

Avaliação da fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela floresta tropical primária na Amazônia durante a estação seca dos anos de 2002 e 2007

Renato Kerches Braghiere¹
Márcia Akemi Yamasoe¹

¹ Universidade de São Paulo - USP/IAG
Rua do Matão, 1226 – Cidade Universitária – São Paulo - SP, Brasil – 05508 - 090
{braghiere, akemi}@model.iag.usp.br

Abstract. The fraction of absorbed photosynthetically active radiation (fAPAR) by vegetation is an important variable in modeling biosphere-atmosphere interaction, for example, to estimate carbon assimilation by vegetation. This determination from surface measurements is limited to extremely small areas. The use of remote sensing techniques on board artificial satellites represents an important alternative for obtaining such a fraction on a global scale and long term. However, because of it, satellite procurement be made indirectly, based on models of vegetation, radiative transfer algorithms and mainly due to the influence of atmospheric transmission of solar radiation at the top of the atmosphere to the surface and vice versa, it is crucial validation from other techniques. This work is focused on the validation of fAPAR derived from measurements of the MODIS (Moderate Resolution Imaging Radiometer) aboard the Terra and Aqua satellites from estimates made in comparison with the surface during two intensive field experiments conducted during the dry season of 2002 and 2007 in the Biological Reserve Jaru, RO – Brazil.

Palavras-chave: aerosol, remote sensing, photosynthesis, meteorology, aerossol, sensoriamento remoto, fotossíntese, meteorologia.

1. Introdução

Durante a estação de queimadas, grandes quantidades de partículas de aerossol são emitidas para a atmosfera na região amazônica [Andreae et al. (1988), Andreae (1991), Artaxo et al. (1998), Yamasoe et al. (2000)]. Tais partículas interagem com a radiação solar, por processos de absorção e espalhamento, em particular na região visível que também compreende a região espectral fotossinteticamente ativa (PAR, entre 0,4 a 0,7 μ m) [Yamasoe et al. (2006)]. Ambos os processos reduzem a quantidade de radiação solar incidente em superfície disponível para a fotossíntese, enquanto que o espalhamento aumenta a fração da radiação solar na forma difusa, podendo aumentar a atividade fotossintética das plantas ao penetrar de forma mais eficiente dentro do dossel [Roderick et al. (2001), Gu et al. (2002), Niyogi, et al. (2004), Knobl e Baldocchi (2008), Mercado et al. (2009)]. A fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (fAPAR) pela vegetação é uma medida do quanto as folhas expostas à radiação solar direta absorvem de radiação fotossinteticamente ativa, portanto expressa a capacidade de absorção de energia pela copa [Myneni et al. (2002), Fensholt et al. (2004)]. De acordo com Sellers et al. (1997), a fAPAR representa um parâmetro chave em vários modelos de produtividade de ecossistema, e modelos globais de clima, hidrologia, biogeoquímica e ecologia.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto a bordo de satélites artificiais para a obtenção de fAPAR resulta em uma cobertura espacial e temporal importantes na análise em escala regional e global e de longo prazo, particularmente na região amazônica. Um algoritmo para obtenção de fAPAR a partir de medições realizadas pelo MODIS (Moderate Resolution Imaging Radiometer) a bordo dos satélites Terra e Aqua foi desenvolvido por Knyazikhin e colaboradores (1999). Estudos de validação do produto ao redor do globo são encorajados pelos responsáveis pelo algoritmo [Myneni et al. (2002)] e alguns já foram conduzidos. Por exemplo, Myneni et al. (2002) analisaram dados coletados durante o SAFARI 2000 realizado no sul da África durante a estação úmida, de 3 a 18 de março. Ainda para o ano de 2000, analisaram dados coletados na Finlândia, de 14 a 21 de junho. Em ambos os casos, os resultados foram considerados satisfatórios. Fensholt et al. (2004) compararam os resultados

do MODIS com medições em superfície realizadas no Senegal, porção noroeste da África, na região oeste da zona Sudão-Sahel para os anos de 2001 e 2002. No geral, os autores concluíram que os valores derivados do MODIS foram da ordem de 8 a 20% maiores que os valores obtidos a partir da superfície. Tian et al. (2004) compararam os resultados do MODIS com as saídas de um modelo de interação biosfera-atmosfera, o Common Land Model (CLM) considerando distintos biomas para os anos de 2001, 2002 e de janeiro a junho de 2003. Para a região amazônica, a área analisada compreendeu as coordenadas de 0° a 10°S e de 50° a 70°W. Também nesse estudo, os autores observaram que os resultados do MODIS estão ligeiramente maiores que os resultados obtidos numericamente, sendo a diferença maior entre os meses de setembro a dezembro e menor em maio. Os autores discutem que uma possível explicação para a diferença é a contaminação por nuvens. Ainda segundo eles, o modelo CLM utiliza dados do AVHRR como entrada que podem não ter sido corretamente corrigidos pelos efeitos da atmosfera. Uma das dificuldades das técnicas de sensoriamento remoto é a correção devido aos tais efeitos da atmosfera, que interage com a radiação incidente e emergente do planeta [Knyazikhin et al. (1999)]. Por este motivo, é importante a validação do produto em condições de altas concentrações de partículas de aerossol na atmosfera devido às queimadas. Na Amazônia, um estudo similar foi realizado por Senna et al., (2005) que confrontaram a fAPAR derivada pelo MODIS com medições em superfície de irradiância PAR e modelagem numérica com o modelo IBIS (Integrated Biosphere Simulator) ao redor de duas torres micrometeorológicas localizadas em Santarém, PA. Os autores analisaram medições realizadas no período de junho de 2000 a outubro de 2002 e o produto com médias mensais de fAPAR do MODIS (MOD15_BU). De acordo com os resultados, os valores médios do MODIS foram intermediários entre os das observações em superfície, que foram os maiores, e os da simulação numérica. Os autores consideraram os resultados de superfície os mais confiáveis e sugerem revisão no modelo numérico. Com relação aos dados do MODIS, os autores comentam da sua limitação na qual representam apenas a radiação absorvida pelas folhas, podendo haver contribuição também da superfície e do tronco.

2. Metodologia de Trabalho

Os dois experimentos de campo foram realizados durante a estação de queimadas na Rebio Jaru, ao redor de uma torre micrometeorológica, de 18 de setembro a 15 de novembro, em 2002 e de 11 de agosto a 7 de novembro, em 2007. Em 2005, a torre foi transferida para outra localidade, dessa forma as coordenadas geográficas da localização anterior eram: -10,15°; -61,91° e as da nova: -10,19°; -61,87°. Nas duas ocasiões, perfil vertical de irradiância PAR descendente foi medido com a instalação de sensores PAR modelo SKE 510 da Skye Instruments em diferentes níveis de altura, do topo do dossel a 5 metros do solo nas faces norte, leste e oeste da torre. No topo do dossel foram montados sensores também nas três faces para medir a irradiância PAR refletida pelo dossel. As medições foram realizadas a cada minuto. Valores instantâneos da fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação (fAPAR) serão estimados como:

$$fAPAR = \left(\frac{PAR_{in} - PAR_r - PAR_t}{PAR_{in}} \right) \quad (1)$$

onde PAR_{in} é a irradiância PAR descendente medida no topo do dossel, PAR_r é a irradiância PAR refletida pelo dossel e PAR_t é a irradiância PAR medida a 5 metros da superfície. O produto do MODIS a ser utilizado neste projeto é o MOD15A2 (LAI e fAPAR) disponibilizado gratuitamente para fins de pesquisa em https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data. Tem 1 km de resolução espacial e 8 dias de resolução

temporal. O algoritmo para obtenção dos parâmetros é descrito em [Knyazikhin et al. (1999)] e utiliza refletâncias medidas com o MODIS corrigidas para efeitos atmosféricos de acordo com metodologia desenvolvida por Vermote e Vermeulen (1999) e revisada por Vermote e Kotchenova (2008). Primeiramente, uma análise da qualidade dos produtos do MODIS foi efetuada a partir de flag (QA) gerada para cada pixel. QA igual a 0 indica que a fAPAR foi estimada para o pixel, 1 indica que a fAPAR foi estimada mas com saturação do sinal, 2 indica que o algoritmo não foi executado por ausência de dados (por exemplo, devido a contaminação por nuvens) e 3 indica que houve falha no algoritmo.

Para a comparação entre os resultados, valores médios para o período de 8 dias foram calculados para os valores obtidos em superfície. No caso dos dados do MODIS, diferentes médias espaciais foram consideradas, 5 km x 5 km, 10 km x 10 km e 30 km x 30 km para avaliar também a variabilidade espacial da grandeza.

Para avaliar a influência do aerossol, valores de profundidade óptica do aerossol (AOD) obtidos a partir de sensor da rede AERONET (Aerosol Robotic Network) [Holben et al. (1998)] foram utilizados para o ano de 2002 e oriundos de um MFRSR (multi-filter rotating shadowband radiometer) [Harrison et al. (1994)] para o ano de 2007. Os radiômetros foram instalados no sítio experimental durante os períodos dos experimentos.

3. Resultados e Discussão

Em um primeiro momento, para a análise dos resultados, a Figura 1 mostra os dados de fAPAR da torre micrometeorológica (com dossel de 5 a 47 metros de altura) e dados de AOD em 670 nm, por tempo (dias corridos). Além disso, na mesma figura estão representados valores de fAPAR derivados do MODIS para o mesmo período a fim de retratar a sensibilidade do sensor para períodos contaminados por nuvens. Para o período analisado pode-se dizer que não há nenhuma ou pouca relação visual entre os dados de fAPAR e AOD do aerossol.

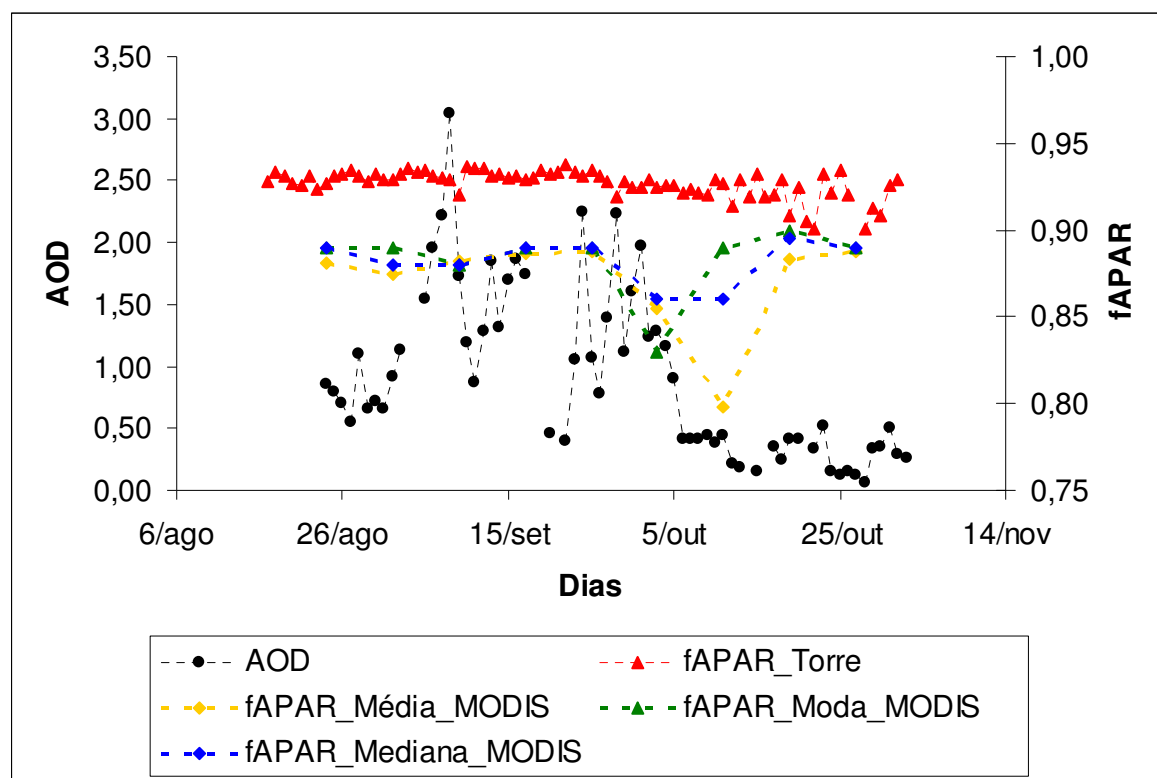


Figura 1. Média diária de fAPAR e AOD em 670 nm, de 12 de Agosto a 7 de novembro de 2007.

Comparações entre as médias de 8 dias de fAPAR do MODIS e os dados de superfície mostram resultados sistematicamente menores do MODIS, e a maior diferença foi observada no período entre 8 e 16 de Outubro de 2007. A Figura 2 mostra o produto de fAPAR derivado do MODIS para o período. A imagem mostra falta de dados ao redor da torre, o que pode ser atribuído a contaminação por nuvens, já que os valores de AOD mostram-se baixos neste período.

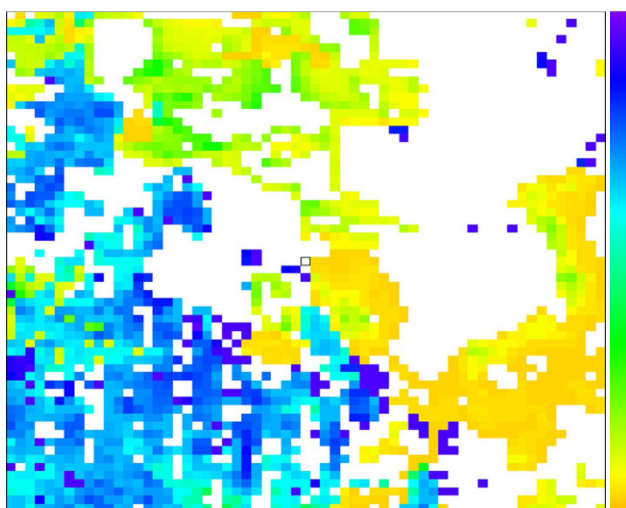


Figura 2. Produto fAPAR derivado do MODIS para o período de 8 a 16 de Outubro de 2007.

Um dos problemas iniciais para a comparação entre os resultados do MODIS e dos dados de superfície é a determinação do tamanho do dossel a ser considerado. Foram considerados quatro diferentes alturas de base para o dossel, em 5, 10, 14 e 17 metros para o ano de 2007. Na Figura 3 estão representados as diferentes medidas da torre (14 e 17 metros) e os dados do MODIS.

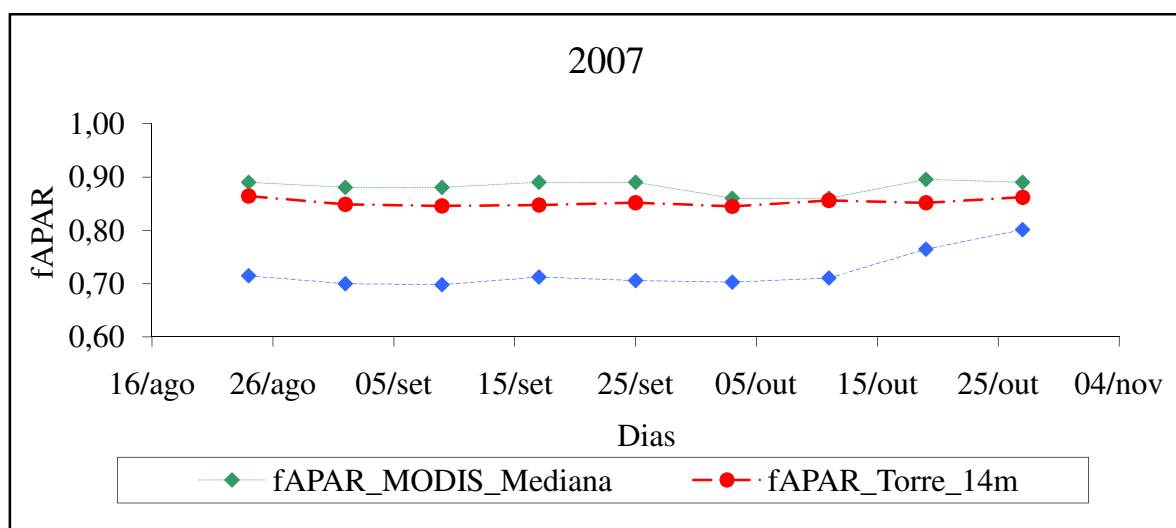


Figura 3. Valores de fAPAR derivado do MODIS (em verde) e valores derivados dos dados de superfície para diferentes tamanhos de dosséis, para o período de Agosto a Novembro de 2007.

Pode-se perceber que o dossel que mais se aproxima dos valores do MODIS é quando se considera a base em 14 metros.

Porém, mesmo quando se traça uma relação entre os dados do MODIS e os dados de superfície para um dossel com base em 14 metros obtém-se uma correlação muito baixa, como observado na Figura 4.

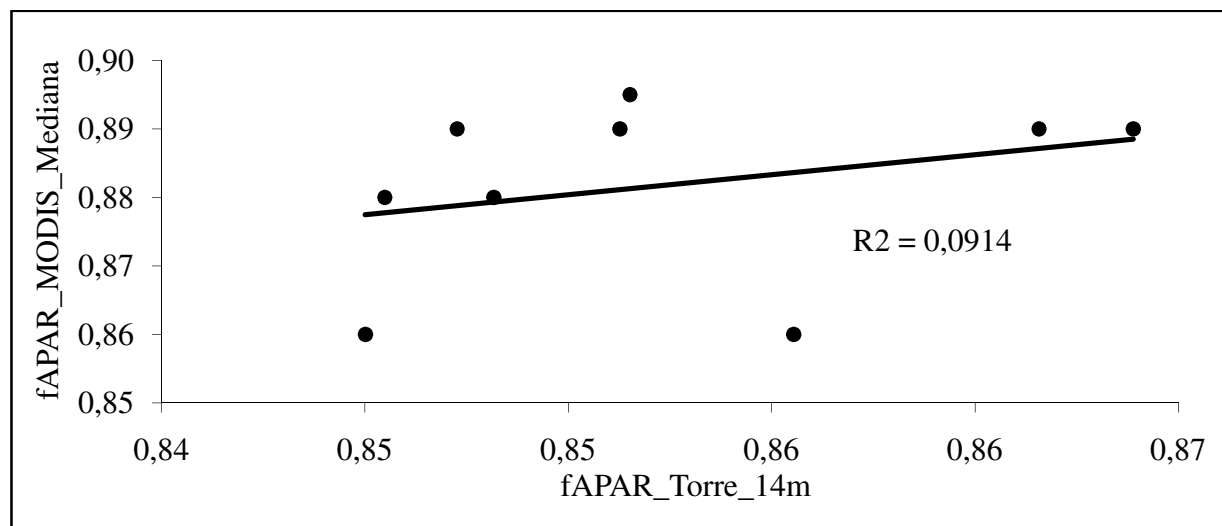


Figura 4. Valores de fAPAR derivado do MODIS versus valores derivados dos dados de superfície para um dossel com base em 14 metros, para o período de Agosto a Novembro 2007.

Para a obtenção de mais resultados necessita-se de uma análise mais profunda com algumas espécies de filtros estatísticos. Além disso, a retirada dos dias contaminados por nuvens mostra-se extremamente importante.

4. Conclusões

Em conclusões preliminares pode-se dizer que nenhuma ou pouca correlação entre AOD e fAPAR foi observada, tanto com os dados de superfície, quanto com os dados do MODIS. Uma possível explicação para os valores derivados do MODIS apresentarem-se sistematicamente menores do que os dados medidos em superfície com base do dossel em 5 metros como mostrado na Figura 1 é porque são baseados assumindo que a absorção é devida unicamente às folhas das árvores, enquanto a superfície leva em conta troncos e arbustos dentro do dossel que podem aumentar a absorção da radiação PAR. Além disso, o produto fAPAR do MODIS não responde bem aos dias contaminados por nuvens, o que requer uma filtragem dos dados para a obtenção de mais resultados.

Agradecimentos

Os experimentos de campo foram realizados com auxílio financeiro da FAPESP via projeto individual de pesquisa de acordo com os processos de número 01/08574-9 (já encerrado) e 06-56550-5 (vigente até agosto de 2010). Os dados do MODIS foram cedidos pela NASA. A CNPq auxiliou o projeto com o pagamento de bolsas para pesquisadores de várias frentes do mesmo projeto.

Referências Bibliográficas

Andreae, M.O., Browell, E.V., Garstang, M., Gregory, G.L., Harriss, R.C., Hill, G.F., Jacob, D.J., Pereira, M.C., Sachse, G.W., Setzer, A.W., Silva Dias, P.L., Talbot, R.W., Torres, A.L.

- and Wofsy, S.C. Biomass-burning emissions and associated haze layers over Amazonia. **J. Geophys. Res.** 93 D2, 1509-1527, 1988.
- Andreae, M.O., Biomass burning: Its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate. Em: **Global Biomass Burning – Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications**, edited by Levine, J.S., pp. 3-21, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1991.
- Artaxo, P., Fernandes, E. T., Martins, J.V., Yamasoe, M.A., Hobbs, P.V., Maenhaut, W., Longo, K.M. and Castanho, A. Large-scale aerosol source apportionment in Amazonia **J. Geophys. Res.** 103 D24, 31837-31847, 1998.
- Fensholt, R., Sandholt, I., and Rasmussen, M. S. Evaluation of MODIS LAI, fAPAR and the relation between fAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. *Remote Sensing of Environment* 91, 490-507, 2004.
- Gu, L., Baldocchi, D., Verma, S. B., Black, T. A., Vesala, T., Falge, E. M., and Dowty, P. R.: Advantages of diffuse radiation for terrestrial ecosystem productivity. **J. Geophys. Res.** 107 (D6): Art. No. 4050, ACL 2-1 to ACL 2-23, 2002.
- Harrison, L. C., Michalsky, J. J e Berndt, J. Automated multifilter rotation shadowband radiometer: An instrument for optical depth and radiation measurements, **Applied Optics**, 33, 5118-5125, 1994.
- Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanré, D., Buis, J. P., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J. A., Kaufman, Y. J., Nakajima, T., Lavenu, F., Jankowiak, I. e Smirnov, A. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. **Remote Sensing of Environment.** 66, 1-16, 1998.
- Knohl, A. and Baldocchi, D. D. Effects of diffuse radiation on canopy gas exchange processes in a forest ecosystem. *Journal of Geophysical Research* 113, G02023, doi:10.1029/2007JG000663, 2008.
- Knyazikhin, Y., J. Glassy, J. L. Privette, Y. Tian, A. Lotsch, Y. Zhang, Y. Wang, J. T. Morisette, P. Votava, R.B. Myneni, R. R. Nemani, S. W. Running, MODIS Leaf Area Index (LAI) and Fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed by Vegetation (FPAR) Product (MOD15) Algorithm Theoretical Basis Document, 1999 disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod15.pdf>.
- Mercado, L. M., Bellouin, N., Sitch, S., Boucher, O., Huntingford, C. Wild, M. and Cox, P. M. Impact of changes in diffuse radiation on the global land carbon sink. **Nature** 458, doi:10.1038/nature07949, 2009.
- Myneni, R. B., Hoffman, S., Knyazikhin, Y., Privette, J.L., Glassy, J., Tian, Y., Wang, Y., Song, X., Zhang, Y., Smith, G. R., Lotsch, A., Friedl, M., Morisette, J. T., Votava, P, Nemani, R. R. and Running, S. W. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. **Remote Sensing of Environment** 83, 214-231, 2002.
- Niyogi, D. Chang, H.-I., Saxena, V. K., Holt, T., Alapaty, K., Booker, F., Chen, F., Davis, K. J., Holben, B., Matsui, T., Meyers, T., Oechel, W. C., Pielke Sr., R. A., Wells, R., Wilson, K. and Xue, Y.: Direct observations of the effects of aerosol loading on net ecosystem CO₂ exchanges over different landscapes. **J. Geophys. Res. Letters** 31, L20506, doi: 10.1029/2004GL020915, 2004.
- Roderick, M. L., Farquhar, G. D., Berry, S. L., and Noble, I. R. On the direct effect of clouds and atmospheric particles on the productivity and structure of vegetation. **Oecologia**, 129, 21-30 (doi: 10.1007/s004420100760), 2001.
- Sellers, P. J., Dickinson, R. E., Randall, D. A., Betts, A. K., Hall, F. G., Berry, J. A., Collatz, G. J., Denning, A. S., Mooney, H. A., Nobre, C. A., Sato, N., Field, C. B. and Henderson-Sellers, A. Modelling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere. **Science** 275, 502-509, 1997.

- Tian, Y., Dickinson, R. E., Zhou, L., Zeng, X., Dai, Y., Myneni, R. B., Knyazikhin, Y., Zhang, X., Friedl, M., Yu. H., Wu, W. e Shaikh, M. Comparison of seasonal and spatial variations of leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and Common Land Model. **Journal of Geophysical Research**, 109, D01103, doi: 10.1029/2003JD003777, 2004.
- Vermote, E. and Vermeulen, A. Atmospheric correction algorithm: Spectral reflectances (MOD09), version 4.0, Algorithm technical background document. Disponível em <http://modis-sr.ltdri.org/MAIN_PUBLICATIONS/Papers/atbd_mod09.pdf>, 1999.
- Vermote E. F., e Kotchenova, S. Atmospheric correction for the monitoring of land surfaces. **Journal of Geophysical Research**, 113, D23S90, doi: 10.1029/2007JD009662, 2008.
- Yamasoe, M.A., Artaxo, P., Miguel, A.H. e Allen. A.G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of biomass burnings in the Amazon Basin: Water-soluble species and trace elements. **Atmospheric Environment** 34, 1641-1653, 2000.
- Yamasoe, M. A., von Randow, C., Manzi, A. O., Schafer, J. S., Eck, T. F. e Holben, B. N. Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy. **Atmospheric Chemistry and Physics** 6, 1645-1656, 2006