

AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO ALBEDO DO MODIS PARA A CULTURA DE CANA-DE-AÇUCAR NO NORDESTE

Elisabete Caria Moraes¹, Nildson Rodrigues de França e Silva¹, Magna Soelma Beserra de Moura², Bruno Silva Oliveira¹, Herica Fernanda de Souza Carvalho²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515 – 12227-010 – São José dos Campos – SP, Brasil
nildson.silva@inpe.br; bete@dsr.inpe.br; bruno.so@dsr.inpe.br;

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Semiárido, Caixa Postal 23 – 56302-970 – Petrolina – PE, Brasil
magna.moura@embrapa.br; herica.fernanda@colaborador.embrapa.br

RESUMO

A cana-de-açúcar é um cultivo praticado no Nordeste do país desde a época colonial, cuja expansão ainda é frequente. Mesmo com a alta frequência de nuvens na região o sensor orbital MODIS permite seu monitoramento devido sua alta resolução temporal. Este estudo objetiva aferir a estimativa de albedo oriundo do MODIS para um ciclo do cultivo da cana-de-açúcar na região semiárida do bioma Caatinga. O albedo estimado apresentou alta concordância (R^2 de 87,17%) com os dados meteorológicos para todo o período do ciclo da cultura, indicando que o albedo estimado consegue representar bem os problemas causados pela anisotropia da cultura em vários estágios fenológicos, exceto na maturação (RSME foi de 0,022).

Palavras-chave - albedo, MCD43A3, agricultura, caatinga.

ABSTRACT

Sugarcane is a crop practiced in the Northeast of Brazil since colonial times and whose expansion is still frequent. Even with the high frequency of clouds in the region the MODIS orbital sensor allows to monitor due to its high temporal resolution. This study aims to assess the albedo estimate by MODIS for a sugarcane crop year in the semiarid region in the Caatinga biome. The estimated albedo presented high agreement (R^2 of 87.17%) when with compared to the meteorological data for the whole period of the crop cycle; indicating that the estimated albedo could represent well the problems caused by the anisotropy of the crop in several phenological stages, except in the maturation (RSME was 0.022).

Key words - albedo, MCD43A3, agriculture, caatinga.

1. INTRODUÇÃO

As regiões tropicais do Brasil atualmente sofrem intensos processos de mudança de uso e cobertura da terra por causa da expansão agropecuária no país. Em particular, o bioma Caatinga apresenta em torno de 46% de sua área original antropizada [1], estas alterações iniciaram na época colonial com o cultivo da cana-de-açúcar e, se intensificou com o programa governamental Pró-Alcool [2], sendo até os dias de hoje um agronegócio rentável e em expansão,

principalmente, na região do Submédio do Vale do São Francisco, cujos cultivos são irrigados [3]. Estas mudanças provocam alterações na reflectância espectral da superfície, implicando em variações na partição da radiação solar. Estas variações da radiação solar absorvida e refletida pelos componentes da superfície modificam tanto o balanço de radiação, como também os fluxos de energia, podendo impactar a circulação atmosférica e o microclima das regiões em que estas mudanças ocorreram, bem como o clima nas mais diversas escalas espaciais e, conseqüentemente, vem a impactar a diversidade biótica. Os modelos meteorológicos de tempo e clima, e os agrometeorológicos possuem como uma das principais entradas o albedo ou reflectância espectral da superfície, visto ser este o modelador do balanço de energia da superfície.

Dada a escassa rede solarimétrica no planeta e, em especial, no Brasil, as imagens de satélites são essenciais para a obtenção de vários parâmetros que alimentam os modelos meteorológicos e agrometeorológicos, permitindo a maior compreensão das causas e efeitos oriundos de mudanças de uso e cobertura da superfície terrestre.

O albedo é definido como a relação entre os fluxos de radiação solar refletido e incidente na superfície integrado em toda a faixa do espectro eletromagnético. Como a atmosfera interage espectralmente com a radiação solar e esta interação depende do ângulo solar de incidência, faz-se necessário a correção da profundidade óptica dos aerossóis atmosféricos para a boa estimativa de albedo da superfície através de imagens de satélites. Por meio das imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), a bordo dos satélites Terra e Aqua, são disponibilizados o produto albedo, que é composto pela reflectância direcional hemisférica (*black-sky* albedo, BSA) e pela reflectância bihemisférica (*white-sky* albedo, WSA), representando, respectivamente, os casos de incidência da radiação somente pela componente direta e pela componente difusa do fluxo solar na superfície. O albedo real da superfície é obtido com a interpolação destes produtos considerando a fração da radiação difusa [4, 5].

Este trabalho objetiva aferir a estimativa de albedo através da utilização de produtos MODIS para uma área de cultivo de cana-de-açúcar no bioma da Caatinga para o qual os dados meteorológicos foram coletados sistematicamente durante um ciclo de desenvolvimento desta cultura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo dentro do Bioma Caatinga, na região do Submédio do São Francisco, está situada na Empresa Agroindústrias do Vale do São Francisco (Agrovale) no município de Juazeiro/BA (40° 20' W, 9° 26' S, 401 m) numa área de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* spp.) irrigada (Figura 1). O solo da área do experimento é classificado como Vertissolo, a variedade utilizada foi a VAT 90-212 e o sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento subsuperficial [6].

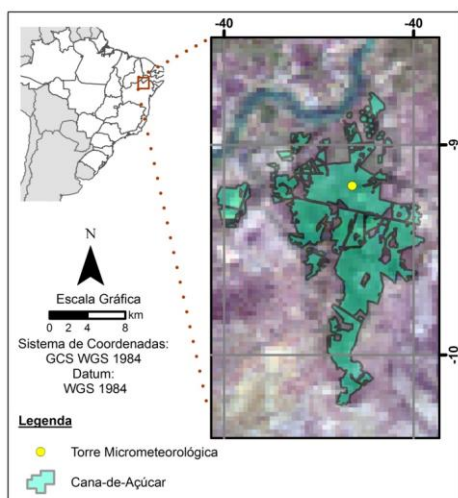


Figura 1. Localização da área de estudo.

Os dados considerados como verdade terrestre para a aferição do albedo proveniente de imagens do satélite MODIS foram coletados na torre micrometeorológica da Embrapa Semiárido durante o ciclo da cultura, que é de aproximadamente 371 dias. O período estudado foi de maio/2015 a junho/2016, durante o qual se observou quatro fases fenológicas da cana-de-açúcar: fase 1 de brotação e estabelecimento da cultura (13/06/2015 à 13/07/2015); a fase 2 que abrange o perfilhamento da cultura (14/07/2015 até 01/12/2015); a fase 3 caracterizada como máximo crescimento (02/10/2015 até 24/04/2016); e a fase 4 de maturação (25/04/2016 até 17/06/2016).

Os dados de verdade terrestre do albedo de superfície foram obtidos através do saldo radiômetro (CNR1 *Net Radiometer Kipp & Zonen B.V. Delft Netherlands*) [11], o qual estava posicionado na torre a 7 metros de altura do dossel da cultura. O equipamento realizava medições de radiação solar global (R_g), radiação solar refletida (R_r), radiação de ondas longas emitida pela atmosfera e pela superfície, todas estas registradas em $W.m^2$. O albedo da superfície foi calculado através da Equação 1:

$$\alpha = \frac{R_r}{R_g} \times 100 \quad (1)$$

Todo processamento das imagens foi feito utilizando a linguagem R. Foram utilizados os produtos MODIS MCD43A3, MOD08 AOD 550 nm e o MOD44W, o qual foi utilizado na remoção dos corpos d'água. Todas as imagens foram adquiridas da página do AppEEARS para o período

de maio/2015 até maio/2016 [8]. O produto de albedo do MCD43A3 [9], possui uma resolução espacial de 500 metros e resolução temporal diária baseada numa janela de 16 dias, sendo que a imagem produto representa o nono dia dos pixels não contaminados de um período de 16 dias, no qual as observações são ponderadas por distância do pixel central para estimar o BSA e WSA para esse dia central.

Além disso, neste estudo foi utilizada a banda denominada albedo que envolve toda a faixa do espectro solar, que contém os produtos BSA e WSA. O BSA representa o albedo para condições de iluminação totalmente direta e o WSA é definido como o albedo para as condições de iluminação completamente difusa. Para obter o albedo para as atuais condições atmosféricas, o qual é denominado como *blue-sky* albedo (BLSA) é necessário fazer a soma de ambos os albedos e ponderá-los com relação a fração de luz difusa (FLD). O BLSA é representado pela Equação 2 definida por [9]:

$$\alpha = \{1 - S(\theta, \tau(\lambda))\} \alpha_{bs}(\theta, \lambda) + S(\theta, \tau(\lambda)) \alpha_{ws}(\theta, \lambda) \quad (2)$$

em que $\alpha_{bs}(\theta, \lambda)$ corresponde ao BSA, $\alpha_{ws}(\theta, \lambda)$ é o WSA e $S(\theta, \tau(\lambda))$ representa a fração de luz difusa.

A fração da luz difusa foi obtida por meio de uma *look-up table* [10] considerando a banda que corresponde a toda a faixa do espectro solar e o tipo de aerossol continental. A *look-up table* para obtenção do FLD relaciona o ângulo solar zenital (θ) com a profundidade óptica da atmosfera (AOD). O θ foi calculado para todos os dias estudados considerando o centróide da área de estudo, assim como o AOD que foi proveniente do MOD08.

Para o processo de validação dos dados, considerou-se a média do albedo registrado na área de estudo entre o intervalo de 10:30 até às 13:30 horas, visto que o produto disponibilizado combina dados das plataformas Terra/Aqua. Para o preenchimento das falhas na série registrada em superfície aplicou-se o método de interpolação linear nas datas que faltavam até 5 registros de dados, mais do que isso o dia era descartado.

A análise da acurácia dos dados de BLSA com dados de albedo provenientes da torre micrometeorológica foi realizada utilizando os índices: erro médio (ME), o coeficiente de determinação (r^2) oriundo de uma regressão linear, raiz do erro médio quadrático (RMSE), e os erros relativo médio (MRE) e absoluto médio (MAE).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aferição do albedo estimado através de imagens do sensor orbital MODIS foi realizada através da comparação dos valores *blue-sky* albedo (BLSA) estimados para seis *pixels* com o albedo registrado em torre micrometeorológica instalada em um dos *pixels* do cultivo de cana-de-açúcar, conforme mostra a Figura 2. Avaliando todos os períodos observou-se que a melhor correlação (87,52%) foi obtida para o *pixel* onde a torre estava instalada, seguido, respectivamente, do *pixel* adjacente 3 a leste da torre

(83,78%), dos *pixels* adjacentes 1 e 2 a norte desta (77,87 e 66,58%) e dos *pixels* adjacentes 5 e 4 ao sul da torre (55,14 e 42,74%). Estas grandes variações nos dados da torre se deve aos diferentes estágios fenológicos dos *pixels* analisados presente em todo o período analisado.

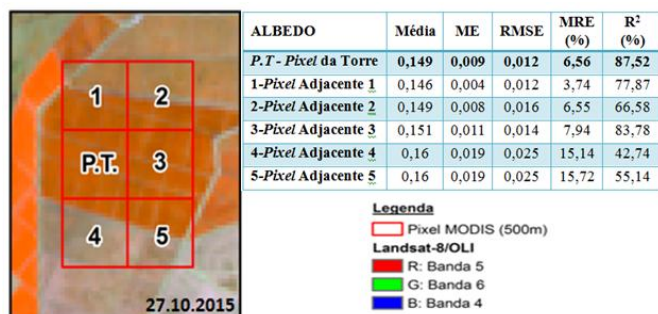


Figura 2 – Pixels de cultivo de cana-de-açúcar e suas avaliações estatísticas dos albedos estimados via MODIS

Ao analisar o albedo da cultura em suas diferentes fases fenológicas foi notado que o melhor ajuste da relação linear entre os albedos estimados e observados (R² de 87,97%) ocorreu na fase de emergência, sendo esta reduzida no decorrer do desenvolvimento da cultura. A Tabela 1 mostra o albedo em cada estágio, que aumentou de 0,106 para 0,192, bem como sua acurácia expressa em termos do RMSE, com ajuste quase que perfeito na primeira fase. No período de maturação faz-se necessária maior pesquisa, visto que o albedo foi superestimado e apresentou baixo R². Este aumento no albedo é esperado dado à redução do solo exposto devido o preenchimento da folhagem.

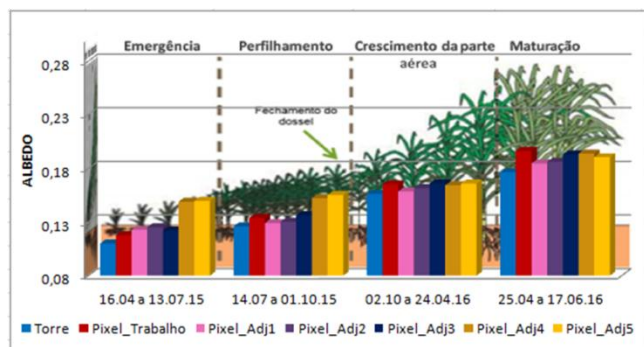


Figura 3 – Variação do albedo em função dos estádios fenológicos da cana-de-açúcar.

Tabela 1. Comparação do albedo estimado nas fases fenológicas da cultura com medida do albedo da torre.

ALBEDO	Fases Fenológicas				Período Total
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	
Torre	0,102	0,119	0,15	0,172	0,14
Estimado	0,106	0,127	0,157	0,192	0,149
MAE	0,004	0,008	0,009	0,021	0,010
RMSE	0,005	0,009	0,011	0,022	0,012
MRE%	0,16	7,42	3,37	1,63	6,57
R ²	87,97	68,12	65,36	13,84	87,17

A Figura 4 mostra a regressão linear existente entre os albedos estimados (BLSA) e a verdade terrestre registrada na torre meteorológica. Para o *pixel* em que a torre está instalada verificou-se a mesma tendência que os dados de verdade terrestre, porém não é possível considerar os dados de verdade terrestre para os *pixels* adjacentes uma vez que é comum ocorrerem diferenças significativas dos estágios fenológicos desta cultura em áreas de usina. No entanto, este estudo mostrou que os valores estimados a partir do produto MCD43A3 pode ser utilizado para entender as características e comportamento da cultura.

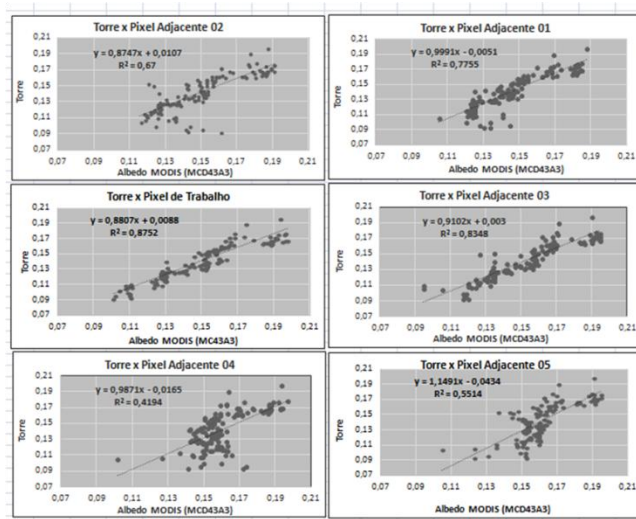


Figura 4 - Comparação entre o albedo observado em torre e o obtido através de imagens MODIS nos pixels contidos na área da usina

Diante da acurácia encontrada na estimativa do albedo a partir de produtos MODIS para o *pixel* da torre micrometeorológica, foi realizada a espacialização do albedo para toda a área da usina Agrovale em Juazeiro na Bahia. A Figura 5 apresenta a dinâmica da variação espacial do albedo médio mensal estimado. Observa-se que os albedos médios mensais para a área da Agrovale no período de maio/2015 a maio/2016 variaram de 15 a 16%, no entanto na área da torre o albedo variou de 12 a 19%, conforme também observado na análise das estimativas dos *pixels* da torre descritos acima. Destaca-se que no período de maturação ocorreram os maiores albedos, indicativo de que a cultura próxima de ser colhida. Ainda se ressalta que os menores desvios padrão ($\pm 0,009$ a $0,011$) ocorreram no período de pleno desenvolvimento e, principalmente, no período de maturação de grande parte do cultivo em toda a usina, que compreende o período de março a maio de 2016.

5. CONCLUSÕES

As estimativas do albedo (BLSA) através do produto MCD43A3 do sensor MODIS mostrou-se preciso quando comparado com os dados de verdade terrestre. Isto indica que o BLSA consegue representar bem os problemas

causados pela anisotropia da cultura em vários estágios fenológicos, exceto na maturação onde observou-se a maior superestimativa do albedo e falta de correlação. As estimativas mais precisas foram observadas na fase de emergência e perfilamento da cana-de-açúcar.

Notou-se que devido ao fato de que dentro da mesma área se pode encontrar o cultivo da cana-de-açúcar em diferentes estágios fenológicos os dados de albedo da torre devem ser considerados como verdade terrestre somente para o *pixel* em que a torre estiver instalada, conforme também constatado por [12].

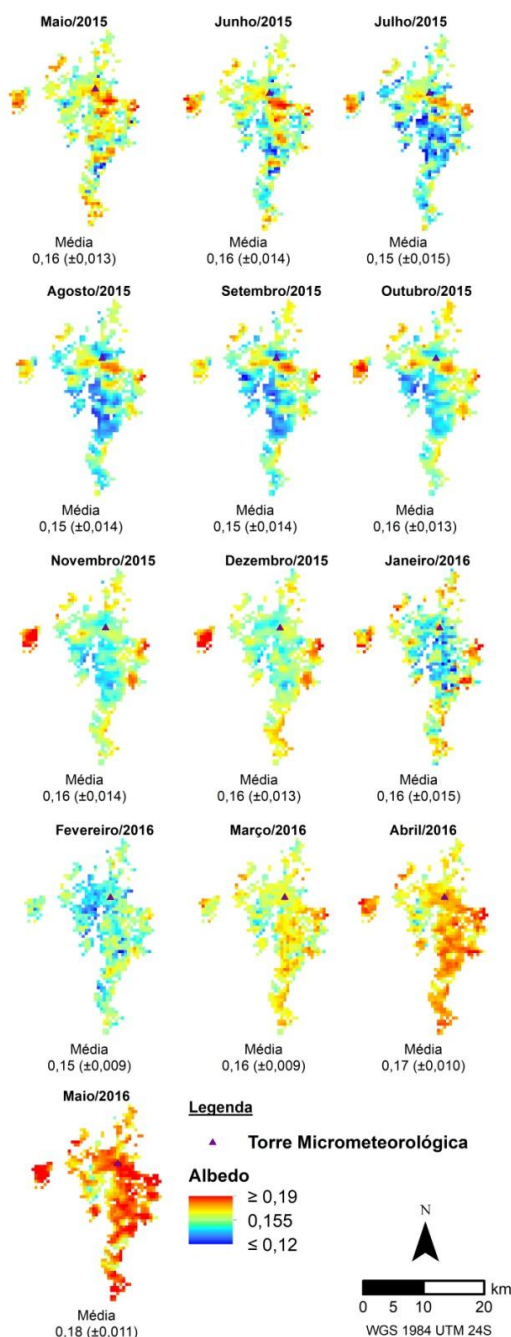


Figura 5. Dinâmica espaço-temporal do albedo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Caatinga. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>>. Acesso em 02 de outubro de 2018.
- [2] Coelho Neto, A.S. e Estrela, E.S. A caatinga para o canavial, v.23, n. 65, pp. 349-352, 2009.
- [3] Carvalho, H.F.S.; Moura, M.S.B.; Silva, T.G. F.; Rodrigues, C.T.A. e Silva, G.D. Microclima em áreas de Caatinga preservada e cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 20; Simpósio de mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro, 5, 2017.
- [4] Strahler, A.H.; Muller, J.; Lucht, W.; Schaaf, C.; Tsang, T.; Gao, F.; Li, X.; Lewis, P. E Barnsley, M.J. *MODIS BRDF/Albedo Product: Algorithm Theoretical basis Document Version 5.0*, MODIS Doc.. 1999. Disponível em: http://modis-sr.ltdri.org/publications/MODIS_BRDF.pdf (acesso em 04 setembro 2018).
- [5] You, D.; Wen, J.; Xiao, Q.; Liu, Q.; Tang, Y.; Dou, B. e Peng, J. "Development of a High Resolution BRDF/Albedo Product by Fusing Airborne CASI Reflectance with MODIS Daily Reflectance in the Oasis Area of the Heihe River Basin, China", *Remote Sensing*, v. 7, n. 6, pp. 6784-6807, 2015.
- [6] Carvalho, H.F. de S.; Moura, M.S.B. de; Silva, T.G.F. da e Rodrigues, T.A. "Controlling factors of 'Caatinga' and sugarcane evapotranspiration in the Sub-middle São Francisco Valley", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n. 4, pp. 225-230, 2018.
- [7] *Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples – AppEARS*, 2018. Disponível em: <<https://lpdaacsvs.cr.usgs.gov/appears/>>. Acesso em: 30 de setembro de 2018.
- [8] Schaaf, C. e Wang, Z. *MCD43A3 MODIS/Terra+Aqua BRDF/Albedo Daily L3 Global - 500m V006 [Data set]*, 2015. Disponível em:< https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mcd43a3_v006/>. Acesso em: 30 de Setembro de 2018.
- [9] Schaaf, C.B., Gao, F., Strahler, A.H., Lucht, W., Li, X., Tsang, T., Strugnell, N.C., Zhang, X., Jin, Y., Muller, J.P., Lewis, P., Barnsley, M., Hobson, P., Disney, M., Roberts, G., Dunderdale, M., Doll, C., D'Entremont, R., Hu, B., Liang, S., Privette, J.L. e Roy, D. "First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS", *Remote Sensing of Environment*, v.83, pp. 135-148, 2002.
- [10] University of Massachusetts Boston, 2018. Disponível em: <https://www.umb.edu/spectralmass/terra_aqua_modis/modis_user_tools/>. Acesso em: 30 de Setembro de 2018.
- [11] Manual - CNR1 Net Radiometer - Kipp & Zonen, 2018. Disponível em:<<http://www.kippzonen.com/Download/85/Manual-CNR-1-Net-Radiometer-English/>>. Acesso em 30 de setembro de 2018.
- [12] Oliveira, B.S.; Moraes, E.C.; Benevides, M.C.; Bertani, G. e Mataveli, G.A.V. "Improved Albedo Estimates Implemented in the METRIC Model for Modeling Energy Balance Fluxes and Evapotranspiration over Agricultural and Natural Areas in the Brazilian Cerrado", *Remote Sensing*, v.10, n.9, pp.1-27, 2018.