

Índice de área foliar em floresta de transição amazonia cerrado em diferentes métodos de estimativa

Luciana Sanches^{1,*}, Nara Luísa Reis de Andrade¹, José de Souza Nogueira¹, Marcelo Sacardi Biudes¹, George Louis Vourlitis²

¹Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, UFMGrosso, Mato Grosso, Brasil

²Biological Sciences Department, California State University, San Marcos, USA

*Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente. UFMG

Departamento de Física. Av. Fernando Corrêa da Costa, s/n, Bloco F, Sala 212
78960.900, Brasil.

e-mail: lsanches@cpd.ufmt.br

Resumo

O Índice de Área Foliar (IAF) é uma importante variável biofísica da vegetação usada em vários modelos de produção primária através de escalas e modelos globais de clima, hidrologia, biogeoquímica e ecologia. Esse artigo compara três estimativas de IAF na floresta de transição Amazônia Cerrado. O IAF é estimado por observações de campo da transmitância de luz e equação de Lambert-Beer, por sensoriamento remoto utilizando o produto mensal IAF do sensor remoto Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) e por fotografias hemisféricas. O IAF estimado por Lambert-Beer apresentou sazonalidade e uma média anual variando de 3,21 a 3,74 m²m⁻² para os anos de 2001 a 2003. A média de IAF estimada pelo produto MODIS variou de 5,25 a 5,54 m²m⁻² para os anos de 2001 a 2003. A média de IAF estimada por fotografias hemisféricas variou de 3,05±0,52 a 4,12±0,56 m²m⁻² para o período de Jun/2004 a Mai/2005 (Silva, 2006). O IAF obtido pelo produto MODIS não apresentou correlação significativa com o IAF estimado pela lei de Lambert-Beer e por fotografias hemisféricas. O produto IAF do sensor MODIS para floresta de transição e florestas tropicais pode ser importante para estudos de dinâmica de dossel e precisa ser validado para ser utilizado com segurança em modelos de acoplamento biosfera-atmosfera.

Palavras-chave: transmitância da luz no dossel, área foliar, sensoriamento remoto, floresta tropical.

Summary

The Leaf Area Index (LAI) is a vegetation biophysical variable used for various primary production models across scales and global models of climate, hydrology, biogeochemistry and ecology. This paper compares three estimates of LAI by at transitional forest Amazon Cerrado. LAI is estimated on field measurements where were utilized light canopy transmittance through the Beer-Lambert equation, remotely sensed Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) monthly LAI product and hemispherical photographs. LAI based on field observations for Beer-Lambert equation presented seasonality, obtaining an annual mean value of 3.21 to 3.74 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ in 2001 to 2003. LAI through MODIS sensor LAI product presented value of 5.25 a 5.54 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ in 2001 to 2003. LAI based on hemispherical photographs presented value of 3.05 ± 0.52 to $4.12 \pm 0.56 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ in Jun/2004 to May/2005 (Silva, 2006). The MODIS product did not presented significant correlation with others methods. The MODIS LAI product for transitional forest and tropical forest tropical could be important for studies of canopy dynamics and need to be validated to be used reliable in coupling biosphere atmosphere models.

Key-words: canopy light transmittance, remotely sensed, tropical forest.

Introdução

O Índice de Área Foliar (IAF) é uma medida de cobertura vegetal importante, por causa da importância das folhas nas trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera (Caruzzo & Rocha, 2000), diretamente relacionada com a evapotranspiração e a produtividade (Xavier & Vettorazzi, 2003), de importância para vários modelos de produção primária através de escalas e modelos globais de clima, hidrologia, biogeoquímica, e ecologia (Wang et al., 2005). O IAF é definido como a razão entre a área foliar de uma população de plantas e a área de solo por ela ocupada. Ela expressa a disponibilidade de superfície assimiladora de CO_2 e da radiação fotossinteticamente ativa e de perdas de água (transpiração) da população de plantas, tendo relação com a capacidade fotossintética da população vegetal por estar relacionada a área de assimilação de CO_2 e de interceptação de radiação, ou pela redução da própria taxa fotossintética quando altos índices de área foliar indicam perda de água e conseqüente deficiência hídrica (Müller et al., 2005). Ele depende da composição de espécies, estágio sazonal da floresta, condições locais, entre outros.

Existem diferentes métodos de estimativa de IAF (Soudani et al., 2001), entretanto nem todos estão adaptados para ecossistemas florestais tropicais (Wasseige et al., 2003). Métodos diretos, incluindo medições

destrutivas, e métodos que estimam indiretamente o IAF a partir da radiação indireta transmitida pelo dossel em um determinado ângulo zenital (Erikson et al., 2005) tem sido empregados, embora sejam de maior complexidade. Os métodos indiretos são os mais fáceis e a maneira mais rápida de estimativa do IAF e vem sendo amplamente aplicado (Nackaerts et al., 2000; Welles & Cohen (1996), em contra partida os métodos diretos apresentam maior precisão, mas são mais laboriosos que os indiretos (Xavier et al., 2002).

O IAF é um parâmetro dinâmico que pode variar de dia para dia, ano para ano de acordo com a dinâmica da floresta. A estimativa do IAF também pode ser afetada pelas condições de iluminação do momento em que as medições estão sendo realizadas (Leblanc & Chen, 2001). Além disso, cada método proposto possui suas dificuldades e vantagens. Por essa razão torna-se de grande importância estabelecer relações entre IAF estimada por diferentes métodos.

O objetivo do presente trabalho foi comparar o IAF estimado mensalmente pela transmitância do dossel e a equação de Lambert-Beer, por meio do produto mensal IAF do MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) e por meio de fotografias hemisféricas em uma área de Floresta de Transição Amazônia Cerrado.

Material e métodos

Local de estudo

Este estudo foi desenvolvido em uma área localizada a, aproximadamente, 50 km NE da cidade de Sinop, norte de Mato Grosso, Brasil. A área estudada está compreendida entre as coordenadas 55°30' e 55°0' O, e 10°45' e 11°15' S, pertencente à bacia do rio Teles Pires (Figura 1) e é uma região de transição entre a floresta tropical úmida e o cerrado, que apresenta uma sazonalidade característica. Nos últimos 30 anos, a temperatura média anual foi de 24°C com pequena variação nas estações, e uma precipitação média de 2000 mm/ano, com quatro meses de estação seca entre junho e setembro; quatro meses de estação úmida, entre dezembro e março; e quatro meses de transição entre outubro e novembro e abril e maio. A Figura 2 apresenta o padrão de precipitação. As características climatológicas da floresta de transição são similares a precipitação de floresta e cerrado, entretanto, nesta região a floresta recebe, aproximadamente, 200 mm a menos de precipitação anual que a floresta úmida e 500 mm mais precipitação que o cerrado (Vourlitis et al., 2002).

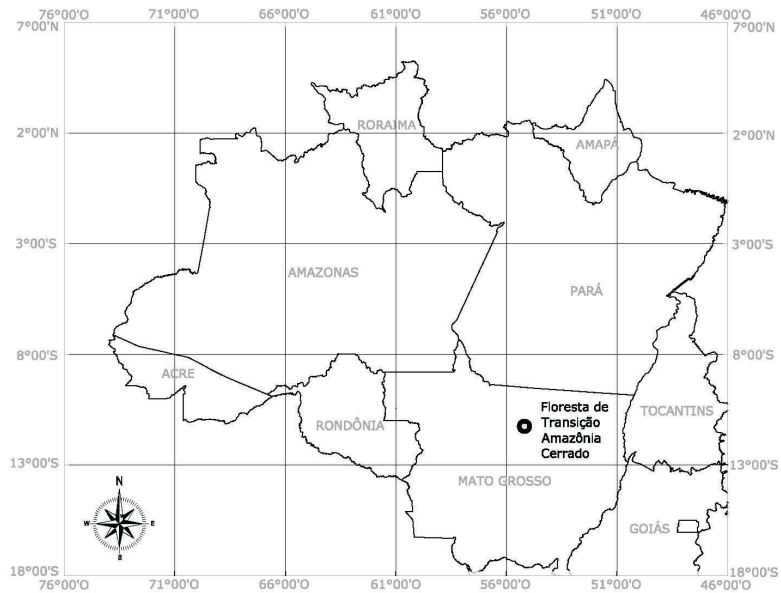


Figura 1. Localização da área de estudo.

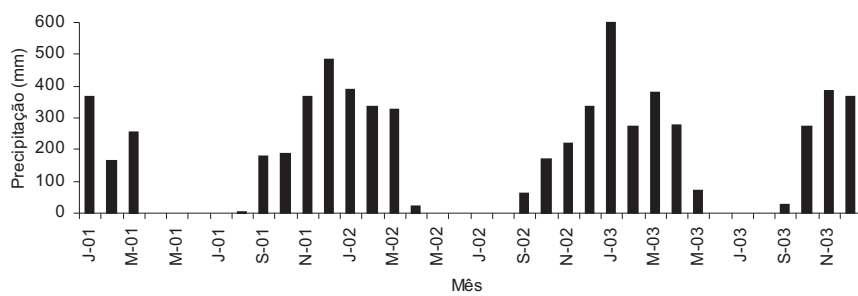


Figura 2. Distribuição da precipitação nos meses dos anos de 2001 a 2003. Dados obtidos pela Fazenda Continental a 17 Km do sítio experimental).

Esta área está caracterizada por ser uma floresta de Transição Amazônia Cerrado com um período de seca prolongado em relação à porção norte da Amazônia. As extensas florestas de transição entre o Cerrado e a Amazônia sofrem as maiores taxas de desmatamento no país, e são pobremente conhecidas do ponto de vista científico. Os solos da área de estudo são classificados como arenosos, ultisolos (distróficos) pobres em nutrientes (Ratter, 1992). De acordo com a classificação feita pelo laboratório de solos da UFMT, o solo é classificado como um neossolo quartzarênico órtico típico, com horizonte A moderado álico, sendo um solo extremamente arenoso, que apresenta na profundidade de 50 cm uma textura com 84% de areia, 4% de silte e 12% de argila (Priante Filho et al., 2004), com elevada porosidade e drenam rapidamente a água após a precipitação (i.e., dentro de 4-7 dias) (Vourlitis et al., 2002).

A vegetação consiste em espécies arbóreas, verdes durante todo o ano, com espécies características da floresta de transição amazônica, como *Tovomita schomburgkii*, *Qualea paraensis* e *Brosimum lactescens*. A distribuição de famílias também apresenta diferenças marcantes em termos de abundância e presença.

Não há espécies com clara dominância, embora alguns dados preliminares apontem que, para um hectare amostrado, aproximadamente 20% dos indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) maior que 10 cm eram da espécie *Tovomita schomburgkii*. A diversidade é alta, embora menor do que a da floresta amazônica em regiões situadas em direção ao centro da Amazônia.

Instrumentação e tratamento de dados

Essa área abriga uma torre micrometeorológica de 42 m de altura (11°24,75'S: 55°19,50'O) que participa do projeto LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia) onde estão instalados equipamentos que monitoram constantemente o microclima local.

Para a medição da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) foram instalados dois sensores (LI-190SB, LI-COR) um com a face voltada para cima (PARI: PAR incidente) e outro com a face voltada para baixo (PARr: PAR refletida), ambos instalados a 42 metros de altura. Os sensores (LI-190SB, LI-COR) foram instalados no ano de 1999 quando foram nivelados e calibrados. Anualmente foi realizada a calibração do sensor por meio de comparação de valores obtidos por outros sensores PAR (LI-190SB, LI-COR) e pelo piranômetro (LI-200SA Pyranometer Sensor), no período de 2001 e 2003.

Os dados micrometeorológicos obtidos na torre foram armaze-

nados por um sistema de aquisição de dados, um Datalogger (CR10-X, Campbell Scientific, Inc., UT, USA), programado para fazer leituras das medidas a cada 30 segundos e armazenar uma média a cada 30 minutos.

Devido a problemas de infra-estrutura ou nos sensores, houve falhas no levantamento de dados. Optando-se, nesse caso, pela rejeição de dados considerados errôneos dentro de um limite máximo e mínimo adotado para cada variável estudada. Assim, foram rejeitados 16% dos dados de PAR incidente.

Para cada variável analisada foram realizados cálculos de um dia médio a cada 30 minutos com todos os dados. A partir do dia médio foram calculadas as médias dos meses e das estações sendo considerados 3 meses de estação seca (junho-agosto), 3 meses de estação úmida (dezembro-fevereiro) e 3 meses de transição seca-úmida (setembro-novembro) e 3 meses de transição úmida-seca (março-maio).

Estimativa do IAF por Lambert-Beer

O Índice de Área Foliar do dossel (IAF, dados de 01/2001 a 12/2003) 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.

Estimativa de IAF por Sensoriamento Remoto

Para a estimativa de IAF por sensoriamento remoto foi utilizado o produto MOD15_BU – coleção 4 do MODIS, que é produzido e distribuído pela Universidade de Boston e cuja metodologia e documentação dos dados estão disponíveis no endereço <ftp://primavera.bu.edu/pub/datasets/MODIS>. A área de estudo possui um “grid” composto de 20 células com 1 km² cada. Para cada célula foi obtido o valor do IAF e do controle de qualidade (QA) que informa o tipo de algoritmo utilizado ou a inexistência de dados. A média mensal do IAF foi obtida por meio da média aritmética dos 20 pontos do “grid”, quando existentes. Para cada valor de IAF obtido pelo produto do MODIS foi disponibilizado um valor de controle de qualidade (QA), que varia de 1 a 8, sendo valores de 1 a 4

indicam alto nível de qualidade e de 5 a 8, baixo nível de qualidade.

Valores de IAF e QA foram estimados para os anos de 2001 a 2003 para comparação de estimativa de IAF estimado por Lambert-Beer e por sensoriamento remoto, e entre junho de 2004 a maio de 2005 para comparação de estimativa de IAF estimado por fotografias hemisféricas e por sensoriamento remoto.

Estimativa de IAF por fotografias hemisféricas

Os dados obtidos para estimativa de IAF por fotografias hemisféricas foram realizados por Silva (2006) no período de Junho/2004 a Maio/2005. As fotografias foram obtidas utilizando-se uma câmera fotográfica (modelo Nikon Coolpix 4.300) com lente hemisférica (Nikon FC-E8 Fisheye), posicionada com parte superior alinhada com o norte magnético por meio de uma bússola. As imagens foram capturadas no sentido do solo para o céu. A câmera foi posicionada sobre um tripé ajustável a um metro acima do solo nivelada horizontalmente. Para a estimativa do IAF utilizou-se o programa Gap Ligth Analyser (GLA, versão 2.0, de licença *freeware*). Para a estimativa foram realizadas 80 fotos hemisféricas na área em estudo próxima a torre e posteriormente foi obtida a média. Assim, o valor da área foliar por fotografias hemisféricas representa uma média de pontos aleatórios da área de estudo.

Resultados e discussões

Estimativa do IAF por Lambert-Beer

O IAF variou sazonalmente com o regime hídrico apresentando menores valores nas estações seca (Junho a Agosto) e seca-úmida (Setembro a Novembro) e maiores nas estações úmida (Dezembro a Fevereiro) (Tabela 1). Valores máximos de IAF foram obtidos no mês de novembro nos diferentes anos de estudo, $3,96 \pm 0,24 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ em 2001, $4,88 \pm 0,29 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ em 2002 e $5,43 \pm 0,49 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ em 2003. A média anual para os anos 2001, 2002 e 2003 foi respectivamente 3,21, 3,44 e 3,74 m^2m^{-2} . Valores estimados de IAF por transmitância de luz em dezesseis sítios localizados próximos a Manaus - Amazônia variaram de 4,21 m^2m^{-2} a 9,60 m^2m^{-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.

No presente estudo, o IAF aumenta no começo da estação seca-úmida e decresce com o começo da estação úmida-seca. A dinâmica do

IAF de uma cobertura vegetal é resultante de respostas ecofisiológicas das plantas as condições química, físicas e biológicas do solo, as condições bióticas como herbivoria, competição e as interdependências desses fatores dos diferentes estágios sucessionais da vegetação (Wandelli e Marques Filho, 1999).

Tabela 1. Média mensal de IAF (\pm desvio padrão) estimada pela transmitância da radiação e equação de Lambert-Beer para os anos de 2001 a 2003 para Floresta de Transição Amazônia Cerrado.

Mês	IAF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)		
	2001	2002	2003
Jan	3,21 \pm 0,28	3,28 \pm 0,27	3,65 \pm 0,17
Fev	3,21 \pm 0,31	3,31 \pm 0,22	3,53 \pm 0,19
Mar	3,25 \pm 0,49	3,25 \pm 0,51	3,58 \pm 0,27
Abr	3,23 \pm 0,34	3,29 \pm 0,57	3,19 \pm 0,56
Mai	2,77 \pm 0,46	2,29 \pm 0,23	3,00 \pm 0,41
Jun	2,35 \pm 0,68	2,61 \pm 0,63	2,74 \pm 0,52
Jul	2,55 \pm 0,53	2,70 \pm 0,31	2,92 \pm 0,54
Ago	3,06 \pm 0,32	2,97 \pm 0,46	3,45 \pm 0,43
Set	3,40 \pm 0,54	3,63 \pm 0,39	4,19 \pm 0,42
Out	3,89 \pm 0,34	4,46 \pm 0,50	-
Nov	3,96 \pm 0,24	4,88 \pm 0,29	5,43 \pm 0,49
Dez	3,64 \pm 0,30	4,60 \pm 0,34	5,42 \pm 0,23
Média anual	3,21	3,44	3,74

Estimativa do IAF por sensoriamento remoto

A Tabela 2 apresenta a variação mensal do IAF estimada pelo MODIS e seu QA. No mês de março e dezembro de 2001, não houveram valores de IAF e seu QA devido a problemas apresentados no sensor MODIS. Os meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro apresentaram altos valores de QA (QA variaram de 1 a 8) provavelmente devido a maior cobertura de nuvens nesta estação úmida. Nas estações secas, como nos meses de setembro, os maiores valores de QA podem ter sido con-

taminados pela névoa seca na região decorrente das queimadas. A média anual para a estimativa de IAF pelo produto do MODIS foi de 5,25 m²m⁻², em 2001, 5,54 m²m⁻², em 2002, e 5,31 m²m⁻², em 2003.

Tabela 2. Média mensal de IAF estimada pelo MODIS e seu QA.

Mês	IAF (m ² m ⁻²)			QA		
	2001	2002	2003	2001	2002	2003
Jan	3,60	6,10	5,60	7	5	6
Fev	6,60	4,80	6,00	5	1	5
Mar	-	6,50	5,70	-	5	5
Abr	5,30	2,10	3,30	2	1	5
Mai	4,10	2,70	4,40	3	1	1
Jun	3,60	5,70	5,60	5	1	1
Jul	4,20	6,60	5,30	1	5	5
Ago	6,50	6,70	4,90	2	6	6
Set	6,10	6,50	4,90	7	5	7
Out	6,10	6,60	5,30	7	5	5
Nov	6,10	6,10	6,60	5	5	5
Dez	-	6,10	6,10	-	6	5
Média anual	5,25	5,54	5,31	-	-	-

Por meio de um teste de análise de variância verificou-se que os valores estimados pelo produto do MODIS e por Lambert-Beer apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$ e $r = 0,57$). 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).

Comparação da estimativa do IAF por fotografias hemisféricas e por sensoriamento remoto

Os dados de IAF estimado por fotografias hemisféricas foi obtido por Silva (2006) no período de Junho/2004 a Maio/2005, e a média

mensal estimada por 80 fotos hemisféricas na área em estudo próxima a torre. Os dados de IAF obtidos por Silva (2006) estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Média mensal de IAF estimada pelo produto do MODIS e por fotografias hemisféricas.

Mês	Produto do MODIS	Controle de qualidade (QA)	Fotografias hemisféricas* (\pm desvio padrão)
Jun/04	5,6	2	4,01 \pm 0,41
Jul/04	4,7	1	4,12 \pm 0,56
Ago/04	6,6	2	3,41 \pm 0,38
Set/04	6,1	8	3,05 \pm 0,52
Out/04	6,1	8	3,19 \pm 0,42
Nov/04	6,1	8	3,72 \pm 0,66
Dez/04	3,6	1	3,31 \pm 0,58
Jan/05	6,1	8	3,65 \pm 0,58
Fev/05	6,0	8	3,43 \pm 0,56
Mar05	2,4	1	3,34 \pm 0,38
Abr/05	2,5	1	3,45 \pm 0,41
Mai/05	4,1	1	3,66 \pm 0,48
Média anual	5,0	-	3,52

*Dados obtidos por Silva (2006).

Para o período de junho de 2004 a maio de 2005, o valor médio de IAF estimado pelo produto do MODIS e por fotografia hemisférica foi de 5,0 e 3,52 $m^2 m^{-2}$, respectivamente. Honzák et al. (1996) mencionam valores entre 3,4 a 4,8 $m^2 m^{-2}$ para a estimativa de IAF em floresta tropical utilizando fotografias hemisféricas.

Por meio de um teste de análise de variância verificou-se que os valores estimados pelo produto do MODIS e por fotografias hemisféricas apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$ e $r = 0,33$).

As duas principais causas para a não correlação das estimativas por diferentes métodos são, principalmente, a nebulosidade e a contribui-

ção de galhos e trocos nas estimativas de IAF. A interface entre ecossistema e atmosfera é muito difícil de ser quantificada, devido a 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).

Conclusões

Conclui-se que:

- o IAF estimado por Lambert-Beer apresentou sazonalidade e uma média anual variando de 3,21 a 3,74 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ para os anos de 2001 a 2003;
- a média de IAF estimada pelo produto MODIS variou de 5,25 a 5,54 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ para os anos de 2001 a 2003;
- o IAF obtido pelo produto MODIS não apresentou correlação significativa com o IAF estimado pela lei de Lambert-Beer e por fotografias hemisféricas;
- o produto IAF do sensor MODIS para floresta de transição e florestas tropicais pode ser importante para estudos de dinâmica de dossel e precisa ser validado para ser utilizado com segurança em modelos de acoplamento biosfera-atmosfera.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Comitê de Treinamento do Programa LBA (Experimento de Grande Escala Biosfera e Atmosfera na Amazônia) pelo incentivo e oportunidade, bem como ao CAPES (proc. Institucional).

Bibliografia citada

- BRÉDA, N.J.J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, v. 54, n. 393, p. 2403-2417, 2003.
- CARUZZO, A.; ROCHA, H.R. Estimativa do índice de área foliar (IAF) em regiões de pastagem e floresta com um método indireto (gap fraction) durante o experimento AMC/LBA. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Editora, Rio de Janeiro. p. 2478-2485, 2000.
- ERIKSON, H.; EKLUNDH, L.; HALL, K.; LINDROTH, A. Estimating LAI in deciduous forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 129, n. 1-2, p. 27-37, 2005.
- HÓNZAK, M.; LUCAS, R.M.; AMARAL, I. DO; 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.
- LEBLANC, S.G.; CHEN, J.M. A practical scheme for correcting multiple scattering effects on optical LAI measurements. *Agricultural Forest Meteorological*, v. 110, p. 125-139, 2001.
- MONSI, M.; SAEKI, T. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany*, v. 14, p. 22-52, 1953.
- MÜLLER, A.G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I.; RADIN, B.; FRANÇA, S.; SILVA, M.I.G. Estimativa do Índice de Área Foliar do Milho a partir da Soma de Grasu-dia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.
- NACKAERTS, K.; COPPIN, P.; MUYS, B.; HERMY, M. Sampling methodology for LAI measurements with LAI-2000 in small forest stands, *Agric. For. Meteorol*, v. 101, n. 4, p. 247-250, 2000.
- PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G.L.; HAYASHI, M.M.S.; NOGUEIRA, J.S. DE, CAMPELO JR, J.H.; NUNES, P.C.; SANCHES, L.; COUTO, E.G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J.L.; MIRANDA, E.J.; PRIANTE, P.C.; PEREIRA, L.C.; BIUDES, M.S.; FRITZEN, C.L.; LACERDA, M.; SULI, G.S.; SHIRAIWA, S.; SILVEIRA, M. 2004. 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*, 10, p. 863-876, 2004.

RATTER, J.A. Transitions between Cerrado and forest vegetation in Brazil, *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*. Chapman and Hall, New York, pp. 417-430, 1992.

SILVA, C.J. Contribuição de folhas na formação da serapilheira e no retorno de nutrientes em floresta de transição no norte de Mato Grosso. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso, Cidade, Mato Grosso. 64pp, 2006.

SOUDANI, K., TRAUTMANN, J., WALTER, J.M. Comparaison de méthodes optiques pour estimer l'ouverture de la canopée et l'indice foliaire en forêt feuillue. *C. R. Acad. Sci. Paris/Life Sci*, v. 324, p. 381-392, 2001.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M.M.S.; NOGUEIRA, J.S.; CASEIRO, F.T.; CAMPELO JR., J.H. 2002. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. *Water Resources Research*, v. 38, n. 6, p. 30-1-30-11, 2002.

XAVIER, A.C.; OARES, J.V.; ALMEIDA, A.C. de. Variação do Índice de Área Foliar em Clones de Eucalipto ao Longo de seu Ciclo de Crescimento. *Revista Árvore*, v. 26, n.4, 2002.

XAVIER, A.C.; VETTORAZZI, C.A. Índice de Área Foliar de Coberturas em uma Microbacia Hidrográfica Subtropical. *Scientia Agrícola*, v. 60, n. 3, p. 425-431, 2003.

WASSEIGE, C.; BASTIN, D.; DEFOURNY, P. Seasonal variation of tropical forest LAI based on field measurements in Central African Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 119, p. 181-194, 2003.

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.

WANG, Q.; ADIKU, S.; TENHUNEN, J.; GRANIER, A. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment*, v. 94, p. 244-255, 2005.

WELLES, J.M.; COHEN, S. Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. *Journal of Experimental Botany*, v. 47, p. 1335-1347, 1996.

