

Comparação do índice de área foliar (IAF) estimado por sensoriamento remoto entre os anos de 1984 e 2011 na região central de Rondônia.

Cristina Aparecida Beneditti^{1,2}
Carlos Alexandre Santos Querino^{1,3}
Marcelo Sacardi Biudes³
Nadja Gomes Machado^{3,4}
Vagner Marques Pavão⁵
Larissa Leite Pavão⁵

¹Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, Centro Regional de Porto Velho
Av. Lauro Sodré, 6500, Aeroporto, Porto Velho – RO, Brasil. Cep. 76803-260
cristina.beneditti@sipam.gov.br
carlos.querino@sipam.gov.br

²Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP
Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente
Avenida 24 A, 1515 Cep. 13506-900 Rio Claro - SP

³Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT)
Programa de Pós Graduação em Física Ambiental – PPGFA
Av. Fernando Correa da Costa, nº 2367, Bairro Boa Esperança, Cuiabá-MT Cep. 78.060 - 900
marcelo@fisica.ufmt.br

⁴Instituto Federal do Mato Grosso (IFMT)
Laboratório de Biologia da Conservação
Av. Juliano Costa Marques, s/n, Bairro Bela Vista. Cep. 78.050 – 560, Cuiabá – MT.
nadja.machado@blv.ifmt.edu.br

⁵Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA
Rua 29 de Agosto, 786, Centro – Humaitá/AM – CEP 69800-000 – Brasil.
vagner_apui@hotmail.com
lari_o.l@hotmail.com

Abstract. Amazon forest is considered one of the biggest tropical rain forests in the world. Although, due to economic pressure, thru the last 40 years, about 20% of Amazonia had been deforested and the natural land cover changed by agricultural, ranching and cattle. Natural land cover change implies in many environmental impacts such as microclimate alteration due to, for example, modification on the Leaf Area Index (LAI) which gives biophysical and structural information about vegetation. The main aim of this article was to analyze the LAI temporal variation estimated by remote sensing and considering vegetation cover alteration in two areas in Rondônia State Brazil. Landsat 5 images of two areas with different land covers (natural forest and pasture), in the years of 1984, 1991, 2000 and 2011, in a central region of Rondônia state, Brazil, were downloaded. Afterward, the images were processed using ArcGis 10.2 and SEBAL model to estimate the surface albedo for all imageries. The results had shown that the deforestation, changing native forest land cover into grassland reduces the LAI in 61%, when compared pasture and native forest area, which indicates that the policy of the Brazilian federal government in transform forest regions in national parks is a reasonable alternative to reduce the deforestation in Amazonia.

Palavras-chave: Amazonia Forest, deforestation, SEBAL, Floresta Amazônica, desflorestamento e SEBAL.

1. Introdução

A floresta Amazônica é considerada uma das mais ricas do mundo. Ocupa 59% do território brasileiro abrangendo oito estados em sua totalidade, Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e parte do Estado do Maranhão. A Amazônia vem sendo alvo de inúmeras ações que visam a retirada de sua vegetação natural. Segundo Martins & Zanon (2007), principalmente na fronteira agrícola, as atividades econômicas associadas ao desmatamento representam grande ameaça à floresta amazônica.

A pressão antrópica que vem ocorrendo tem provocado mudanças na cobertura da terra, como a substituição da cobertura natural para o desenvolvimento da pecuária e expansão do agronegócio (Walker et al., 2009). Essas modificações podem ser observadas pela alteração no índice de área foliar (IAF), o qual fornece informações biofísicas e estruturais da vegetação, pois é definida como total da área foliar por área de superfície do terreno (DAUGHTRY, 1990; GOWER e NORMAN, 1991; CURRAN et al., 1992). A variação deste índice altera as trocas de massa e energia de um ecossistema e conseqüentemente alterar o clima em escala regional. O IAF pode ser estimado em campo com métodos diretos ou indiretos como também utilizando imagens orbitais de maneira indireta. No entanto, as medidas representam valores pontuais e a sua espacialização é onerosa e necessita de métodos matemáticos de interpolação

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que permite estimar o IAF utilizando as radiâncias espectrais registradas pelos sensores orbitais, sem a necessidade de métodos de interpolação. A radiância espectral é influenciada pela disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes na região do visível, pela quantidade de água na região do infravermelho médio e pelo espalhamento múltiplo entre as folhas na região do infravermelho próximo. Desta forma, de maneira geral, quanto maior o IAF, menor os valores de radiância na região do visível e no infravermelho médio e maior na região do infravermelho próximo.

A obtenção de dados para a análise temporal de temas ambientais tornou mais viável a partir da disponibilidade de imagens de satélite de forma contínua e gratuita, como a série Landsat que teve início em 1972 com o objetivo de realizar o mapeamento multispectral da superfície da Terra. Desta forma, o acervo de dados provenientes destes satélites contribui para estudos ao longo do tempo.

Sendo assim, o objetivo do trabalho foi realizar a análise temporal da variação do IAF estimado utilizando o sensoriamento remoto e considerando a alteração da cobertura vegetal em duas áreas no estado de Rondônia.

2. Metodologia de Trabalho

O estudo foi realizado na Amazônia Legal, mais especificamente, na região central do estado de Rondônia, dentro da abrangência de atuação do Centro Regional de Porto Velho (CRPV) do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), conforme apresentado na Figura 1. Nesta região foram escolhidas duas áreas de 40 x 40km para que sejam realizadas as análises do IAF. Uma das áreas está inserida na reserva biológica (Rebio) Jarú, no município de Ji-Paraná, caracterizada por ser uma área exclusivamente de floresta densa. A segunda área dista, aproximadamente, 60 km ao sudoeste da Rebio, localizada na Fazenda Nossa Senhora, sendo que sua maior parte está localizada no município de Jarú e é uma área de avanço do desmatamento. Estas áreas foram escolhidas devido à presença de uma antiga estação de monitoramento do projeto ABRACOS (*Anglo Brazilian Climate Observational Study*), o que contribui para a validação dos dados obtidos nesse trabalho.

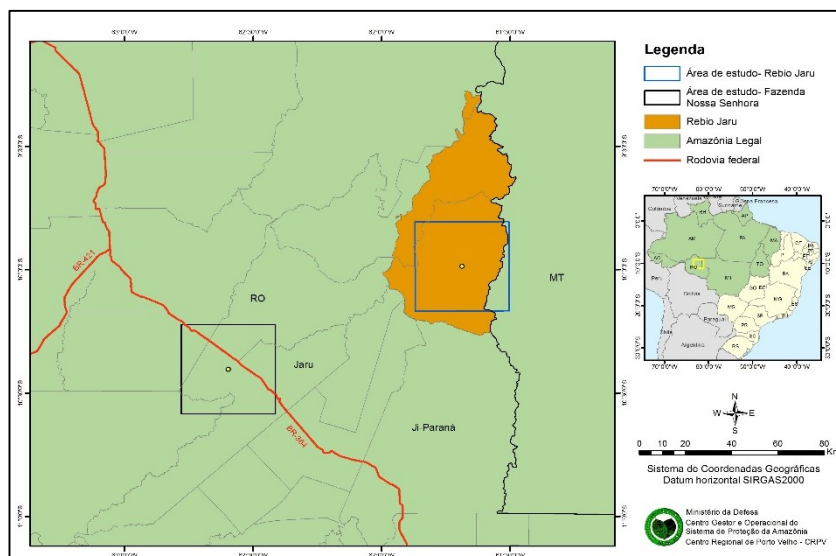


Figura 1. Localização das áreas de estudo na Rebio Jaru e na Fazenda Nossa Senhora no estado de Rondônia.

As imagens utilizadas foram do sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite Landsat 5 geradas nos anos de 1984, 1991, 2000 e 2011, durante o mês de junho. As imagens escolhidas representam um dos meses do período seco na região amazônica, e possibilitaram realizar a análise espaço temporal considerando a retirada da vegetação natural.

Para a obtenção da estimativa dos índices de área foliar foram executadas algumas etapas, do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) proposto por Bastiaansen (1995). Este algoritmo foi concebido para estimar a evapotranspiração em escala regional por meio de sensoriamento remoto e uma de suas etapas é a obtenção da estimativa do IAF.

A primeira etapa da estimativa do IAF foi a transformação do número digital da imagem em radiância espectral monocromática para cada banda, utilizando a Equação (1) de Markham e Baker (1987). Os coeficientes de calibração mínimo e máximo e as irradiancias espectrais no topo da atmosfera foram obtidos de Chander et al. (2009).

$$L_{\lambda i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) ND \quad (1)$$

onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral, i são as bandas do sensor, a e b são os coeficientes de calibração mínimo e máximo e ND é o número digital.

Em seguida, foi necessário realizar a transformação da radiância para reflectância monocromática. Porém, antes, calculou-se uma variável desta transformação, que é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (dr). Esta variável é calculada pela Equação (2) proposta por Iqbal (1983).

$$dr = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{D_j \cdot 2\pi}{365} \right) \quad (2)$$

onde D_j representa o dia Juliano, ou seja, o número corrido de determinado dia no ano.

Sendo assim, a transformação de radiância para reflectância foi calculada utilizando a equação (3) proposta por Allen et al. (2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (3)$$

em que ρ_{λ_i} é a reflectância, L_{λ_i} é a radiância espectral, i são as bandas do sensor, k_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($W. m^{-2} \mu m^{-1}$) e Z o ângulo zenital solar.

Obtidas as reflectâncias das bandas, foi calculado o Índice de Área Foliar (IAF). No entanto, este índice depende da obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*), expresso pela razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V), pela soma das mesmas, dado pela Equação (4), e também do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI - *Soil Adjusted Vegetation Index*), proposto por Huete (1988) (Equação 5).

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (4)$$

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

onde, L é uma função do tipo de solo. O seu valor mais frequente é $L = 0,5$ (Huete & Warrick, 1990; Accioly et al., 2002; Boegh et al., 2002).

Desta forma, o IAF foi calculado pela equação empírica obtida por Allen et al. (2002) (Equação 6).

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (6)$$

3. Resultados e Discussão

A partir da Figura 2, observa-se a mudança no IAF da área da Fazenda Nossa Senhora entre 1984 e 2011. Ao longo de todo esse período o IAF diminuiu 61%, sendo 30% entre 1984 e 2000 e 41% entre 2000 e 2011, o maior período de queda. A diminuição do IAF durante esse período está relacionada com o avanço da fronteira agrícola, o desenvolvimento da pecuária na região e a construção de rodovias pavimentadas, o que resultou no desmatamento da vegetação ao longo do período (Walker e Reis, 2007; Walker et al., 2009).

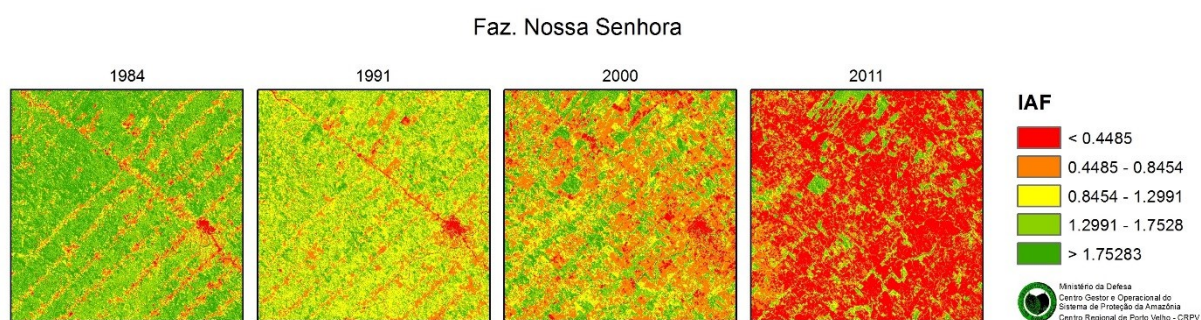


Figura 2. Índice de Área Foliar (IAF) da área da Fazenda Nossa Senhora, em Jarú – RO, estimado entre os anos de 1984, 1991, 2000 e 2011.

Durante o mesmo período de 1984 a 2011, o IAF na área da Rebio Jarú (Figura 3) diminuiu apenas 6%. A diminuição do IAF em 2011 pode estar relacionada a um desmatamento ocorrido no canto inferior direito da área de estudo.

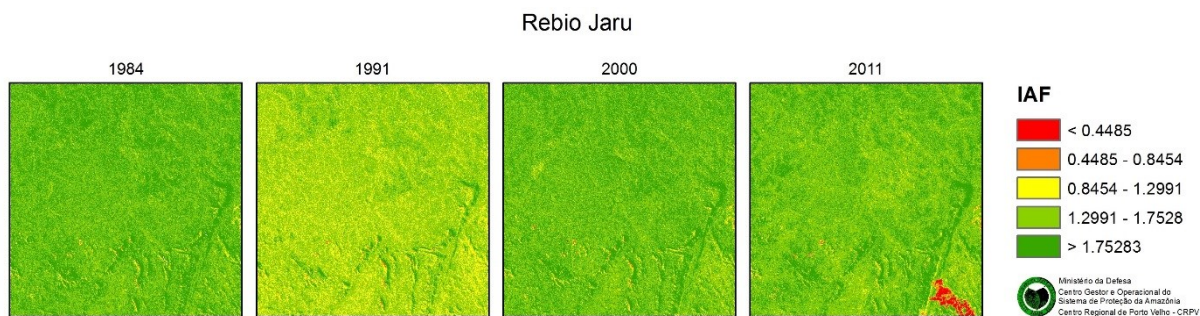


Figura 3. Índice de Área Foliar (IAF) da área da Rebio Jarú, em Jí-Paraná – RO, estimado entre os anos de 1984, 1991, 2000 e 2011.

A diminuição de 20% entre 1984 e 1991, tanto na área da Fazenda Nossa Senhora, quanto na área da Rebio Jarú pode estar relacionada às variações de umidade no solo. Segundo Waterloo (1994), no período seco as plantas se tornam mais susceptíveis à perda de suas folhas. Alterações na disponibilidade de recursos hídricos ou variações na precipitação potencializam ou limitam o crescimento da vegetação (Lee et al., 2002). Cabe ressaltar que todas as imagens utilizadas neste trabalho são todas do mês de junho e provavelmente em 1991 houve uma estiagem mais pronunciada na região.

A Figura 4 apresenta a evolução temporal do IAF nas duas áreas de estudo. Nota-se claramente que a substituição da vegetação natural da floresta amazônica por solo exposto e gramínea, ao longo do tempo, trouxe um impacto significativo no IAF da área da Fazenda Nossa Senhora. A diminuição do IAF na área da Fazenda Nossa Senhora pode implicar em mudanças na temperatura da superfície e, conseqüentemente, devido à extensão da área modificar o clima regional. A retirada da vegetação resulta em alteração no balanço radiativo superficial, assim como, no balanço energético por conta de alteração na distribuição da energia disponível nos fluxos de calor sensível e latente. Por sua vez, essas alterações podem implicar na diminuição do processo de evapotranspiração que pode acarretar em mudanças no ciclo de precipitação local e, conseqüentemente, hidrológico em escala regional (Gulf et al., 1996; Moura et al., 1999; Wang, 2005; Kirschbaum et al., 2011; Kushari e Konitpong, 2011; Leitch et al., 2010; Querino et al., 2006; 2011).

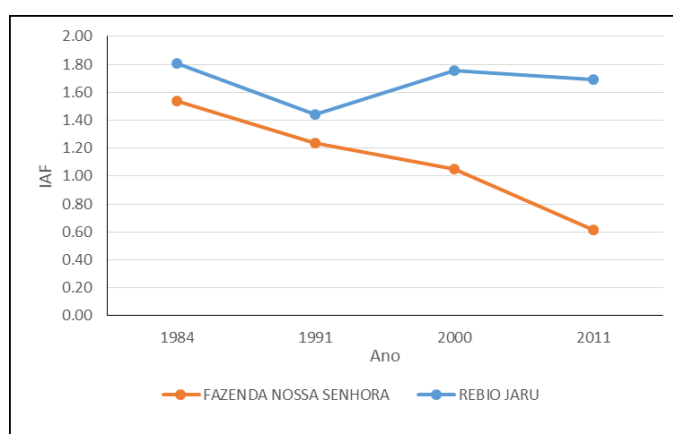


Figura 4. Índice de Área Foliar (IAF) médio dos recortes da área da Fazenda Nossa Senhora e da área da Rebio Jarú, no estado de Rondônia, entre os anos de 1984, 1991, 2000 e 2011.

4. Conclusões

A área da Fazenda Nossa Senhora, a qual não está sobre proteção ambiental do governo do estado de Rondônia, apresentou uma diminuição de 61% do IAF ao longo do período estudado.

Enquanto que, o IAF na Rebio Jarú apresentou uma variação ao longo do tempo que pode ser atribuída às variações meteorológicas interanuais. Este estudo demonstra que as estratégias de contenção do desmatamento na área da Rebio Jarú têm sido eficientes.

Referências Bibliográficas

ACCIOLY, L.J.; PACHECO, A.; COSTA, T.C.C.; LOPES, O.F.; OLIVEIRA, A.J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 6, 492-498. 2002.

ALLEN, R., TASUMI, M., TREZZA, R. Sebal (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual – **Idaho Implementation**, version 1.0, 2002.

BASTIAANSEN, W.G.M., 1995. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**, Ph.D. thesis, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, p. 288.

BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; THOMSEN, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. **Remote Sensing of Environment**, 79, 329-343. 2002.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.L.; HELDER, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v.113, n. 5, p. 893-903, 2009.

CULF, A.D.; ESTEVES, J.L.; MARQUES FILHO, A. de O.; da ROCHA, H.R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia. Cap. 10. **In. Amazonian deforestation and climate**. Gash, J.H.C. et al., 1996.

CURRAN, P.J., DUNGAN, J.L., GHOLZ, H.L. Seasonal LAI in Slash Pine estimated with Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, 39 (1):3-13, 1992.

DAUGHTRY, C.S.T. Direct measurements of canopy structure. In: Goel, N.S., Norman, J.M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. **Remote Sensing Reviews**, 5 (1):45-60, 1990.

GOWER, S.T., NORMAN, J.M. Rapid estimation of Leaf Area Index in conifer and broad-leaf plantations. **Ecology**, 72 (5):1896-1900, 1991.

HUETE, A. R. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p. 89-105, 1988.

IQBAL, M., 1983. An Introduction to Solar Radiation. **Academic Press**, New York, Pages: 223.

KIRSCHBAUM, M. U. F.; WHITEHEAD, D.; DEAN, S. M.; BEETS, P. N.; SHEPHERD, J. D.; AUSSEIL, A.-G. E. Implications of albedo changes following afforestation on the benefits of forests as carbon sinks. **Biogeosciences**, v.8, p.3687–3696, 2011.

KUSHARI, B.; KANITPONG, K. Surface Albedo of Bangkok Roads. **Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, Vol.8, 2011.

LEAITCH, W.R.; LOHMANN, U.; RUSSELL, L.M.; GARRETT, T.; SHANTZ, N.C.; TOOM-SAUNTRY, D.; STRAPP, J.W.; HAYDEN, K. L.; MARSHALL, J.; WOLDE, M.; WORSNOP, D.R.; JAYNE, J.T. Cloud albedo increase from carbonaceous aerosol. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.10, p.7669–7684, 2010.

LEE R., YU F., PRICE K.P. Evaluating vegetation phenological patterns in Inner Mongolia using NDVI time series analysis. **International Journal of Remote Sensing**, 23(12):2505-2512. 2002. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160110106087>

MARKHAM, B. L., BARKER, J. L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p.517-523, 1987.

MARTINS L.K.P., ZANON P.C.F. Uso de geotecnologias na proteção da biodiversidade. In: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**; 2007; Florianópolis. São Jose dos Campos: INPE; 2007. p. 4029-4036.

MOURA, M.A.L.; LYRA, R.F.F.; BENINCASA, M.; SOUZA, J.L.; NASCIMENTO FILHO, M.F. Variação do albedo em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.2, p.163 – 168, 1999.

QUERINO, C.A.S.; MOURA, M.A.L.; LYRA, R.F.F. MARIANO, G.L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, p.42-49, 2006.

QUERINO, C.A.S.; MOURA, M.A.L.; QUERINO, J.K.A.S.; VON RADOW, C.; MARQUES FILHO, A.O. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p.204 – 294, 2011.

WALKER, R. REIS, E. **A basin-scale econometric model for projecting future Amazonian landscape, final report**, NASA, Greenbelt, Md. 2007.

WALKER, R., DeFRIES, R., VERA-DIAS, M.C., SHIMBUKURO, Y., VENTURIERI, A. The expansion of intensive agriculture and ranching in Brazilian Amazonia. In: **Amazonia and Global Change**.2009.

WANG, S. Dynamics of surface albedo of a boreal forest and its simulation. **Ecological Modelling**, v.183, p.477-494. 2005.

WATERLOO, M.J. **Water and nutrient dynamics of Pinus caribaea plantation forests on former grassland soils in SW Viti Levu, Fiji**. June. PhD. Tese, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands, 478 p.