

ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR PELO MÉTODO DE LAMBERT-BEER E PRODUTO DO SENSOR MODIS EM UMA FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA – CERRADO

VILANI, M. T.¹; BORGES, O. P. J.²; PINHEIRO, M.³; ALVES, L. S.⁴; ALVES, M. C.⁵; ARRUDA, J. C.⁶; ALMEIRA FILHO, E. O.⁷; NOGUEIRA, J. S.⁷.

¹ Física, Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá - MT. Av. Fernando Corrêa da Costa, s/n, Bloco F, Sala 212. CEP 78960-900, Brasil. Telefone (+55) 65 3615 8739. mariceia@ufmt.br

² Biólogo, Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical. Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá - MT.

³ Física, Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá - MT.

⁴ Eng^a Sanitarista, Prof^a. Doutora, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Depto. de Engenharia Sanitária, UFMT, Cuiabá - MT.

⁵ Agrônomo, Prof^o. Doutor, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical. Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá - MT.

⁶ Físico, Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Depto. de Física, UFMT, Cuiabá - MT.

⁷ Físico, Prof^o. Doutor, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá - MT.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

RESUMO: O índice de área foliar (IAF) é um parâmetro importante para os estudos de estrutura da vegetação secundária, uma vez que está associada à processos físicos como evapotranspiração, fluxos de CO₂ e água e interceptação da luz. O IAF é muito utilizado como variável de entrada nos modelos de circulação geral da atmosfera. Esse artigo compara duas estimativas de IAF na floresta de transição Amazônia Cerrado. O IAF foi estimado por observações de campo da transmitância de luz pela equação de Lambert-Beer e por sensoriamento remoto utilizando o produto mensal IAF do sensor remoto *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). O IAF estimado por Lambert-Beer apresentou uma média mensal variando de 4,39 a 3,88 m² m⁻² em 2007 e 2008. A média de IAF estimada pelo produto MODIS variou de 2,32 a 2,09 m² m⁻² em 2007 e 2008. O IAF obtido pelo produto MODIS não apresentou correlação significativa com o IAF estimado pela lei de Lambert-Beer.

PALAVRAS-CHAVE: sazonalidade, sensoriamento remoto, floresta tropical.

ESTIMATION OF LEAF AREA INDEX BY LAMBERT-BEER METHOD AND MODIS SENSOR PRODUCT IN AMAZON- CERRADO TRANSITIONAL FOREST

ABSTRACT: The leaf area index (LAI) is an important parameter for studies of structure of secondary vegetation, since it is linked to physical processes such as evapotranspiration, flows of CO₂ and water, as well as interception of light. The LAI is widely used as input variable in general atmospheric circulation models. This article compared two estimates of LAI in the Amazon-Cerrado transitional forest. LAI was estimated by field observations of light transmittance of Lambert-Beer equation and remote sensing using the product of monthly LAI sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) of Earth satellite. The LAI estimated by Lambert-Beer varied on average from 4.39 to 3.88 m² m⁻² for 2007 and 2008, respectively. The average LAI estimated by MODIS product varied from 2.32 to 2.09 m² m⁻²

for 2007 and 2008. There was not significant correlation between LAI estimated by MODIS and Lambert-Beer law. The difference of both estimates could be related to the difference among spatial resolution of MODIS and in situ observations.

KEYWORDS: seasonality, remote sensing, tropical forest.

INTRODUÇÃO: É no dossel da floresta onde ocorrem processos do ecossistema como a transpiração, interceptação da precipitação, a deposição do material seco, e a fotossíntese. Uma importante característica estrutural de florestas é o Índice de Área Foliar (IAF), que estabelece relações entre a biomassa vegetal. Existem diferentes técnicas de estimativa de IAF. Métodos diretos incluindo medições destrutivas e coletas de serrapilheira, e métodos que estimam indiretamente o IAF a partir da radiação indireta transmitida pelo dossel em um determinado ângulo zenital (ERIKSON *et al.*, 2005). A partir dos dados de penetração de luz solar e utilizando-se da lei de extinção da radiação (Lei de Lambert-Beer) dentro do dossel, é possível estimar-se a quantidade de vegetação para cada nível de altura e, conseqüentemente, do índice de área foliar (IAF) (MARQUES *et al.*, 1999). O MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um sensor a bordo do satélite Terra, lançado em dezembro de 1999 que fornece estimativas de cobertura do solo, e índices como o índice de área foliar LAI (*Leaf Area Index*), a f_{APAR} , a produtividade primária bruta GPP (*Gross Primary Productivity*) e a produtividade primária líquida NPP (*Net Primary Production*), o que o torna extremamente conveniente para ser usado em conjunto com modelos de simulação de ecossistemas (VILANI *et al.*, 2007). Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi estimar o IAF pelo método de Lambert-Beer e por sensoriamento remoto por meio do produto do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) em uma vegetação de transição floresta Amazônica-Cerrado, no norte de Mato Grosso, Brasil, em 2007 e 2008, nas estações úmida e úmida-seca.

MATERIAIS E MÉTODOS:

Área de estudo: A área em estudo está situada na Fazenda Maracaí, localizada a aproximadamente 50 km NE de Sinop, Mato Grosso, Brasil (11°24,75' S; 55°19,50' O), a 423 m acima do nível do mar. Esta área é constituída por uma floresta tropical de transição, que ocupa o ecótono entre a floresta Amazônica e o Cerrado. A vegetação é constituída por espécies arbóreas cuja altura média varia de 28-30 m. As principais espécies identificadas no local são *Tovomita sp*, *Brosimum sp*, *Qualea sp*, *Vochysia sp*, *Ocotea spixiana*, *Dinizia Excelsa*, *Quina pteridophilla*, *Mezilaurus itauba* (VOURLITIS *et al.*, 2001; VOURLITIS *et al.*, 2002, PRIANTE FILHO *et al.*, 2004).

Instrumentação: Estimou-se o IAF indiretamente segundo a lei de Lambert-Beer para a extinção da luz e modificada por Monsi & Sacki (Monsi & Sacki, 1953). Foram realizadas medidas da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) por meio de 3 sensores (LI-190SB, LI-COR) instalados com a face sensível apontada para cima, nas alturas de 42, 20 e 1m que registraram os valores de PAR incidente parciais filtrados pela ação do dossel. O quarto sensor a 42m estava disposto com sua face sensível apontada para baixo medindo a Radiação Fotossinteticamente Refletida. As leituras das medidas foram feita a cada 30 segundos e armazenadas as médias a cada 30 minutos, e armazenados por um sistema de aquisição de dados, um Data Logger (CRX-10, Campbell Scientific, Inc, UT, USA).

Estimativa do índice de área foliar:

Estimativa do IAF por Lambert-Beer: O Índice de Área Foliar do dossel (IAF), 2007 e 2008, foi estimado a partir da transmitância de luz no dossel. O método foi baseado na relação entre

a área foliar e a transmitância da radiação, descrita pela equação de Lei de Lambert-Beer segundo Monsi e Saeki (1953): $Q_i/Q_o=e^{-K(\text{IAF})}$, em que Q_i é a radiação que chega na parte inferior ao dossel (neste estudo, a 1 m do solo), e Q_o é a radiação que chega no topo do dossel, e K é o coeficiente de extinção da luz. O coeficiente de extinção da luz foi estimado através dos valores obtidos por sensores de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) dispostos em diferentes níveis em uma torre de 42 m, como já mencionado acima. A estimativa de IAF por Lambert-Beer foi realizada a partir de uma média de todos os dados (a cada 30 min) em um mês, e a estimativa de IAF pelo MODIS considerou o estimado pelo produto às 10h30min (hora local).

Estimativa de IAF por Sensoriamento Remoto: Para a estimativa do IAF por meio do MODIS, foi utilizado o produto mensal do MOD15_BU - coleção 4 (C 4.1) produzido e distribuído pela Universidade de Boston, disponível no endereço: <http://daac.ornl.gov/cgi-bin/MODIS>. O período estudado foi de janeiro de 2007 a dezembro de 2008. A média mensal do IAF foi obtida por meio da média aritmética de 20 pontos da grade, com resolução espacial de 1km e composição de 8 dias. Incluindo nesta área a torre micrometeorológica, com monitoramento local do satélite MODIS às 10h30min.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Índice de área foliar estimado pela lei de Lambert-Beer: A média anual para os anos de 2007 e 2008 para o IAF foi respectivamente $4,4 \pm 0,775 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $3,7 \pm 0,515 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. O máximo de IAF em de 2007 foi em abril $5,2 \pm 0,015 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e em 2008 em Janeiro $4,4 \pm 0,267 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Tabela 1). Concordando com os valores estimados de IAF por transmitância de luz em dezesseis sítios localizados próximos a Manaus - Amazônia variaram de $4,21 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ a $9,60 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (HONZÁK *et al.*, 1996). O IAF varia de ecossistema para ecossistema dependendo das condições de cada local, principalmente do suprimento de água e da fertilidade do solo que estabelecem a estrutura e composição florística do dossel. O IAF decresceu no início da estação úmida-seca devido a dinâmica do IAF de uma cobertura vegetal que é resultante de respostas ecofisiológicas das plantas as condições química, físicas e biológicas do solo, as condições bióticas como herbívora, competição e as interdependências desses fatores dos diferentes estágios sucessionais da vegetação (WANDELLI & MARQUES FILHO, 1999).

Tabela 1. Média mensal de IAF (\pm desvio padrão) estimada pela transmitância da radiação e equação de Lambert-Beer em 2007 e 2008 para Floresta de Transição Amazônia Cerrado.

Mês	IAF ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$)	
	2007	2008
Jan	$3,5 \pm 0,067$	$4,4 \pm 0,267$
Fev	$3,9 \pm 0,101$	$4,1 \pm 0,246$
Mar	$4,8 \pm 0,436$	$3,9 \pm 0,252$
Abr	$5,2 \pm 0,015$	$3,3 \pm 0,375$
Mai	$4,8 \pm 0,863$	$3,5 \pm 0,067$

Índice de área foliar estimado pelo produto do MODIS: A tabela 2 apresenta a variação mensal do IAF estimada pelo MODIS. Para 2007 e 2008 o mês de fevereiro teve maior valor. Em vários dias dos meses não foi possível verificar os dados, provavelmente devido a maior cobertura de nuvens nesta estação úmida e úmida-seca.

Tabela 2. Média mensal de IAF (\pm desvio padrão) estimada pelo MODIS para os anos de 2007 e 2008 para Floresta de Transição Amazônia Cerrado.

Mês	IAF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)	
	2007	2008
Jan	2,9 \pm 0,085	3,1 \pm 2,192
Fev	3,9 \pm 0,00	4,0 \pm 0,207
Mar	2,9 \pm 1,511	2,9 \pm 0,517
Abr	3,8 \pm 1,364	3,1 \pm 0,126
Mai	2,4 \pm 0,436	2,4 \pm 0,688

A média anual para a estimativa de IAF pelo produto do MODIS foi 2,3 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, em 2007, 2,2 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, em 2008.

Comparação entre estimativas do IAF baseadas pela lei de Lambert-Beer e produto do MODIS: Verificou-se a não correlação das estimativas pelos diferentes métodos, provavelmente fatores como nebulosidade tenham interferido, pois a interface entre ecossistemas e atmosfera é muito difícil de ser quantificada, devido à variabilidade espacial (vertical e horizontal) e a variabilidade temporal: ciclos anual e inter-anuais que interagem com o padrão estrutural, estratificação e homogeneidade (BRÉDA, 2003). A figura 1 apresenta os *box-plot* dos dois métodos usados na estimativa do IAF, onde apresenta-se a não superposição entre as medidas de tendência central, indicando com isto suas diferenças significativas.

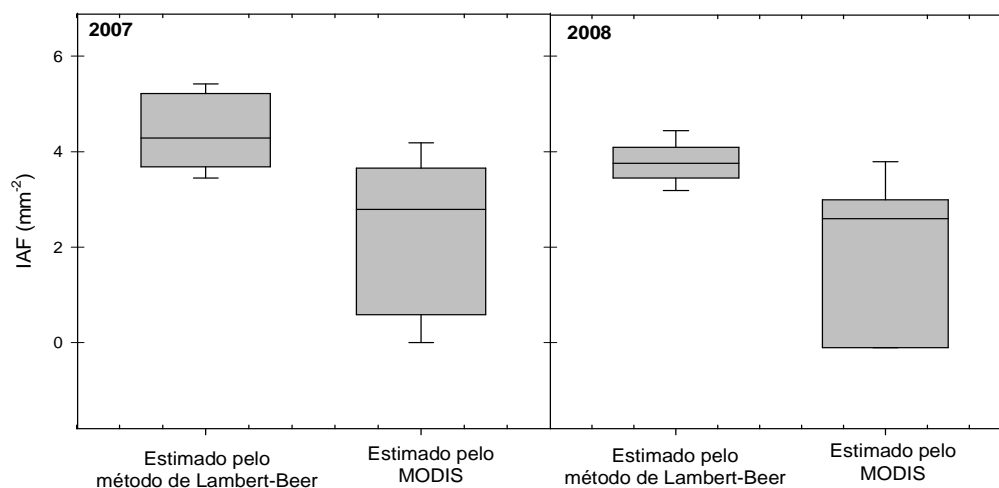


Figura 1. Box-plot do IAF estimado pelo método de Lambert-Beer e MODIS para os anos de 2007 e 2008.

Observa-se que o IAF estimados pelo método de Lambert-Beer, representam uma distribuição assimétrica à direita, sendo a distância do terceiro quartis a mediana maior que a distância da mediana ao primeiro quartis, representando com isto 75% das estimativas do IAF entre o terceiro quartis e o limite superior. Quanto aos dados estimados pelo MODIS, observa-se que a distribuição para os dois anos de estudo é assimétrica à esquerda sendo a distância do terceiro quartis a mediana menor que a distância da mediana ao primeiro quartis, que representa 75%

da estimativa do IAF entre o primeiro quartil e o limite inferior. Por meio de um teste de análise de variância verificou-se que os valores estimados pelo produto do MODIS e pelo método de Lambert-Beer apresentaram diferenças significativas. Ao comparar-se os dois métodos o t-valor foi 4,866 para 2007 e 5,357 para 2008 com $p < 0,05$.

CONCLUSÕES

- O IAF estimado por Lambert-Beer apresentou uma média anual variando de 4,39 a 3,88 m² m⁻² para os anos de 2007 e 2008.
- A média de IAF estimada pelo produto MODIS variou de 2,32 a 2,09 m² m⁻² para os anos de 2007 e 2008.
- O IAF obtido pelo produto MODIS não apresentou correlação significativa com o IAF estimado pela lei de Lambert-Beer.

REFERÊNCIAS:

- BRÉDA, N. J. J. Ground-based measurements of leaf área index: a review of methods, intruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**. v. 54, n. 393, p. 2403-2417, 2003.
- ERIKSON, R.; EKLUNDH, L.; LINDROTH, A.; Estimating LAI in deciduous forest stands. **Agricultural and Forest Meteorology**, p. 27-37, 2005.
- HÓNZAK, M.; LUCAS, R. M.; AMARAL, I. D. O.; CURRAN, P. J.; FOODY, G. M.; AMARAL, S. Estimation of the leaf area index and total biomass of tropical regenerating forests: comparison of methodologies. In: Editores. **Amazonian Deforestation and Climate**. Ed. John Wiley. p.365-381, 1996.
- MARQUES FILHO, A. de O.; DALLAROSA, R. L. G. Interceptação de radiação solar e distribuição espacial de área foliar em floresta. **Acta Amazônica**, p. 20, 1999.
- MONSI, M.; SACKI, T.; Uber den lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung for die Stoffproduktion. **Japanese Journal of Botany**, p. 22-52, 1953.
- PRIANTE FILHO, N. et al. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. **Global Change Biology**, Illinois, USA, v. 10, p. 863-876, 2004.
- VILANI, M. T.; SANCHES, L.; COSTA, M. H.; GAIO, D. C.; NOGUEIRA, J. S. Estimativa da absortância da radiação fotossinteticamente ativa de uma vegetação de transição Amazônica-cerrado por três método. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n. 3, p. 289 – 298, 2007.
- VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; CASEIRO, F. T.; CAMPELO JR, J. H. – Seasonal variations in the net ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian transitional tropical florest. **Funcional Ecology**, n. 15, p. 388 – 395, 2001.
- VOURLITIS, G. L. et al. Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brasil. **Water Resources Research**, St. Louis, USA, v. 38, n. 6, p. 1-30, 2002.
- WANDELLI, E. V.; MARQUES FILHO, A. O. Medidas de radiação solar e índice foliar em coberturas vegetais. **Acta Amazônica**, v. 29, n. 1, p. 57-78, 1999.