CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA DA SOJA, MILHO E ALGODÃO COM BASE EM DADOS SAR POLARIMÉTRICOS DO SENTINEL-1A

Lucas Volochen Oldoni [1], Ieda Del'Arco Sanches [1], Victor Hugo Rohden Prudente [1], Denis Corte Vieira [1], Fábio Furlan Gama [1]

[1]Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
lucas.oldoni@inpe.br, ieda.sanches@inpe.br, victor.prudente@inpe.br, denis.vieira@inpe.br, fabio@dpi.inpe.br

RESUMO

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para monitoramento agrícola, pois possibilita repetitividade de recobrimento e uma visão sinóptica, o que é importante em países de dimensões continentais como o Brasil. A utilização de dados de *Synthetic Aperture Radar* (SAR) possui vantagem por ser menos afetado por nuvens. Com o lançamento do Sentinel-1 tornou-se possível o monitoramento sistemático de áreas agrícolas com dados SAR. Mas ainda existe a necessidade de entender melhor a resposta de alvos agrícolas frente a este tipo de dado. Assim, o objetivo do trabalho é analisar a dinâmica da soja, milho e algodão em imagens polarimétricas do Sentinel-1A. Para a soja e algodão, os coeficientes de retroespalhamento nas polarizações VV e VH apresentaram comportamento semelhante aos dados de EVI. O atributo de Entropia aumentou até a colheita, e pode ser utilizado para estimativa desta. Assim, dados SAR polarimétricos do Sentinel-1A se mostraram promissores para monitoramento agrícola.

Palavras-chave **—** VV, VH, Entropia.

ABSTRACT

Remote sensing is an important tool for agricultural monitoring, since it provides repetitive imaging and a synoptic view, which is important in countries with continental dimensions such as Brazil. The use of Synthetic Aperture Radar (SAR) data has the advantage of being less affected by the clouds. With the launch of Sentinel-1 it is possible to systematically monitor agricultural areas with SAR data. But there is still a need to better understand the response of agricultural targets in this type of data. Thus, the objective of this work is to analyze the dynamics of soybean, corn and cotton in polarimetric images of the Sentinel-1A. For soybean and cotton, the backscatter coefficients in the VV and VH polarizations presented similar behavior to the EVI data. The Entropy attribute increased until harvest and can be used to estimate it. Thus, Sentinel-1A's polarimetric SAR data are promising for agricultural monitoring.

Key words **—** *VV, VH, Entropy.*

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, a segurança alimentar se torna uma das maiores preocupações em todo o mundo [1]. Sendo a produção agrícola essencial para suprir a crescente demanda por alimentos, produção de fibras e energia (biocombustível) [2]. Assim, o monitoramento agrícola de forma regular se torna essencial para que a produção agrícola atenda as demandas mundiais, ao mesmo tempo em que se possa controlar e minimizar os impactos causados por essa atividade [3], [4].

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que tem sido utilizada para o mapeamento e o monitoramento agrícola, por fornecer informações de grandes áreas e de difícil acesso, em tempo quase real [3], [5], [6] , bem como para complementar as metodologias utilizadas em programas oficiais. Dados de sensores ópticos, como os do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e os da série Landsat têm sido utilizados com sucesso para monitoramento agrícola [7]–[10]. Índices de vegetação (IVs) obtidos a partir desses dados, como o *Enhanced Vegetation Index* (EVI), podem ser relacionados ao estádio de desenvolvimento das culturas [8]. Porém em regiões tropicais, o monitoramento agrícola é mais desafiador devido à alta incidência de nuvens [11] e a complexa dinâmica existente [2].

Dados de sensores ativos que operam na região de micro-ondas, como os de *Synthetic Aperture Radar* (SAR), podem ser utilizados para superar tais limitações, pois são menos afetados por condições atmosféricas e nuvens. Porém a utilização de dados SAR em aplicações agrícolas ainda não foi adequadamente explorada, em parte devido à complexidade, diversidade e disponibilidade de dados SAR, e em parte devido à dificuldade de interpretação desses dados [5].

Com o lançamento dos satélites Sentinel-1A e 1B, pela Agência Espacial Europeia, cujos dados são disponibilizados sem custos para todos os usuários, surge a possibilidade de monitorar sistematicamente culturas agrícolas com dados SAR. O Sentinel-1A e 1B operam em Banda C, em modo dual e cada satélite revisita uma mesma área com um intervalo de 12 dias.

O retroespalhamento obtido pelos SAR depende da estrutura das plantas, das propriedades dielétricas do dossel, da densidade de plantio e da orientação da linha e do ângulo de incidência e polarização da onda incidente [12]. Em relação ao efeito de polarização, HH é mais sensível ao espalhamento de superfície, HV e VH à dispersão de volume, e VV é sensível tanto ao espalhamento de superfície como à dispersão de volume. A razão VH/VV pode reduzir os erros associados ao sistema de aquisição (e.g. devido à estabilidade radiométrica) ou fatores ambientais (e.g. melhor discriminação entre espalhamento volumétrico e superficial) e pode aparecer como um indicador mais estável no tempo do que o retroespalhamento em VV ou VH [5].

Os SAR polarimétricos, como o Sentinel-1 obtêm ecos de espalhamento de vários canais polarimétricos e, portanto, fornecem informações mais ricas do que a polarização única, o que pode ajudar a melhorar a segmentação, classificação, detecção de alvos e reconhecimento de padrões [13].

A decomposição de alvos é um método que representa o espalhamento de alvos por vários mecanismos básicos de dispersão [13]. A partir da decomposição de Cloude-Pottier é possivel obter os atributos polarimétricos de entropia (H) e ângulo alfa (α). Entropia é a aleatoriedade do espalhamento, que varia entre 0 (coerente) e 1 (puramente aleatório). O ângulo alfa identifica o tipo de espalhamento, que varia entre a superfície irregular (0 ° a 45°) e o espalhamento duplo (45 ° a 90 °) [14].

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é analisar a variação temporal do coeficiente de retroespalhamento nas polarizações VV e VH, da razão VH/VV e dos atributos de Entropia e ângulo α em áreas agrícolas cultivadas com soja, milho e algodão, ao longo de um ano agrícola.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Campo Verde Database

Foram utilizados dados provenientes do *Campo Verde Database* [2]. Esta base de dados contêm informações de culturas agrícolas do município de Campo Verde, estado do Mato Grosso, Brasil (Figura 1), correspondentes a outubro de 2015 a julho de 2016. Este município esta localizado no bioma Cerrado, possui temperatura média anual de 22,3º, precipitação média de 1726 mm e clima Tropical Aw de acordo com a classificação de Köppen–Geiger [15].

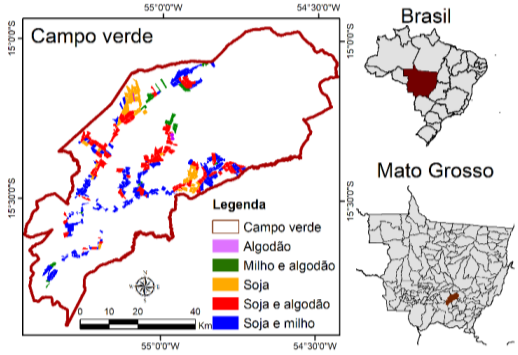


Figura 1. Município de Campo Verde, estado de Mato Grosso, Brasil.

Foram analisados as informações de áreas agrícolas cultivadas com soja, milho e algodão, que são as principais culturas presentes em Campo Verde. Para a ánalise, os talhões foram divididas em áreas com um ou dois ciclos de cultivo destas culturas. Ao todo foram analisados 428 talhões agrícolas (Figura 1), sendo 97 de áreas com um ciclo (29 e 68, para soja e algodão, respectivamente) e 328 áreas com dois ciclos (194, 131 e 2 para soja e milho, soja e algodão, milho e algodão, respectivamente).

2.2. Aquisição e processamento dos dados SAR/Sentinel-1A

Foram adquiridas 35 imagens Sentinel-1A do periodo de 30 de agosto de 2015 à 24 de agosto de 2016 em duas polarizações (VV e VH) no modo IW (*Interferometric Wide Swath*) em Level-1 SLC (*Single Look Complex*), com faixa de imageamento de 250 km e resolução espacial de 5x20m. Para cobrir a área de estudo foram necessárias duas cenas da mesma data (exceto para a data de 21/01/2016), assim foi gerada uma sequência com 18 imagens. Na área de estudo o ângulo de incidência varia de 41,4º para *near range* à 53,4º para *far range*. As imagens neste nível de processamento compreendem dados complexos com amplitude e fase. As imagens foram obtidas através do Sentinels Scientific Data Hub, e elas foram pré-processadas utilizando os aplicativos Sentinel Application Platform-SNAP e o Sentinel-1 Toolbox [16].

Inicialmente, realizou-se o *TOPSAR Split* para selecionar a faixa de imagem, e apenas os *bursts* que cobriam a área de estudo. Na sequência realizou-se o *TOPSAR Deburst*. Então o processamento se dividiu em duas partes, uma com o objetivo de se obter o coeficiente de retroespalhamento para as polarizações VV e VH, e a outra para obter os atributos polarimétricos de entropia e ângulo α.

Para se obter os coeficientes de retroespalhamento, após o *TOPSAR Deburst* foi realizada a correção de órbita (*Apply Orbit File*) e a remoção do ruído termal (*Termal Noise Removed*). Então foi realizada a calibração radiométrica para se obter o σ^0 nas polarizações VV e VH, usando o módulo "Calibration" do SNAP. A obtenção dos coeficientes de retroespalhamento possibilitou gerar a razão σ_{VV}/σ_{VH}. Na sequência foi realizado o procedimento de reamostragem através da média espacial, denominada de *Multilook* com um tamanho de janela de 4x1 pixels, sendo o espaçamento entre os pixels convertido de 2,33 e 14,05 m para 14,05 m nas direções de *range* e azimute, respectivamente. Este procedimento auxilia na redução do ruído *Speckle*.

Foi então aplicado um filtro de *Lee* com janela de tamanho de 5x5 pixels, com o objetivo de reduzir o ruído *Speckle*. Após a filtragem foi aplicado a correção do terreno (*Range Doppler Terrain Correction*) utilizando um modelo digital de elevação (DEM) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) para geocoficar as imagens. Este processo gerou imagens com resolução espacial de 14,05 m. As polarizações VV e VH foram convertidas da escala linear para a escala logarítmica (dB). Como última etapa, foi realizado o mosaico das imagens para as datas que necessitavam de duas cenas para cobrir a região de estudo.

Para a obtenção dos atributos polarimétricos, após o *TOPSAR Deburst* foi gerado a matriz de Covariância [C2], que também foi submetida ao processo de reamostragem através do *Multilook* de 4x1 pixels e filtrada com o filtro *Refined Lee* com janela de tamanho 5x5 pixels para reduzir o ruído *Speckle*. Então, foi realizada a decomposição polarimétrica H-Alpha, para se obter os atributos de entropia e ângulo α. Também foi aplicada a correção do terreno utilizando o DEM do SRTM. Após foi realizado o processo de mosaico para as imagens que necessitavam.

2.3. Dados MODIS

Para auxiliar na interpretação dos dados do Sentinel-1A, foram utilizadas dados de EVI [17] de imagens do sensor MODIS a bordo das plataformas Terra e Aqua. Ao todo foram adquiridas 44 imagens MODIS produto MOD13Q1 de EVI do portal da EMBRAPA (https://www.modis.cnptia.embrapa.br/). O produto MOD13Q1 é formado por composições de 16 dias com a melhor observação possível, gerando imagens com 8 dias de intervalo com a combinação dos dados Terra e Aqua e uma resolução espacial de 250 m [18].

2.4. Extração dos dados

Após o processamento das imagens, foram extraidos os dados das polarizações VV, VH, da razão VH/VV, de entropia e ângulo α das imagens Sentinel-1 e do EVI das imagens MODIS nas áreas de interesse. Para as análises, foi considerada a média dos pixels que se encontravam totalmente dentro do limite de cada um dos talhões agrícolas. Então foi calculada a média e desvio padrão das áreas para cada uma das classes. As classes foram formadas considerando cultivos com um ciclo anual (soja ou algodão) e com dois ciclos anuais (soja e milho ou soja e algodão ou milho e algodão).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos dados de EVI percebeu-se que para as áreas cultivadas com um ciclo anual, a soja e algodão são semeados em épocas bem distintas. Quando está próximo ao final do ciclo da soja (fevereiro/março 2016), o ciclo do algodão está inciando.

No inicío do desenvolvimento da soja (entre novembro e dezembro 2015), o retroespalhamento nas polarizações VV e VH aumenta rapidamente (Figura 2), principalmente pelo aumento da estrutura da planta. Quando o EVI chega próximo ao valor máximo e começa a decrescer, indicando o início da fase de senescência da planta, o retroespalhamento nas duas polarizações também decresce.

A razão VH/VV cresce, mais lentamente em comparação ao retroespalhamento VV e VH, até o ponto de máximo desenvolvimento vegetativo da soja (quando o EVI atinge seu valor máximo), e depois decresce continuamente até a colheita. A entropia cresce rapidamente no ínicio do ciclo, pois com o aumento da estrutura da planta o espalhamento vai se tornando mais aleatório. Durante a senescência, quando os valores de EVI começam a decrescer, a entropia continua a aumentar, mas de forma mais acentuada, pois com a queda das folhas o retroespalhamento é causado pelas vagens, que tornam esse mais aleatório. Após o rápido aumento da entropia, há uma queda acentuada causada pela colheita (março 2016). Isto é um indicativo que esse parâmetro possa ser usado para estimativa de data de colheita. A entropia volta a crescer após a colheita, causada provavelmente pelo desenvolvimento de plantas com germinação voluntária.

O algodão possui resposta semelhante ao da soja, porém o retroespalhamento em VV e VH é bem superior. Enquanto o retroespalhamento na polarização VH se torna estável por um longo período, indicando um espalhamento mais volumétrico, causado por estruturas mais aleatórias, o retroespalhamento em VV atinge uma valor máximo (março 2016), próximo ao valor de máximo EVI, e logo em seguida começa a decrescer gradualmente até a colheita (julho/agosto de 2016). A razão VH/VV possui comportamento semelhante ao VV, porém decresce mais rapidamente. A entropia aumenta gradualmente do início do ciclo até a colheita, ponto no qual observa-se uma queda abrupta de valor de entropia.

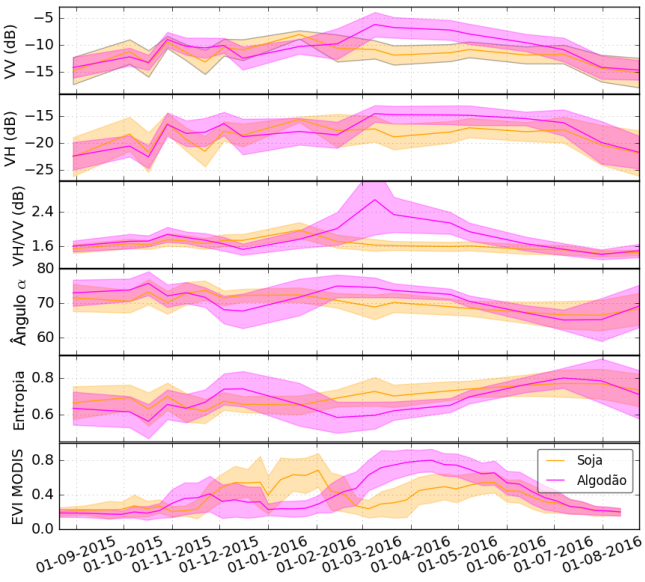


Figura 2. Dinâmica de áreas cultivadas com um ciclo anual.

A soja quando cultivada em áreas com dois ciclos anuais (Figura. 3), apresenta padrão semelhante àquela cultivada em um ciclo, independente da cultura que a sucede. O mesmo é observado para o algodão. No entanto, o milho quando é cultivado na primeira safra possui valor crescente de retroespalhamento em VV e VH no início do ciclo (setembro/outubro de 2015), até quando o EVI atinge o valor máximo (outubro de 2015), então começa a decrescer, até a colheita (janeiro/fevereiro de 2016). Liao et al. [19] encontraram boa relação entre o retroespalhamento em VH no estádio inicial de desenvolvimento do milho, mas não nas fases seguintes. Segundo os autores, o VH está representando principalmente o espalhamento de volume nos estádios iniciais de crescimento, mas uma vez que o milho se torna mais alto e mais denso, a penetração de SAR na banda C é limitada e o VH será reduzido devido ao efeito de atenuação.

Para o milho, a entropia também possui padrão semelhante no início do ciclo, mas quando o EVI e o retroespelhamento em VV e VH começam a decrescer, a entropia continua a crescer. Ocorre então queda nos valores de entropia com a colheita, semelhanteao ao que acontece com a soja e o algodão, mas ao contrário destas, a queda no milho não é abrupta. Isto pode ocorrer pela grande quantidade de resíduo restante após a colheita. Porém, quando o milho é semeado na segunda safra o

retroespalhamento aumenta pouco no inicio do ciclo, e logo já começa a decrescer. A entropia também cresce pouco e se mantém quase constante, decrescendo pouco até o final do ciclo.

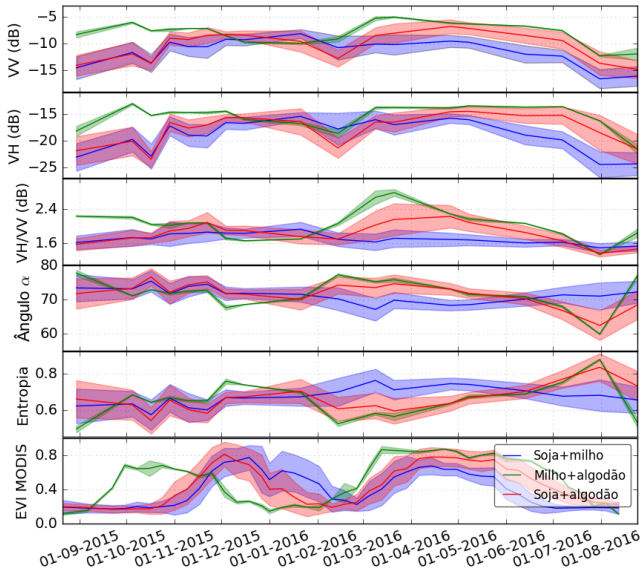


Figura 3. Dinâmica de áreas cultivadas com dois ciclos anual.

4. CONCLUSÕES

A partir dos atributos extraidos dos dados do Sentinel-1A percebe-se diferenças nas respostas das culturas analisadas, o que pode ser útil para identificar e classificar estas culturas. A entropia mostrou um padrão de aumento na senescência e queda acentuada na colheita, o que pode ser utilizado na estimativa da data de colheita. Assim, os dados SAR polarimétricos do Sentinel-1A se apresentam promissores para o monitoramento agrícola.

5. AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pela concessão de bolsa.

6. REFERÊNCIAS

[1] Godfray, H. C. J.; Beddington, J. R.; Crute, I. R.; Haddad, L.; Lawrence, D.; Muir, J. F.; Pretty, J.; Robinson, S.; Thomas, S. M.; Toulmin, C. "Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People". *Science*, v. 327, 812-818, 2010.

[2] Sanches, I.D.; Feitosa, R.Q.; Diaz, P.M.A.; Soares, M.D.; Luiz, A.J.B.; Schultz, B. e Maurano, L.E.P. "Campo Verde Database: Seeking to Improve Agricultural Remote Sensing of Tropical Areas," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, v. 15, n. 3, pp. 369–373, Mar. 2018.

[3] Atzberger, C. "Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs," *Remote Sens.*, v. 5, n. 2, pp. 949–981, 2013.

[4] Zhu, L.; Radeloff, V. C. e Ives, A. R. "Improving the mapping of crop types in the Midwestern U.S. by fusing Landsat and MODIS satellite data," *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, v. 58, n. February, pp. 1–11, Jun. 2017.

[5] Veloso, A.; Mermoz, S.; Bouvet, A.; Toan, T. Le; Planells, M.; Dejoux, J.-F. e Ceschia, E. "Understanding the temporal behavior of crops using Sentinel-1 and Sentinel-2-like data for agricultural applications," *Remote Sens. Environ.*, v. 199, pp. 415–426, Sep. 2017.

[6] Johann, J. A.; Rocha, J. V.; Duft, D. G. e Lamparelli R. A. C. "Estimativa de áreas com culturas de verão no Paraná, por meio de imagens multitemporais EVI/Modis," *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v. 47, n. 9, pp. 1295–1306, 2012.

[7] Souza, C. H. W.; Mercante, E.; Johann, J. A.; Lamparelli, R. A. C. e Uribe-Opazo, M. A. "Mapping and discrimination of soya bean and corn crops using spectro-temporal profiles of vegetation indices," *Int. J. Remote Sens.*, v. 36, n. 7, pp. 1809–1824, 2015.

[8] Zhong, L.; Hu, L.; Yu, L.; Gong, P. e Biging, G. S. "Automated mapping of soybean and corn using phenology," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, v. 119, pp. 151–164, 2016.

[9] Junior, C. C.; Johann, J. A. e Antunes, J. F. G. "Mapping of sugarcane crop area in the Paraná State using Landsat / TM / OLI and IRS / LISS-3 images," *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.*, v. 21, n. 6, pp. 427–432, 2017.

[10] Schultz, B.; Immitzer, M.; Formaggio, A. R.; Sanches, I. D.; Luiz, A. J. B. e Atzberger, C. "Self-guided segmentation and classification of multi-temporal Landsat 8 images for crop type mapping in Southeastern Brazil," *Remote Sens.*, v. 7, n. 11, pp. 14482–14508, 2015.

[11] Eberhardt, I. D. R.; Schultz, B.; Rizzi, R. ; Sanches, I. D.; Formaggio, A. R.; Atzberger, C.; Mello, M. P.; Immitzer, M.; Trabaquini, K.; Foschiera, W. e Luiz, A. J. B. "Cloud cover assessment for operational crop monitoring systems in tropical areas," *Remote Sens.*, v. 8, n. 3, pp. 1–14, 2016.

[12] Liu, C.; Shang, J.; Vachon, P. W. e McNairn, H. "Multiyear Crop Monitoring Using Polarimetric RADARSAT-2 Data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, v. 51, n. 4, pp. 2227–2240, Apr. 2013.

[13] Ji, K. e Wu, Y. "Scattering mechanism extraction by a modified Cloude-Pottier decomposition for dual polarization SAR," *Remote Sens.*, v. 7, n. 6, pp. 7447–7470, 2015.

[14] Cloude S. R. e Pettier, E. "A review of target decomposition theorems in radar polarimetry," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, v. 34, n. 2, pp. 498–518, 1996.

[15] Peel, M. C.; Finlayson, B. L. e McMahon, T. A. "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 11, n. 5, pp. 1633–1644, 2007.

[16] ESA, 2018. The Sentinel Application Platform (SNAP), a Common Architecture for all Sentinel Toolboxes Being Jointly Developed by Brockmann Consult, Array Systems Computing and C-S. Download em: http://step.esa.int/main/download/ European Space Agency (ESA).

[17] Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.; Gao, X. e Ferreira, L. "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices," *Remote Sens. Environ.*, v. 83, n. 1–2, pp. 195–213, Nov. 2002.

[18] Didan, K.; Munoz, A. B.; Solano, R; Huete, A. "MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series)". 1-31, 2015.

[19] Liao, C.; Wang, J.; Shang, J.; Huang, X.; Liu, J. e Huffman, T. "Sensitivity study of Radarsat-2 polarimetric SAR to crop height and fractional vegetation cover of corn and wheat," *Int. J. Remote Sens.*, v. 39, n. 5, pp. 1475–1490, Mar. 2018.