS, SAGA e GRASS GIS, foram realizadas as etapas de geração dos índices espectrais de vegetação – “IV” (NDVI, EVI, SAVI e VARI); criação dos mapas de uso e cobertura da terra; e validação da acurácia dos resultados encontrados. Posteriormente, os IV’s que obtiveram melhor qualidade de mapeamento (de acordo com o sensor orbital) foram utilizados na geração do IAF para o mapeamento da produção para a área de estudo. Os melhores resultados foram encontrados pelos índices VARI (para o OLI), NDVI (para o MUX) e SAVI (para o MSI) com índices Kappa (0,43; 0,44 e 0,45), Exatidões globais (72,68%; 73,16% e 72,30%), Acurácias do Produtor (71,71%; 71,50% e 73,39%) e Acurácias do Usuário (72,88%; 75,96% e 73,33%), todos valores médios respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: IAF, índices de vegetação, sensoriamento remoto.

SPECTRAL COMPARISON BETWEEN MULTI ORBITAL SENSORS FOR THE ESTIMATION OF SUGAR CANE YIELD IN PERNAMBUCO

ABSTRACT: The Leaf Area Index (LAI) obtained from data from orbital sensors appears as a very important tool for remote monitoring of agricultural crops in the field, as it is able to obtain pertinent information in a short period of time such as: planted area, productivity and existence of weeds, pests or diseases. Thus, this study aims to compare the OLI, MUX and MSI sensors – LANDSAT 8, CBERS 4 and Sentinel 2A satellites, respectively – in estimating sugarcane production in an area located at Usina Cucaú, Rio Formoso - PE, from 2016 to 2020. With the help of QGIS, SAGA and GRASS GIS software, the stages of generation of

spectral vegetation indices – “IV” (NDVI, EVI, SAVI and VARI) were carried out; creation of land use and land cover maps; and validation of the accuracy of the results found. Subsequently, the IV's that obtained better mapping quality (according to the orbital sensor) were used in the generation of the LAI for mapping the production to the study area. The best results were found by the VARI (for the OLI), NDVI (for the MUX) and SAVI (for the MSI) indices with Kappa indices (0.43, 0.44 and 0.45), Global Accuracies (72.68%; 73.16% and 72.30%), Producer Accuracies (71.71%; 71.50% and 73.39%) and User Accuracies (72.88%; 75.96% and 73.33%), all mean values respectively.

KEYWORDS: LAI, remote sensing, vegetation indices.

INTRODUÇÃO: Devido à crescente demanda da utilização dos derivados da cana-de-açúcar para garantir a segurança alimentar e desenvolvimento sustentável, a obtenção de informações inerentes aos processos dessa cultura (como área plantada, área colhida, regiões de expansão e produção) tornam-se uma importante ferramenta de tomada de decisão para um bom gerenciamento produtivo no campo (MARIN et al., 2015; LISBOA et al., 2018; LUCIANO et al., 2018). Entre os meios mais utilizados de avaliação espaço-temporal de culturas agrícolas em campo, têm-se os modelos de produção, que se caracterizam pelo uso de variáveis biofísicas advindas de dados de sensoriamento remoto e/ou extraídas em campo, para detecção e monitoramento de características fenológicas como: grau de desenvolvimento, estimativa de biomassa, teor de clorofila, produtividade, estresse hídrico e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (MARIN et al., 2015; PAGANI et al., 2017; WANG et al., 2020). Dentre essas variáveis, o IAF (Índice de Área Foliar) destaca-se por ser um indicador de processos específicos ocorridos na planta como: evapotranspiração, fotossíntese, respiração, interceptação da luz solar. E, por isso, a sua estimação torna-se uma das etapas mais importantes em estudos relacionados à produção agrícola (MOREL et al., 2014; CHEN et al., 2018). Yang et al. (2012) e Mokhtari et al. (2018) afirmam que existem diversas formas de estimar o IAF a partir de dados de sensoriamento remoto, todavia, a forma mais prática e aceita por ambos autores é a criação de uma equação de regressão linear baseada na correlação existente entre o IAF e índices de vegetação. Contudo, Liu et al. (2012) reforçaram que ainda são poucos os trabalhos que avaliam a performance dos diversos índices de vegetação para a estimativa do IAF e que consideram a influência do sensor orbital na obtenção desses parâmetros biofísicos, o que acarreta em uma limitação da aplicabilidade espaço-temporal dos modelos de produção agrícola (GALVÃO et al., 2006; CHEN et al., 2018). Portanto, este estudo tem como objetivo comparar a eficácia dos sensores orbitais OLI (LANDSAT 8), MUX (CBERS 4) e MSI (SENTINEL 2A) na detecção da estimativa de produção de uma determinada área cultivada com cana-de-açúcar em Rio Formoso – PE entre os anos de 2016 e 2020, através da avaliação do comportamento espectral dessa cultura agrícola retratada nos índices de vegetação (NDVI, SAVI, EVI e VARI) e nos seus respectivos IAFs.

MATERIAL E MÉTODOS: A área de estudo está inserida entre as coordenadas 8°38'24" a 8°39'18" de Latitude Sul e 35°16'08" a 35°17'19" de Longitude Oeste e compreende uma porção de aproximadamente 262,5 ha dos talhões de cana-de-açúcar da Usina Cucaú, situada no município de Rio Formoso – PE (Figura 1), fazendo parte da microrregião da Mata Meridional do Estado, a 92 km da capital Recife (SILVA et al, 2009). Este Município possui um relevo ondulado e forte ondulado, clima tropical chuvoso (tipo As' - segundo classificação de Köppen), uma variação anual de temperatura de 22°C a 31°C, e precipitação pluviométrica anual de 2.788,4 mm. O solo do local é classificado como Latossolo Amarelo distrófico (SIMÕES NETO et al., 2012; SILVA et al., 2014b).

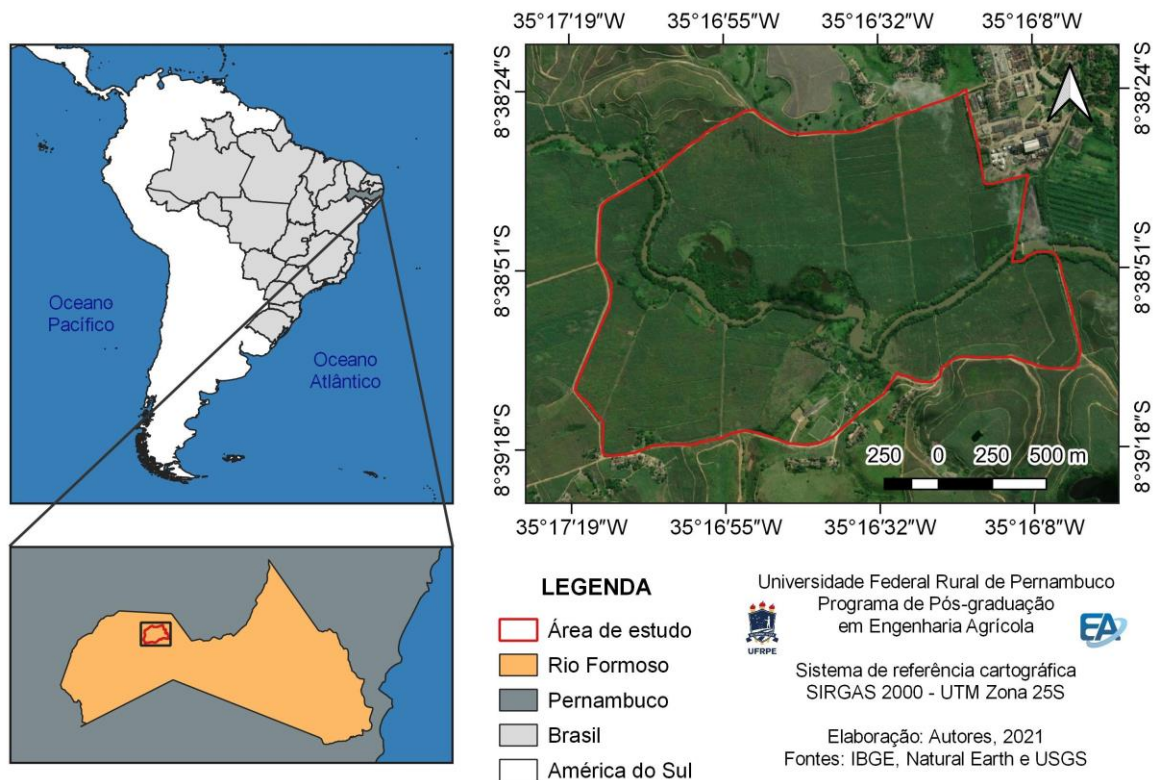


FIGURA 1. Localização espacial da área de estudo avaliada nesse trabalho.

O processamento digital dos dados orbitais adquiridos ocorreu nos softwares QGIS (versão 3.10.9), SAGA (versão 2.3.2) e GRASS GIS (versão 7.8.3), onde foram realizadas cinco etapas, a saber:

- a) Pré-processamento digital das imagens (correções geométrica, radiométrica e atmosférica);
- b) Geração dos índices espectrais de vegetação NDVI, EVI, SAVI e VARI (Eqs. 1, 2, 3 e 4, respectivamente);

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

$$EVI = G \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L} \quad (2)$$

$$SAVI = \frac{(1+L_s)(\rho_{nir} - \rho_{red})}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L_s} \quad (3)$$

$$VARI = \frac{\rho_{green} - \rho_{red}}{\rho_{green} + \rho_{red} - \rho_{blue}} \quad (4)$$

Em que: ρ_{red} , ρ_{green} , ρ_{blue} e ρ_{nir} são as refletâncias das bandas do vermelho, verde, azul e infravermelho próximo (respectivamente) e as constantes G, C1, C2, L e LS são simultaneamente 2,5; 6; 7,5; 1 e 0,5 (HUETE, 1988; HUETE et al., 1997; JENSEN, 2011).

- c) criação dos mapas de uso e cobertura da terra;
- d) Avaliação da acurácia espacial e;
- e) Geração dos mapas de produção de acordo com o IAF de cada sensor orbital.

Baseando-se na interpretação visual das imagens em falsa-cor (composições 5(R)4(G)3(B), 8(R)7(G)6(B) e 8(R)4(G)3(B), respectivamente LANDSAT 8, CBERS 4 e SENTINEL 2A) e em imagens do Google Earth, foi realizada a classificação supervisionada (através do algoritmo MAXver) para a determinação das classes de referência que foram utilizadas na geração dos mapas de uso e cobertura da terra que serviram como base para a etapa de validação dos resultados encontrados pelos índices de vegetação de cada sensor orbital, como sugerido por Chen et al. (2018). Tais classes geradas foram posteriormente subdivididas em dois tipos: áreas com vegetação de cana de açúcar e áreas sem essa vegetação (áreas de solo exposto, corpos hídricos, nuvens e/ou sombras). A partir da coleta de 305 pontos amostrais, foi realizado o diagnóstico da correlação linear existente entre os dados amostrais de cada satélite, avaliando-os de acordo com dois parâmetros estatísticos: Root Mean Square Error (RMSE) e Mean Difference (BIAS). Após essa avaliação gráfica preliminar, foi realizada a classificação não supervisionada de todas as imagens referentes aos índices espectrais, dividindo-as em duas classes (área com cana de açúcar e áreas sem cana de açúcar), através do algoritmo classificador K-means. A avaliação da acurácia desses dados amostrais foi realizada através da matriz de confusão gerada na ferramenta r.Kappa (presente no software GRASS GIS), em comparação aos mapas de uso e cobertura da terra. Onde se pôde atestar a qualidade dos mapeamentos realizados a partir dos coeficientes estatísticos: Índice Kappa e Exatidão Global, Acurácia do Produtor e Acurácia do Usuário (YAWSON et al., 2018). Por fim, os índices de vegetação que melhor discriminaram as características espectrais do dossel vegetativo da cana de açúcar, de acordo com cada sensor orbital, foram utilizados na obtenção do IAF, através da aproximação semi-empírica desenvolvida por Baret & Guyot (1991) que considera uma correlação entre estes parâmetros biofísicos baseada na equação da Perda de Beer (Eq. 5). A análise de correlação entre o IV e o IAF gerados foi realizada a partir do Coeficiente de Determinação (R^2) e do Coeficiente de Correlação de Pearson (r).

$$IAF = -\left(\frac{1}{k}\right) \ln(a(1 - b \times IV)) \quad (5)$$

Em que:

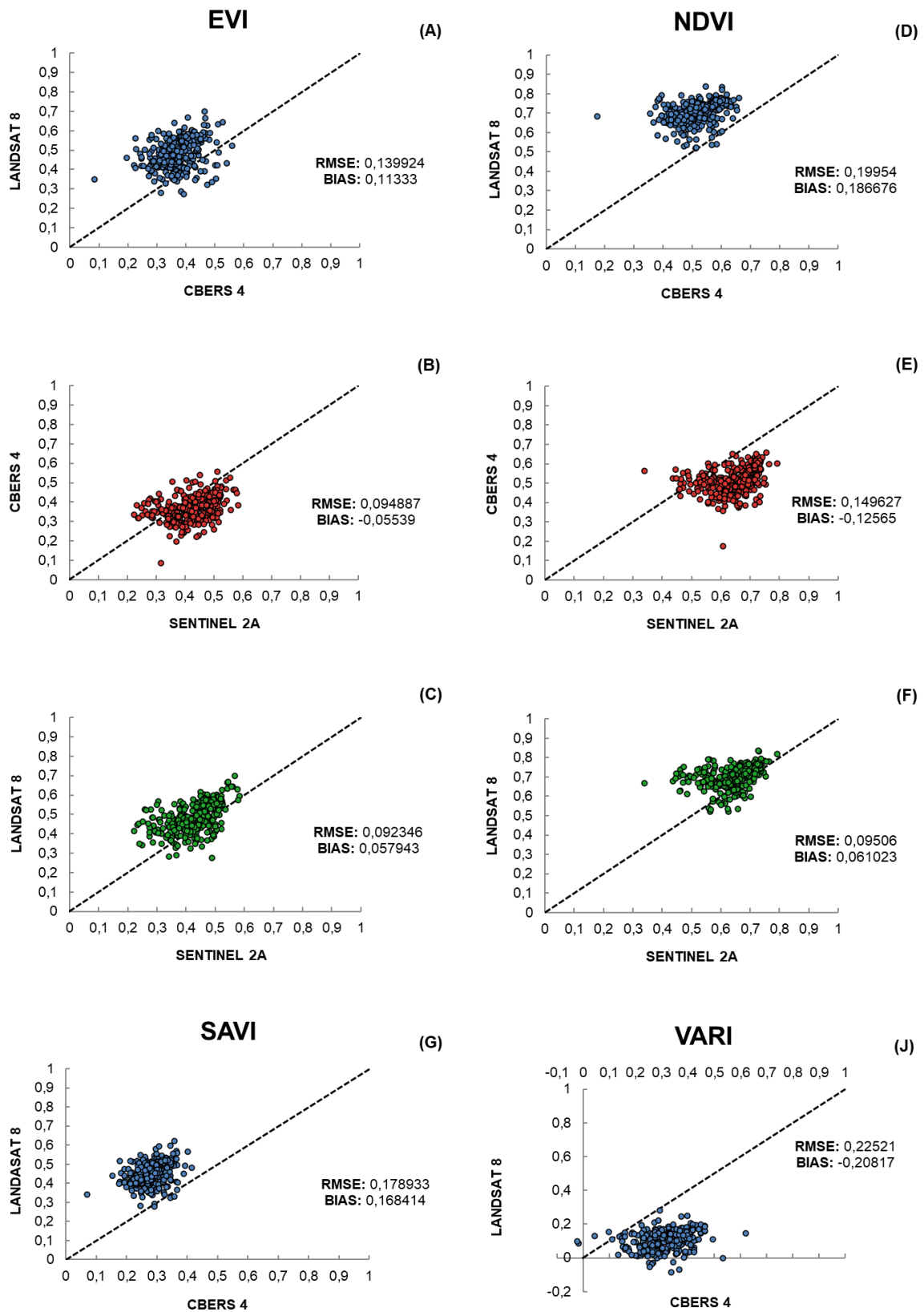
k – Coeficiente de extinção da luz solar para a vegetação analisada, sendo utilizado o valor de 0,72, como proposto por Silva et al. (2014a);

a e b – São respectivamente os valores máximo (vegetação densa) e mínimo (solo exposto) do índice de vegetação avaliado;

IV – Índice de vegetação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Ao analisar a correlação linear entre os sensores orbitais (Figura 2), pôde-se perceber os maiores RMSE e BIAS foram encontrados em comparação entre os satélites CBERS 4 e LANDSAT 8, contudo este último também apresentou valores superiores, em menor escala, quanto aos do satélite SENTINEL 2A; demonstrando assim, que de modo geral, o sensor OLI tende a aumentar os valores dos índices de vegetação (GALVÃO et al., 2006). Por outro lado, o sensor MUX obteve os menores valores dos índices EVI, NDVI e SAVI, quando comparado aos sensores OLI e MSI. Fato este, que pode ser explicado

pela sua menor resolução radiométrica (8 bits). Notou-se ainda que, esta diferença foi inversa quanto ao índice VARI: O CBERS 4 apresentou maiores amplitudes do que o LANDSAT 8 e o SENTINEL 2A.



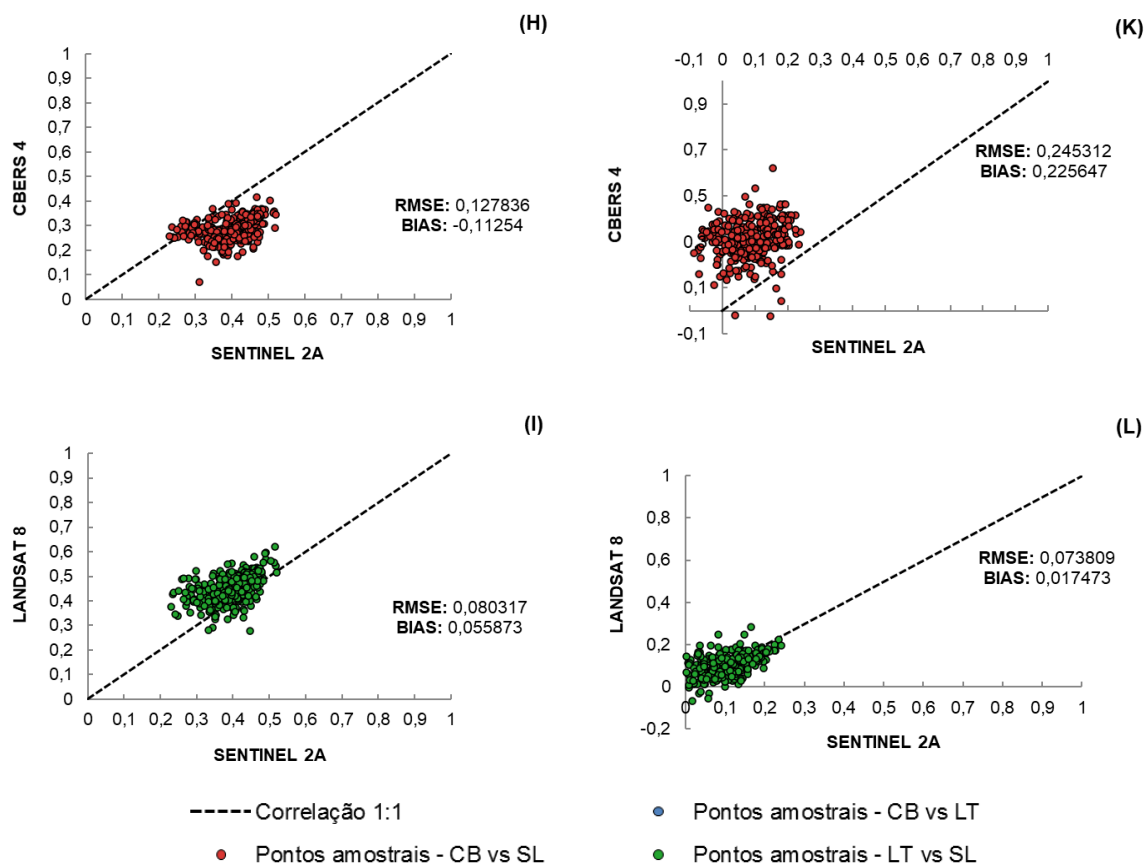


FIGURA 2. Comparação estatística entre os índices espectrais EVI (itens A, B e C), NDVI (itens D, E e F), SAVI (itens G, H e I) e VARI (itens J, K e L), em relação aos satélites Landsat 8, CBERS 4 e Sentinel 2A.

A partir da análise dos resultados gerados pela matriz de confusão criada com os mapas de uso e cobertura da terra e os índices espectrais usados nesse estudo, pôde-se encontrar como melhores índices de vegetação para cada sensor orbital (OLI, MUX e MSI), sendo respectivamente: VARI, NDVI e SAVI com índices Kappa (0,43; 0,44 e 0,45), Exatidões globais (72,68%; 73,16% e 72,30%), Acurácias do Produtor (71,71%; 71,50% e 73,39%) e Acurácias do Usuário (72,88%; 75,96% e 73,33%) (CHECHIM JÚNIOR et al., 2017). Posteriormente, foram criados os respectivos IAF's, demonstrando assim, a eficácia do mapeamento gerado. A Tabela 1 apresenta as equações para obtenção do IAF de acordo com cada sensor orbital analisado no estudo, de forma que em todos os casos, pôde-se alcançar uma ótima correlação linear entre os valores de índice foliar e os respectivos índices de vegetação, com valores de R^2 e r de 0,9888 e 0,9999; de 0,9945 e 1; e de 0,891 e 0,9999, para os satélites Sentinel 2A, CBERS 4 e Landsat 8, respectivamente (BARET; GUYOT, 1991; LIU et al., 2012; MOREL et al., 2014).

TABELA 1. Equação do IAF de acordo com o sensor orbital analisado.

Satélite	Equação do IAF
Sentinel 2A	$-\left(\frac{1}{0,72}\right) \ln(0,72(1 - 0,08 \times SAVI))$
CBERS 4	$-\left(\frac{1}{0,72}\right) \ln(0,77(1 - 0,01 \times NDVI))$
Landsat 8	$-\left(\frac{1}{0,72}\right) \ln(0,34(1 - 0,22 \times VARI))$

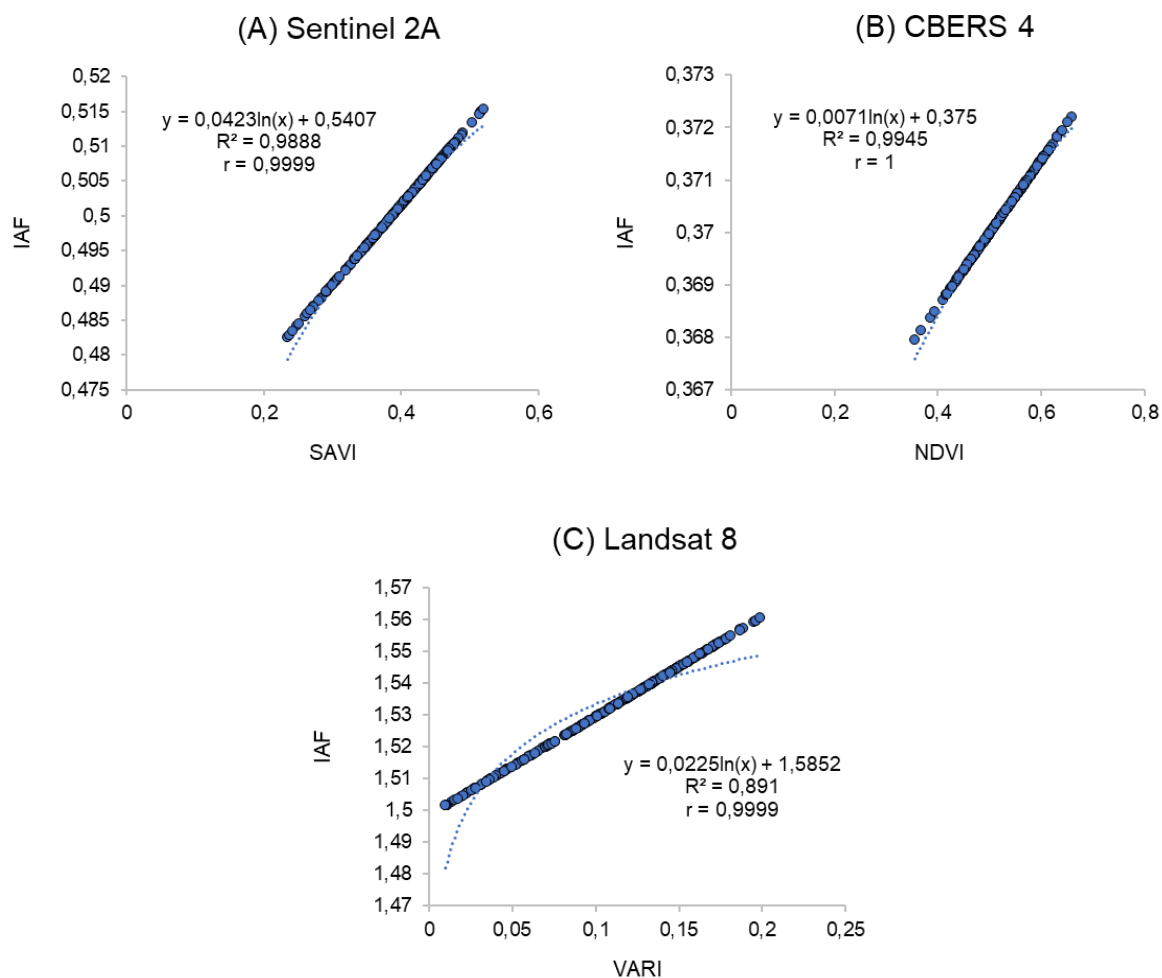


FIGURA 3. Análise da correlação linear entre os parâmetros IAF e IV para cada sensor orbital (Sentinel 2A, CBERS 4 e Landsat 8).

A Figura 4 apresenta uma análise comparativa do IAF a partir dos melhores resultados obtidos no ano de 2017, individualmente para cada satélite: Sentinel 2A (índice SAVI), CBERS 4 (índice NDVI) e Landsat 8 (índice VARI). Pôde-se destacar a proximidade de valores entre os sensores MSI e MUX, com faixas de variação de 0,44 a 0,53 e de 0,36 a 0,37, respectivamente.

Por outro lado, o IAF gerado pelo índice VARI do satélite Landsat 8 apresentou uma amplitude superior aos outros dos satélites, que pode ser justificada pela menor faixa de variação do índice VARI, resultando assim, em um aumento exponencial do índice de área foliar da cana-de-açúcar em campo (GITELSON et al., 2002).

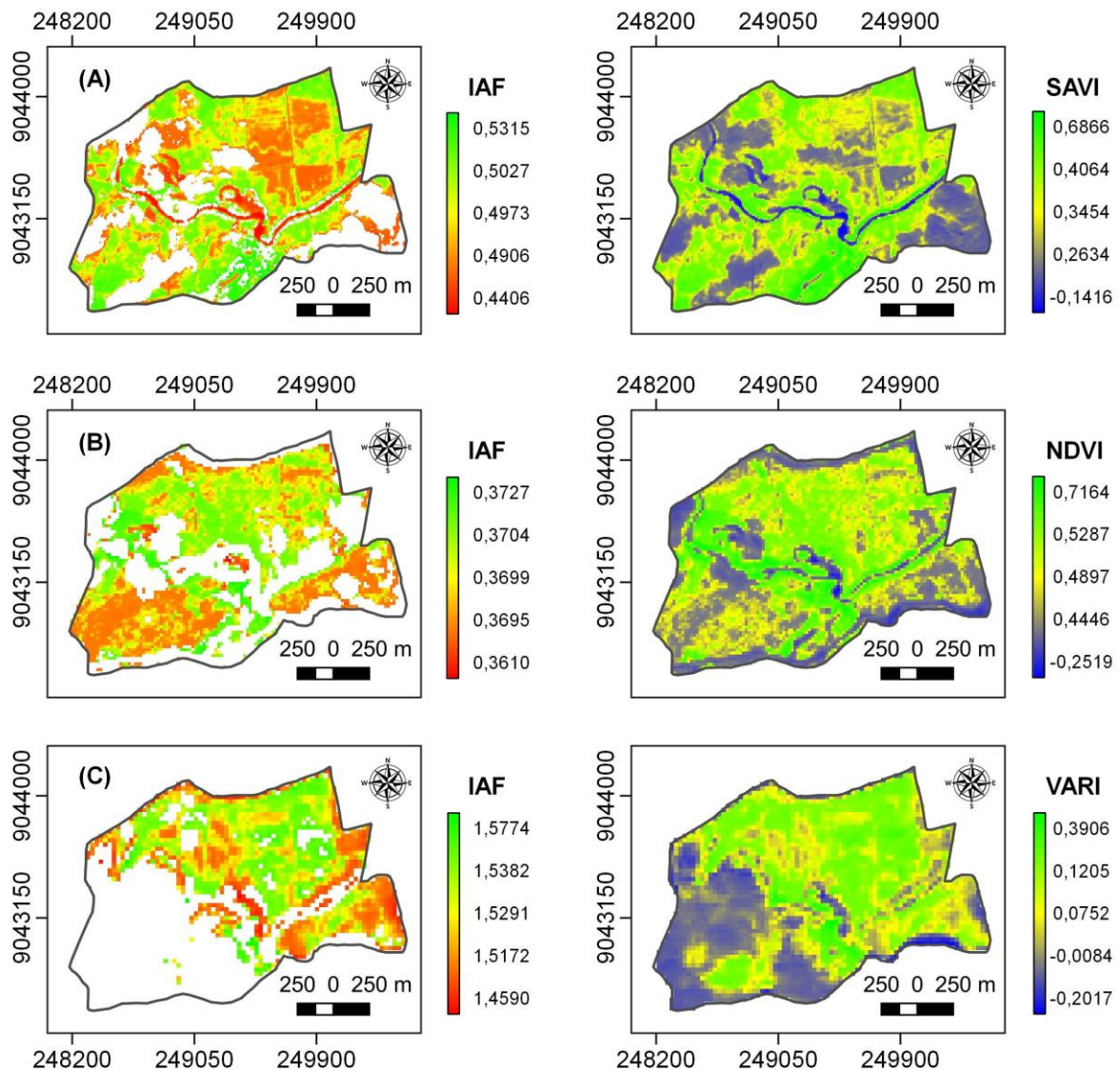


FIGURA 4. Comparação visual do IAF através dos resultados encontrados para o ano 2017 de acordo com cada satélite analisado: Sentinel 2A (A), CBERS 4 (B) e Landsat 8 (C).

CONCLUSÕES: Os sensores orbitais OLI, MUX e MSI apresentaram significativas diferenças na detecção da cultura de cana-de-açúcar na área de estudo, devido principalmente às suas respectivas arquiteturas estruturais distintas e tal fato foi refletido na obtenção um índice de vegetação mais eficiente para cada satélite (VARI, NDVI e SAVI, respectivamente). Quanto à equação dos IAF's, todos os sensores orbitais apresentaram uma alta correlação linear com seus respectivos índices de vegetação, demonstrando assim, a boa eficácia destes sensores orbitais para a detecção de áreas de produção de cana de açúcar em Pernambuco. O Sentinel 2A torna-se a melhor escolha para estudos futuros devido às suas características de resoluções espacial, temporal e radiométrica, em relação aos demais. Pode-se afirmar também que tais resultados encontrados possibilitam novas perspectivas de estudos relacionados a meios alternativos de monitoramento espaço-temporal da referida cultura em campo.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à UFRPE, FACEPE e CAPES pelos incentivos à pesquisa que possibilitaram a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS:

BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing Environment**, v. 35, p. 161-173, 1991.

CECHIM JUNIOR, C.; JOHANN, J. A.; ANTUNES, J. F. G. Mapping of sugarcane crop area in the Paraná State using Landsat/TM/OLI and IRS/LISS-3 images. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 427-432, 2017.

CHEN, Y.; ZHANG, Z.; TAO, F. Improving regional winter wheat yield estimation through assimilation of phenology and leaf area index from remote sensing data. **European Journal of Agronomy**, v. 101, p. 163-173, 2018.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; TISOT, D. A. The influence of spectral resolution on discriminating Brazilian sugarcane varieties. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 4, p. 769-777, 2006.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 76-87, 2002.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; LEEUWEN, W. V. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto da vegetação**. In: JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, Cap. 11, p. 357-410, 2011.

LISBOA, I. P.; DAMIAN, J. M.; CHERUBIN, M. R.; BARROS, P. P. S.; FIORIO, P. R.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Prediction of sugarcane yield based on NDVI and concentration of leaf-tissue nutrients in fields managed with straw removal. **Agronomy**, v. 8, n. 9, p. 196, 2018.

LIU, J.; PATTEY, E.; JÉGO, G. Assessment of vegetation indices for regional crop green LAI estimation from Landsat images over multiple growing seasons. **Remote Sensing of Environment**, v. 123, p. 347-358, 2012.

LUCIANO, A. C. dos S.; PICOLI, M. C. A.; ROCHA, J. V.; FRANCO, H. C. J.; SANCHES, G. M.; LEAL, M. R. L. V.; MAIRE, G. L. Generalized space-time classifiers for monitoring sugarcane areas in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 215, p. 438-451, 2018.

MARIN, F. R.; THORBURN, P. J.; NASSIF, D. S. P.; COSTA, L. G. Sugarcane model intercomparison: Structural differences and uncertainties under current and potential future climates. **Environmental Modelling & Software**, v. 72, p. 372-386, 2015.

MOKHTARI, A.; NOORY, H.; VASIFEDOUST, M. Improving crop yield estimation by assimilating LAI and inputting satellitebased surface incoming solar radiation into SWAP model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 250-251, p. 159-170, 2018.

MOREL, J.; BÉGUÉ, A.; TODOROFF, P.; MARTINÉ, J. F.; LEBOURGEOIS, V.; PETIT, M. Coupling a sugarcane crop model with the remotely sensed time series of FIPAR to optimise the yield estimation. **European Journal of Agronomy**, v. 61, p. 60-68, 2014.

PAGANI, V.; STELLA, T.; GUARNERI, T.; FINOTTO, G.; BERG, M. V. D.; MARIN, F. R.; ACUTIS, M.; CONFALONIERI, R. Forecasting sugarcane yields using agro-climatic indicators and Canegro model: A case study in the main production region in Brazil. **Agricultural Systems**, v. 154, p. 45-52, 2017.

SILVA, M. H.; SILVA-CUNHA, M. da G. G.; PASSAVANTE, J. Z. O.; GREGO, C. K. S.; MUNIZ, K. Estrutura sazonal e espacial do microfitoplâncton no estuário tropical do rio Formoso, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 355-368, 2009.

SILVA, T. G. F. da; MOURA, M. S. B. de; ZOLNIER, S.; MOURA, L. S. B. de; CARMO, J. F. A. do. Índices morfofisiológicos e uso de radiação solar por um cultivo de cana-de-açúcar irrigada no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 764-773, 2014.

SILVA, W. P. da; ALMEIDA, C. D. G. C. de; SILVA, V. G. de F.; BASTOS, G. Q.; MARQUES, K. P. P. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob diferentes fontes de adubação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 6, p. 476-487, 2014.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C. de; ROCHA, A. T. da; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. dos S.; NASCIMENTO, C. W. A. do. Características agroindustriais da cana-de-açúcar em função da adubação fosfatada, em solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 347-354, 2012.

WANG, J.; XIAO, X.; LIU, L.; WU, X.; QIN, Y.; STEINER, J. L.; DONG, J. Mapping sugarcane plantation dynamics in Guangxi, China, by time series Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat images. **Remote Sensing of Environment**, v. 247, p. 111951, 2020.

YANG, F.; SUN, J.; FANG, H.; YAO, Z.; ZHANG, J.; ZHU, Y.; SONG, K.; WANG, Z.; HU, M. Comparison of different methods for corn LAI estimation over northeastern China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 18, p. 462-471, 2012.

YAWSON, D. O.; ADU, M. O.; OSEI, K. N. Spatial assessment of sugarcane (*Saccharum spp. L.*) production to feed the Komenda Sugar Factory, Ghana. **Heliyon**, v. 4, n. e00903, 2018.