

EFEITOS BIDIRECIONAIS SOBRE A REFLECTÂNCIA E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA ESTAÇÃO SECA DA AMAZÔNIA E DO CERRADO

Caio Arlanche Petri¹, Lênio Soares Galvão²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Avenida dos Astronautas, 1758. São José dos Campos-SP.
{caio.petri;lenio.galvao}@inpe.br

RESUMO

A correção de efeitos bidirecionais sobre florestas tropicais (Amazônia) e savanas (Cerrado) foi avaliada quanto à magnitude nas bandas 1, 2 e 3 e nos índices de vegetação EVI e NDVI, utilizando dados MODIS (MAIAC). O estudo foi feito no período de 2000 a 2014, com foco na estação seca. Os resultados evidenciaram diferentes impactos da correção de acordo com o bioma e local avaliado, dependendo da variabilidade de cobertura de nuvens e, em menor escala, da cobertura do terreno. As florestas tropicais da Amazônia apresentaram maiores mudanças com a correção dos efeitos em locais selecionados para estudo. Portanto, em função das condições atmosféricas mais adversas, a Amazônia está mais suscetível a efeitos bidirecionais do que o Cerrado. O EVI foi o índice com maior sensibilidade aos efeitos bidirecionais, devendo ser corrigido para efeitos BRDF quando calculado de sensores com largo campo de visada, particularmente na Amazônia.

Palavras-chave — Amazônia, Cerrado, efeitos bidirecionais, MODIS, MAIAC.

ABSTRACT

The correction of bidirectional effects in tropical forests (Amazon) and savannahs (Cerrado) was evaluated for the magnitude over bands 1, 2 and 3 and EVI and NDVI using MODIS (MAIAC) data. The investigation was performed in the 2000-2014 period with focus on the dry season. The results showed different impacts of the correction according to the biome and the evaluated site, depending on cloud cover and, secondarily, on land cover type. The Amazonian tropical forests showed greater changes after BRDF correction over selected sites for analysis. Thus, because of the more adverse atmospheric conditions, the Amazon is much more susceptible to bidirectional effects than the Cerrado. The EVI was the index with the greatest sensitivity to bidirectional effects, highlighting the need for correction for BRDF effects when calculated from large field-of-view sensors, particularly for the Amazon.

Key words — Amazon, Cerrado, bidirectional effects, MODIS, MAIAC.

1. INTRODUÇÃO

Em estudos regionais da vegetação por sensoriamento remoto, é comum o uso de sensores orbitais com largo campo de visada. A exemplo disso, o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), presente nas plataformas Terra e Aqua, é capaz de imagear grande extensão da superfície terrestre em apenas uma captura, portanto, com alta resolução temporal. O campo de visada largo torna o sensor mais suscetível a efeitos bidirecionais. Diversos esforços têm sido feitos no sentido de corrigir efeitos bidirecionais em imagens de satélite, com resultados positivos para o estudo da vegetação em um contexto regional [1]. Nesse sentido, um debate tem se desenvolvido na literatura acerca da resiliência de florestas tropicais a eventos de seca severa e os efeitos da correção de efeitos bidirecionais sobre tais análises [2,3]. Os resultados contraditórios sobre o comportamento do índice de vegetação (IV) EVI no período de seca da Amazônia constatarem que este é um índice extremamente sensível aos efeitos bidirecionais, por não ser normalizado e depender em grande parte da reflectância do infravermelho próximo [4,5].

Em comparação com as florestas tropicais da Amazônia, estudos que utilizam o Cerrado como área de estudo para discutir efeitos bidirecionais ainda são escassos. Tal comparação é importante para demonstrar a variação imposta por condições de observação e iluminação aliadas às diferentes dinâmicas de cobertura de nuvens e cobertura da terra presentes em diferentes biomas.

Nesse sentido, este trabalho buscou comparar os efeitos da correção bidirecional em imagens MODIS ao longo da estação seca entre 2000 e 2014, estabelecendo uma amostragem por bandas e IVs para áreas específicas dos dois biomas e para um contexto mais amplo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como área de estudo, foram escolhidos os biomas Amazônia e Cerrado (Figura 1). Dados corrigidos atmosféricamente pelo MAIAC (*Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction*) foram utilizados como base para comparação com dados normalizados para uma geometria fixa aplicando os pesos de *Kernel Ross-Thick Li-Sparse (RTLS)* e *Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF)* [6]. Os dados foram agregados em composições de 16 dias, em uma série

temporal entre os anos de 2000 e 2014. Foram utilizadas as primeiras três bandas do sensor MODIS (azul, vermelho e infravermelho próximo). Para a análise da reflectância e IVs individualmente, foi escolhido um ano com regime de chuvas regular (2008), utilizando os dados centrados no período da estação seca para os dois biomas. Os dados foram amostrados (100 pixels) em dois locais: um conjunto contíguo de unidades de conservação (UCs) na Amazônia composto pela Floresta Nacional de Aripuanã, Reserva Extrativista Guariba e Reserva de Desenvolvimento Sustentável Aripuanã (local 1); e uma UC no Cerrado, o Parque Nacional das Emas (local 2). É importante ressaltar que os fatores causadores de efeitos bidirecionais variam ao longo da estação seca na Amazônia e no Cerrado, exercendo diferentes influências na resposta espectral [4]. O ângulo azimutal relativo (AAR) tende a um plano de observações em direção ao *hotspot* e *darkspot* (180° e 0° , respectivamente); o ângulo solar zenital (ASZ) possui valores mais elevados na estação seca (maiores no Cerrado do que Amazônia); e o ângulo zenital de visada, relacionado diretamente com a disponibilidade de pixels de alta qualidade de observação, possui seus valores mais baixos na estação seca para os dois biomas (menores no Cerrado do que na Amazônia).

Posteriormente, todo o conjunto de dados (2000-2014) foi utilizado para uma análise espacializada das variações causadas pela correção de efeitos bidirecionais dos dados MAIAC, focada nos índices EVI e NDVI, considerando os biomas Amazônia e Cerrado em sua delimitação total. Para isso, a diferença entre o início e o final da estação seca (junho a setembro) foi calculada com os dados corrigidos e não corrigidos. A mudança percentual ou diferença relativa promovida pela correção foi calculada. A Equação 1 descreve matematicamente o procedimento adotado:

$$Mudança = \frac{(Jun._c - Set._c) - (Jun._nc - Set._nc)}{(Jun._nc - Set._nc)} \quad (1)$$

Onde “Mudança” representa a imagem espacializada de mudança percentual; “Jun._c” e “Set._c” representam as médias dos meses de junho e setembro corrigidos para efeitos bidirecionais (2000-2014); “Jun._{nc}” e “Set._{nc}” representam as médias dos meses de junho e setembro não corrigidos para efeitos bidirecionais (2000-2014). O procedimento foi realizado individualmente para os dois IVs escolhidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a amostragem dos dados para os locais 1 e 2 no ano de 2008, foram gerados *boxplots* para as bandas 1, 2 e 3 (Figura 2). Para o azul, foi observada uma redução na reflectância após a correção para efeitos bidirecionais tanto para a Amazônia quanto para o Cerrado, sendo os valores do Cerrado mais altos em todas as amostragens. Do início para o final da estação seca, a banda do azul apresentou tendência de aumento de reflectância (Figura 2(a)). A banda

do vermelho também demonstrou tendência de aumento de reflectância em direção ao final da estação seca e com valores mais altos para o Cerrado em comparação com a Amazônia, com variabilidade significativamente maior para o Cerrado (Figura 2(b)). O infravermelho próximo apresentou comportamento distinto das outras duas bandas, com as florestas tropicais do local 1 (Amazônia) possuindo valores mais altos do que as savanas do Cerrado (local 2). Além disso, o comportamento do aumento de reflectância do infravermelho próximo em direção ao final da estação seca só ocorreu para a Amazônia, tendo o Cerrado apresentado declínio. Este comportamento pode ser associado à quantidade de material não fotossinteticamente ativo significativamente maior presente nas savanas, além da diminuição do índice de área foliar (IAF), quando comparado às florestas tropicais (Figura 2(c)).

Em geral, as amostragens realizadas no Cerrado apresentaram variabilidade significativamente maior do que nas florestas tropicais, indicando maior heterogeneidade do alvo imageado. Enquanto que nas florestas tropicais os dosséis tendem a ser mais fechados e homogêneos, no Cerrado existe uma maior variabilidade de cobertura, de campos sujos até dosséis mais densos de outras fitofisionomias. A magnitude dos efeitos da correção de efeitos bidirecionais aumentou no final da estação seca para a Amazônia, fator possivelmente relacionado com o aumento do plano de cobertura do AAR na mesma época do ano.

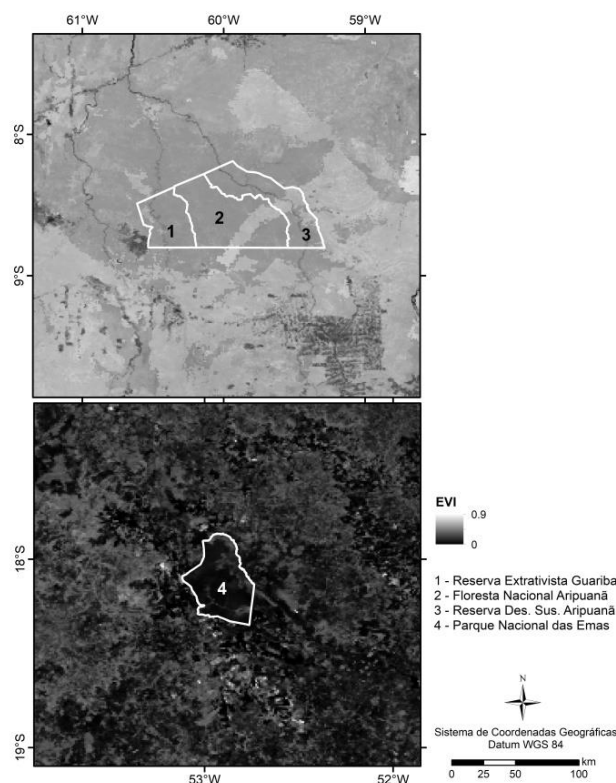


Figura 1. UCs selecionadas para amostragem de bandas e IVs na Amazônia (florestas tropicais) e Cerrado (savanas). As imagens EVI para o mês de agosto de 2008 são apresentadas.

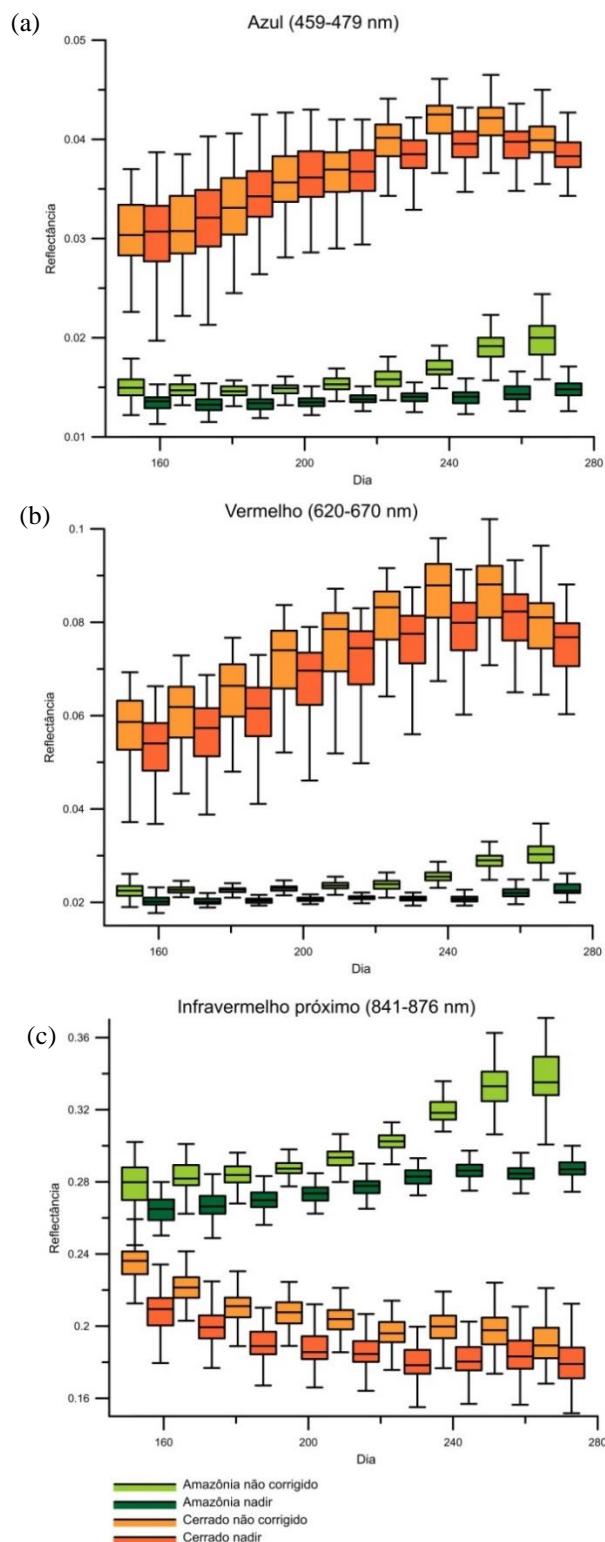


Figura 2. Boxplots da reflectância das bandas do azul, vermelho e infravermelho próximo do sensor MODIS para áreas de Cerrado e florestas tropicais da Amazônia, em função de dados não corrigidos para efeitos BRDF e normalizados para o nadir na estação seca de 2008.

Os IVs EVI e NDVI foram calculados e tiveram pixels amostrados utilizando o mesmo procedimento que as bandas MODIS para o ano de 2008. Para o EVI, se observou uma suavização do comportamento de incremento do IV do início para o final da estação seca, com valores corrigidos mais baixos do que os valores correspondentes não corrigidos (Figura 3(a)). Este é um comportamento especialmente importante na discussão sobre o comportamento do EVI em períodos secos para florestas tropicais. No Cerrado, o EVI seguiu uma tendência de redução, com valor dos dados corrigidos sensivelmente mais baixo do que os originais. Em geral, os valores de EVI para o Cerrado são mais baixos do que para a Amazônia. Para o NDVI, um comportamento significativamente linear foi observado nas florestas tropicais da Amazônia, com a permanência do IV na faixa de 0,85. O NDVI é o único dado que apresenta valores pós-correção mais altos do que os originais. Este comportamento pode ser explicado matematicamente pela posição das bandas do vermelho e infravermelho próximo em seu cálculo, porém somente se refletiu significativamente nas florestas tropicais por sua baixa variabilidade e dosséis com alta resposta espectral no infravermelho próximo (conforme observado na Figura 2(c)). Para o Cerrado, o NDVI mostrou comportamento de diminuição do início para o final da estação seca (Figura 3(b)). O significativo aumento nas respostas dos índices para a última observação, para os dois locais, pode estar associado à variabilidade intrínseca dos dados associada ao início de um período de chuvas.

Com os dados espacializados, a mudança percentual promovida pela correção de efeitos bidirecionais para a estação seca (2000-2014) foi calculada para o EVI e NDVI. Para o EVI, foram observadas mudanças médias de até 60% para a Amazônia, com um gradiente de variação do sul para o norte do bioma. Estas variações podem ser devidas, principalmente, à cobertura de nuvens persistente na região norte do bioma, mesmo durante a estação seca (Figura 4). No estado de Roraima (indicado na figura), um comportamento diferenciado pode ser observado e justificado pela presença de uma dinâmica climática diferenciada, mais relacionada às savanas conhecidas como Lavrado. A cobertura da terra também influencia os resultados obtidos. No Cerrado, as mudanças do EVI permanecem com valor médio abaixo de 20%, ultrapassando esse limiar apenas em algumas áreas. Este resultado indica uma menor suscetibilidade do Cerrado a efeitos bidirecionais na estação seca, resultando em baixas mudanças observadas entre dados corrigidos e não corrigidos. Para o NDVI, mudanças abaixo de 5% foram observadas para os dois biomas, porém com as maiores mudanças associadas ao bioma Cerrado (resultados não mostrados).

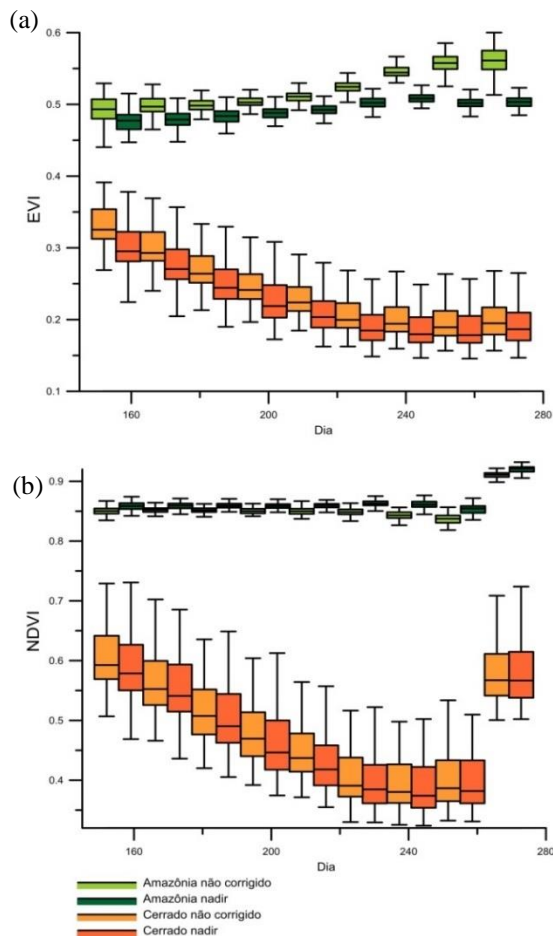


Figura 3. Variação do EVI e NDVI para áreas do Cerrado e da Amazônia na estação seca de 2008, em função de dados corrigidos e não-corrigidos para efeitos BRDF.

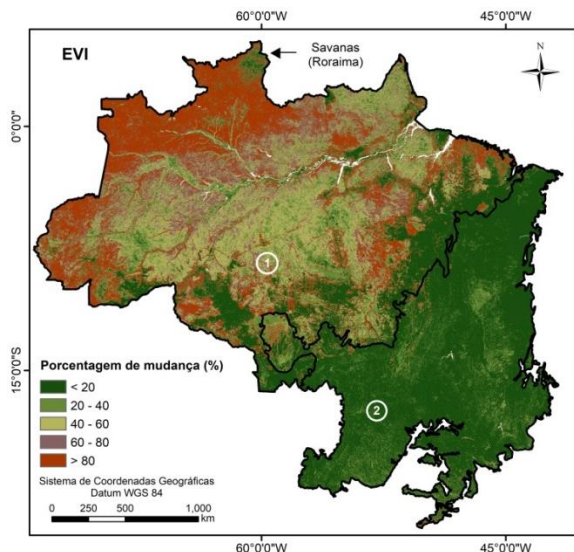


Figura 4. Porcentagem de mudança entre EVI corrigido e não corrigido na estação seca para a Amazônia e Cerrado; locais 1 (florestas tropicais) e 2 (savanas).

4. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos após a correção dos efeitos bidirecionais, foi possível observar as tendências de comportamento por bandas e IVs do MODIS na estação seca. Especialmente importante na discussão sobre a resiliência de florestas tropicais a eventos de seca severa, o comportamento de incremento do EVI corrigido e não-corrigido para efeitos bidirecionais se mostrou suavizado do início para o final da estação seca, porém não completamente eliminado. Tal efeito pode ter origem biofísica ou ser um fator residual da correção BRDF. Concluiu-se que os efeitos bidirecionais são muito mais fortes na Amazônia do que no Cerrado, em função das condições atmosféricas mais adversas que afetam a seleção de pixels de alta qualidade para fins de inclusão nas imagens compostas do MODIS. Por ser um IV mais sensível aos efeitos BRDF do que o NDVI, o EVI deve ser corrigido para tais efeitos, particularmente na Amazônia.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

5. REFERÊNCIAS

[1] Maeda, E.E.; Moura, Y.M.; Wagner, F.; Hilker, T.; Lyapustin, A.I.; Wang, Y.; Chave, J.; Möttus, M.; L. Aragão, L.E.O.C.; e Shimabukuro, Y. "Consistency of vegetation index seasonality across the Amazon rainforest." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 52, p. 42–53, 2016.

[2] Saleska, S.R.; Didan, K.; Huete, A.R.; da Rocha, H.R. "Amazon forests green-up during 2005 drought." *Science*, v. 318, n. 5850, p. 612, 2007.

[3] Samanta, A.; Ganguly, S.; Hashimoto, H.; Devadiga, S.; Vermote, E.; Knyazikhin, Y. et al. "Amazon forests did not green-up during the 2005 drought." *Geophysical Research Letters*, v. 37, n. 5, 2010.

[4] Galvão, L.S.; dos Santos, J.R.; Roberts, D.; Breunig, F.M.; Toomey, M. e Moura, Y.M. "On intra-annual EVI variability in the dry season of tropical forest: a case study with MODIS and hyperspectral data." *Remote Sensing of Environment*, v. 115, p. 2350–2359, 2011.

[5] Morton, D.C.; Nagol, J.; Carabajal, C.C.; Rosette, J.; Palace, M.; Cook, B.D. et al. 2014. "Amazon forests maintain consistent canopy structure and greenness during the dry season." *Nature*, v. 506, n. 7487, p. 221–224, 2014.

[6] Lyapustin, A.I.; Martonchik, J.; Wang, Y.; Laszlo, I. e Korkin, S. "Multiangle implementation of atmospheric correction (MAIAC): 1. Radiative transfer basis and look-up tables." *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, v. 116, D3, 2011.