

Estimativa do Índice de Área Foliar no Parque Nacional do Catimbau (PE - Brasil) e sua comparação com medições de campo usando o LAI-2200

Célia Cristina Clemente Machado¹
Eugênia Cristina Gonçalves Pereira¹
Manoel Bandeira de Albuquerque²
Bernardo Barbosa da Silva¹
Josiclêda Domiciano Galvêncio¹

¹ Dept. Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Cidade Universitária – 50740-530 - Recife – PE, Brasil
cmachado@ci.uc.pt, eugenia.pereira@pq.cnpq.br, bbdasilva.ufpe@gmail.com,
josiclea@hotmail.com

² Dept. de Fitotecnia e Ciências Ambientais da Universidade Federal da Paraíba – UFPB
Centro de Ciências Agrárias – 58397-000 – Areia - PB, Brasil
mbalbuquerque@yahoo.com.br

Abstract. As a vegetation biophysical parameter, LAI is of fundamental importance for quantitative analysis of several physical and biological processes related to vegetation dynamics. Therefore, direct or indirect estimation of LAI measurements are key input in many ecosystem studies. Even though direct measurements of LAI provide more accurate estimation, it is time consuming and work intensive to use over large areas. LAI estimated with remote sensing data is a non-destruction method and can be calculated by mathematical combination of the reflectance of satellite red and infrared bands. Usually, LAI is computed using the "top of atmosphere" reflectance of a band, however, METRIC method uses calibrated atmospheric transmittance to compute actual surface reflectance at satellite image time. Several researchers investigated the relationships between vegetation indices and ground measured LAI and have found good correlation. The aim of this paper is to analyze LAI spatial distribution in Catimbau National Park (Pernambuco - Brazil) estimated with and without atmospheric correction, using a TM Landsat 5 satellite image and to investigate its relationship with field measured LAI using LAI-2200. The results showed that, although a superior relationship between ground-measured LAI and the estimations made using METRIC atmospheric correction was found, a calibration to the atmospheric transmittance and paths reflectance functions is needed to proper adjustment to local conditions. LAI spatial distribution over Catimbau showed that almost 1/3 of the park area is covered by man activities and exposed soil, mainly concentrated at the center of the park where a road network is present. To the west of Catimbau, where the access is more difficult, the vegetation cover appears to be more preserved.

Palavras-chave: remote sensing, vegetation indices, image processing, atmospheric transmissivity, sensoriamento remoto, índices de vegetação, processamento de imagens, transmissividade atmosférica.

1. Introdução

O Índice de Área Foliar (IAF) é um parâmetro biofísico adimensional da vegetação e é definido por Watson (1947) como a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada no solo (m^2/m^2).

Sendo um parâmetro estrutural da vegetação, o IAF é de fundamental importância para as análises quantitativas de numerosos processos físicos e biológicos relativos à dinâmica da vegetação (Chen et al., 2002). O IAF está relacionado com processos que envolvem as trocas energéticas entre a vegetação e a atmosfera, tais como a fotossíntese (Duchemin et al., 2006), evapotranspiração e fluxos de carbono (Chen et al., 2007). O monitoramento do IAF a longo prazo permite a compreensão da dinâmica que envolve as alterações de produtividade, de cobertura e dos impactos climáticos sobre os ecossistemas.

Nas medições do IAF têm-se os métodos diretos, que são importantes para se ter uma medida real do dossel foliar a partir de uma amostragem representativa em função do tamanho e tipo de planta. Envolvem vários procedimentos que incluem numerosas coletas de folhas, determinações de área e medições de peso seco sendo, por esse motivo, também conhecidos por métodos "destrutivos". É considerado um método padrão por diversos autores (Favarin *et al.*, 2002; Lima *et al.*, 2008), porém sendo um método intensivo e moroso, a sua execução é pouco viável quando se deseja realizar uma grande amostragem em ambientes florestais (Paiva, 2009).

Os métodos indiretos realizam estimativas do IAF mantendo a integridade das árvores. Dentre os métodos indiretos destacam-se as estimativas por sensoriamento remoto (SR) utilizando dados de satélite. Numerosos estudos têm demonstrado que as técnicas de SR são de extrema utilidade para estimar o IAF e a sua distribuição espaço-temporal (Gower et al., 1999; Oliveira e Galvêncio, 2009; Zheng e Moskal, 2009; Machado et al., 2010; Wittamperuma et al., 2012). O IAF, assim como outros índices de vegetação, é estimado por várias combinações matemáticas das reflectâncias em várias faixas espectrais da radiação eletromagnética (Liu, 2007). Geralmente, o IAF é calculado usando a reflectância no topo da atmosfera, que é bidirecional e calculada para cada banda a partir da radiância direcional do satélite. A verdadeira reflectância da superfície deve levar em consideração a transmissividade atmosférica, sendo que no Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC), ela é calibrada de acordo com Tasumi et al. (2007). As funções destes autores corrigem a reflectância banda a banda para os efeitos de absorção e espalhamento da radiação solar incidente e refletida a partir da superfície baseado numa função simplificada de correção atmosférica que requer apenas medidas pontuais ou estimadas da pressão de vapor, pressão atmosférica e turbidez atmosférica. Assim, a reflectância corrigida constitui um ajuste para as condições atmosféricas locais no momento do imageamento e usada no cálculo do albedo da superfície, índices de vegetação ou no balanço de energia em geral, resulta em estimativas mais acuradas (Silva et al., 2008).

Vários pesquisadores investigaram a relação entre o IAF estimado com imagem de satélite e medições em campo, como por exemplo Lu et al. (2004) que observaram uma relação estatística consistente entre ambos.

Este presente trabalho tem por objetivo analisar a distribuição espacial do IAF no Parque Nacional do Catimbau estimada com e sem correção atmosférica da reflectância, utilizando uma imagem TM do satélite Landsat 5 e verificar a sua correspondência com medições em campo realizadas com o LAI-2200.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

O Parque Nacional do Catimbau (PNC) encontra-se localizado no estado de Pernambuco, na Região Nordeste do Brasil (NEB), entre as coordenadas geográficas 8° 24' 00" e 8° 36'

35" S e 37° 09' 30" e 37° 14' 40" W, totalizando uma área de 62.300 ha (Figura 1). Localiza-se na região central do estado, na zona de transição entre o Agreste e o Sertão, ficando sua área distribuída entre os municípios de Buíque, Tupanatinga e Ibimirim. O clima do parque é predominante semiárido do tipo Bsh, com transição para o tropical chuvoso e do tipo As' segundo a escala de Köppen. A precipitação anual média varia de 650 a 1100 mm, com grande irregularidade no regime interanual. O período de menor pluviosidade vai de setembro a janeiro, sendo outubro o mês mais seco. Quanto à temperatura, esta se mantém regular de médias anuais elevadas, oscilando em torno dos 23 °C. O mês de temperatura mais baixa é julho, com valores equivalentes a 21°C, enquanto dezembro, com temperatura média de 25°C, é o mês mais quente (SNE, 2002).

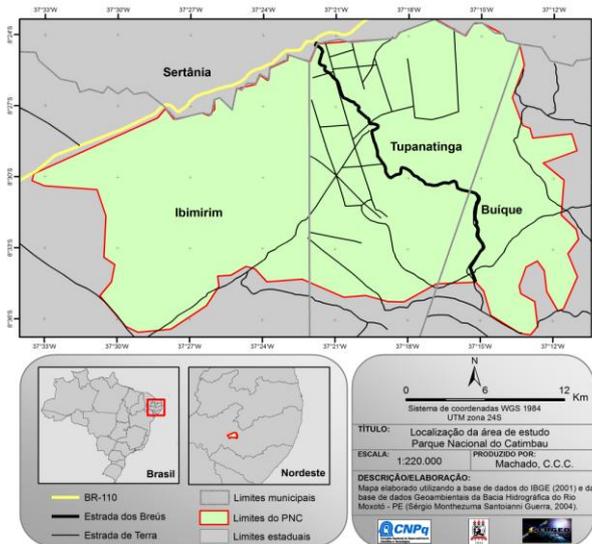


Figura 1. Localização do Parque Nacional do Catimbau, estradas, limites estaduais e municipais.

2.2 Obtenção e tratamento dos dados e das imagens

Os dados meteorológicos necessários para a correção atmosférica banda a banda da reflectância (temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica) foram obtidos a partir da estação meteorológica de Arcoverde, através da consulta do arquivo de dados meteorológicos da plataforma de coleta de dados disponibilizado pela APAC/ITEP (Agência Pernambucana de Águas e Clima/Instituto de Tecnologia de Pernambuco). A estação de Arcoverde fica situada a cerca de 38 km do centro do Parque.

Para alcançar o objetivo da pesquisa foi utilizada uma imagem da área de estudo, captada pelo sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite Landsat 5, cedida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Essa imagem corresponde à órbita 215 e ponto 66 com data de passagem em 24 de maio de 2010.

A imagem foi registrada empregando a correção geométrica de modelo polinomial de 1ª ordem e 6 pontos de controle, como recomendado por D'Alge (2003). A imagem de referência ortorretificada foi obtida do endereço eletrônico www Landsat.org. O erro do registro foi inferior a um pixel (30 m). Posteriormente, procedeu-se ao recorte da imagem tendo em consideração os limites do Parque e os 10 km da área de amortecimento.

O pré-processamento da imagem de satélite, o cômputo do IAF e a montagem final dos layouts foram realizados utilizando os programas Erdas Imagine 9.3 e ArcGis 9.3 (licença do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE).

2.3 Radiância espectral

Esta primeira etapa corresponde ao processo de calibração radiométrica, no qual o Número Digital (ND) de cada pixel da imagem original é convertido em radiância espectral monocromática ($L_{\lambda,i}$ - $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), a partir da Equação 1 proposta por Markham e Baker (1987):

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

onde a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima, respectivamente ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1,2, ... e 7) do TM – Landsat 5. Os coeficientes de calibração utilizados são os propostos por Chander et al. (2007) (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição das bandas e faixas espectrais correspondentes ao TM - Landsat 5, coeficientes de calibração mínimo (a) e máximo (b) e irradiância solar espectral no topo da atmosfera ($ESUN_{\lambda}$).

Bandas	Faixa espectral (μm)	Coeficiente de Calibração ($W m^{-2} \mu m^{-1}$)						$ESUN_{\lambda}$ ($W m^{-2} \mu m^{-1}$)
		De 01/03/1984 até 04/05/2003		De 05/05/2003 até 01/04/2007		Após 02/04/2007		
		a	b	a	b	a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1.52	152.10	-1.52	193.00	-1.52	169.00	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2.84	296.81	-2.84	365.00	-2.84	333.00	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1.17	204.30	-1.17	264.00	-1.17	264.00	1554
4 (IV-próx.)	0,76 – 0,90	-1.51	206.20	-1.51	221.00	-1.51	221.0	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0.37	27.19	-0.37	30.20	-0.37	30.2	215.0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1.2378	15.303	1.2378	15.303	1.2378	15.303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0.15	14.38	-0.15	16.50	-0.15	16.50	80,67

2.4. Reflectância espectral planetária

A reflectância planetária (Equação 2) é dada pela razão entre a integração hemisférica da radiância monocromática e a irradiância solar monocromática incidente numa superfície horizontal sendo obtida através da equação (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

onde $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $ESUN_{\lambda}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$) (Tabela 1), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol.

2.5. Reflectância espectral corrigida

O METRIC introduziu a correção banda a banda da reflectância espectral planetária ($\rho_{sup,i}$), conforme a Equação 3 (Allen et al., 2007; Tasumi, 2003):

$$\rho_{sup,i} = \frac{\rho_{\lambda,i} - \rho_{atm,i}}{\tau_{inc,i} \cdot \tau_{asc,i}} \quad (3)$$

onde $\rho_{sup,i}$ é a reflectividade à superfície da banda i , $\rho_{\lambda,i}$ é a reflectividade planetária no topo da atmosfera (calculada pela Equação 2), $\rho_{atm,i}$ é a refletância atmosférica, adquirida pela equação 10 detalhada mais adiante, $\tau_{inc,i}$ é a transmissividade atmosférica relativa à radiação solar incidente na superfície e $\tau_{asc,i}$ é a transmissividade relativa à radiação refletida pela superfície, obtidos para as bandas i (1,2,3,4,5 e 7 do TM –Landsat 5), individualmente.

A transmissividade incidente ($\tau_{inc,i}$) é obtida pela Equação 4 proposta em Tasumi et al. (2003):

$$\tau_{inc,i} = C_1 \exp \left[\frac{C_2 \cdot P_{atm}}{k_t \cdot \cos Z} - \frac{C_3 \cdot W + C_4}{\cos Z} \right] + C_5 \quad (4)$$

onde C_1 , C_2 , C_3 , C_4 e C_5 são coeficientes fornecidos através de modelo de transferência radiativa, determinados para cada banda espectral i por Tasumi et al. (2003), P_{atm} é a pressão atmosférica média (KPa), W é a água precipitável na atmosfera (mm), Z é o ângulo zenital solar e k_t é o coeficiente de turbidez atmosférica.

A transmissividade ascendente ($\tau_{asc,i}$) é obtida pela Equação 5:

$$\tau_{inc,i} = C_1 \exp \left[\frac{C_2 \cdot P_{atm}}{k_t \cdot \cos \eta} - \frac{C_3 \cdot W + C_4}{\cos \eta} \right] + C_5 \quad (5)$$

em que η representa o ângulo zenital do sensor TM (próximo de 0 e, portanto, $\cos \eta = 1$).

A refletância atmosférica ($\rho_{atm,i}$) relativa a cada faixa espectral do TM é calculada mediante equação (Allen et al., 2007 e Tasumi et al, 2003):

$$\rho_{atm,i} = C_{\lambda,i} (1 - \tau_{inc,i}) \quad (6)$$

em que $C_{\lambda,i}$ é um parâmetro determinado para cada banda do sensor TM.

2.6. Índice de Vegetação Ajustado por Solo (IVAS)

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (IVAS) utilizou-se a expressão (Huete, 1988) :

$$IVAS = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (7)$$

onde L é constante. Utilizou-se $L = 0,1$ baseado em Silva et al. (2008). O IVAS entra no cálculo do Índice de Área Foliar (IAF) que, por sua vez, entra no cálculo das emissividades de cada pixel e, então, da temperatura da superfície. O IVAS também é utilizado para o cálculo do coeficiente de rugosidade local, um parâmetro utilizado no cálculo do fluxo de calor sensível.

2.7. Índice de Área Foliar (IAF)

O IAF é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem e é computado pela equação 8 (Allen et al., 2002):

$$IAF = - \frac{\ln \left(\frac{0,69 - IVAS}{0,59} \right)}{0,91} \quad (8)$$

2.8. Coleta dos dados com o LAI-2200

As coletas de campo com o LAI-2200 foram realizadas nos dias 10 e 11 de junho de 2012, correspondendo à mesma época do ano da imagem de satélite em estudo e em locais que não sofreram alterações de origem antrópica.

Para tal foi utilizado um sensor ótico (LAI-2250) acoplado ao equipamento com um *view cap* de 270°. As leituras foram realizadas, inicialmente, com o registro da radiação acima da copa da vegetação, seguida de ao menos 10 registros de radiação abaixo da copa em pontos com distâncias entre si não inferiores a altura da copa e uma final acima da copa. Após a integralização das leituras o equipamento fornecia o Índice de Área Foliar e o erro-padrão da leitura.

2.9. Análise Comparativa

Uma comparação entre os valores do IAF medidos em campo com o LAI-2200 e o IAF estimado com e sem correção atmosférica banda a banda foi realizada mediante o cálculo do erro absoluto e relativo, de acordo com as expressões 9 e 10. Utilizou-se a média dos pixels ao redor das coordenadas de coleta (3 X 3 pixels de 30 m), método também utilizado por Mu et al. (2007).

$$\text{Erro Absoluto} = |\text{IAF medido} - \text{IAF estimado}| \quad (9)$$

$$\text{Erro Relativo} = \frac{(|\text{IAF medido} - \text{IAF estimado}|)}{\text{IAF medido}} \times 100\% \quad (10)$$

3. Resultados e Discussão

Pela análise da Tabela 2 pode-se verificar que o IAF estimado usando a correção banda a banda (METRIC) teve uma maior correspondência com os valores medidos em campo, tendo gerado erros absolutos e relativos bastante inferiores aos do IAF estimado sem correção. Os erros absolutos do IAF estimado com e sem correção banda a banda variaram entre 0,13 e 0,73 e 0,47 e 1,57, respectivamente. Os erros relativos do IAF estimado com e sem correção banda a banda variaram entre 8,07 e 28,63% e 41,23 e 61,57%, respectivamente. Apesar do menor erro encontrado no IAF estimado com correção, este continua sendo elevado, o que indica que os coeficientes de calibração do METRIC, usado para as condições do clima semiárido de Idaho, carecem de calibração para uso nas condições da região de estudo.

Tabela 2. Valores de IAF medidos em campo usando o LAI-2200 e valores estimados com e sem correção atmosférica banda a banda, assim como os respectivos erros absolutos e relativos.

	IAF estimado				IAF estimado com correção atmosférica		
	Coleta LAI-2200	Valor	Erro absoluto	Erro relativo (%)	Valor	Erro absoluto	Erro relativo (%)
Ponto 1	1,36	0,65	0,71	52,21	1,01	0,35	25,74
Ponto 2	2,55	0,98	1,57	61,57	1,82	0,73	28,63
Ponto 3	1,61	0,88	0,73	45,34	1,48	0,13	8,07
Ponto 4	1,34	0,66	0,68	50,75	1,09	0,25	18,66
Ponto 5	1,41	0,61	0,80	56,74	1,03	0,38	26,95
Ponto 6	1,14	0,67	0,47	41,23	0,90	0,24	21,05

Na Figura 2 observa-se a distribuição espacial do IAF (METRIC) no PNC e o mapeamento do uso e cobertura do solo. É possível estabelecer uma relação entre ambos. Valores inferiores a 0,93 correspondem principalmente a atividades antrópicas e solo exposto e, relacionando com o número total de pixels, constata-se que ocupam aproximadamente 33,1 % da área. Valores entre 0,94 e 1,46 correspondem sobretudo a vegetação arbustiva aberta, ocupando cerca de 34,4 % do parque. IAF entre 1,47 e 2,1 é encontrado essencialmente em vegetação arbustiva fechada, cobrindo 19,09 % do parque e, por fim, valores superiores a 3,06 são encontrados principalmente em áreas com vegetação arbórea fechada, ocupando cerca de 6% do PNC. Assim se conclui que quase 1/3 do PNC é coberto por atividades antrópicas e a maioria se encontra no centro do parque, na porção coberta pelo município de Tupanatinga. Como se pode observar na Figura 1, é no centro do parque que existe uma malha de estradas de terra mais densa, assim como a estrada dos Bréus com cerca de 5 m de largura que atravessa o parque de norte a sul. Essas estradas, de acordo com os residentes e guias do

parque, servem de apoio às mais de 2.000 famílias que ainda residem dentro dos limites do PNC, explicando, dessa forma, a maior pressão antrópica que se faz sentir nessa área. Os maiores valores de IAF indicam maior quantidade de biomassa vegetal e, portanto, áreas mais preservadas dentro do parque, sendo elas encontradas principalmente à oeste, na porção coberta pelo município de Ibimirim (Figura 1). Nessa área do parque não existem estradas, dificultando o acesso e, dessa forma, contribuindo para a preservação da cobertura vegetal.

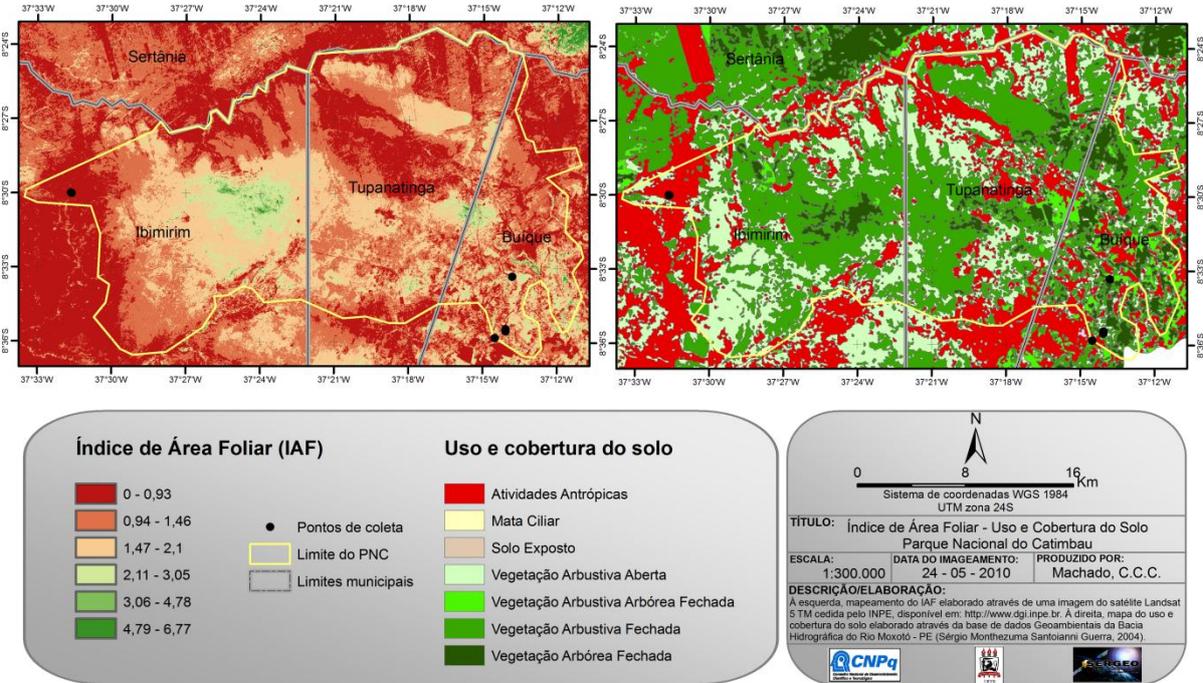


Figura 2. À esquerda, Índice de Área Foliar computado em uma imagem Landsat 5 TM de 24 de maio de 2010 e usando a correção atmosférica banda a banda (METRIC); à direita mapeamento do uso e cobertura do solo (Guerra, 2004).

4. Conclusões

O IAF calculado usando a correção atmosférica banda a banda sugerida pelo METRIC apresentou maior correspondência com os valores de campo obtidos com o LAI-2200, no entanto, é necessário um maior número de pontos de coleta de forma a se obter conclusões robustas.

O PNC sofre uma grande pressão antrópica, principalmente no centro do parque onde se verifica uma considerável malha de estradas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de doutorado cedida ao primeiro autor, ao INPE por ceder a imagem de satélite e à APAC/ITEP por disponibilizar os dados meteorológicos necessários à pesquisa.

Referências bibliográficas

- Allen, R. G.; Tasumi, M.; Trezza, R. **SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land - Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation**. version 1.0. 2002. 98p.
- Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 395, p. 380-394, 2007.
- Chander, G.; Markham, B.; Barsi, J.A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 4, n. 3, p. 490-494, 2007.
- Chen, J.M.; Pavlic, G.; Brown, L.; Cihlar, J.; Leblanc, S.G.; White, H.P.; Hall, R.J.; Peddle, D.R.; King, D.J.; Trofymow, J.A.; Swift, E.; Van Der Sanden, J.; Pellikka, P.K.E. Derivation and validation of Canadawide

coarse-resolution leaf area index maps using high-resolution satellite imagery and ground measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p. 165-184, 2002.

Chen, B., Chen, J. M., Ju, W. Remote sensing-based ecosystem-atmosphere simulation scheme (EASS)--Model formulation and test with multiple-year data. **Ecological Modelling**, v. 209, p. 277-300, 2007.

D'Alge, J. C. L. Cartografia para Geoprocessamento. In: Câmara, G.; Davis, . Monteiro, A. M. V. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2003. Cap. 6, p.1 a 32.

Duchemin, B.; Hadriab, R.; Errakib, S.; Bouleta, G.; Maisongrandea, P.; Chehbounia, A.; Escadafala, R.; Ezzaharb, J.; Hoedjesa, J.C.B.; Kharroud, M.H.; Khabbab, S.; Mougenota, B.; Oliosoe, A.; Rodriguez, J.C.; Simonneauxa, V. Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: On the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. **Agriculture Water Manage**, v. 79, p. 1-27, 2006.

Gower, S.T.; Kucharik, C.J.; Norman, J.M. Direct and Indirect Estimation of Leaf Area Index, fAPAR, and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, v. 70, p. 29-51, 1999.

Guerra, S.M.S. **Base de dados geoambientais da bacia hidrográfica do rio Moxotó - PE**, versão 1.1. Programa Hidrogeologia do Brasil, sub-programa estudos e avaliação do potencial hidrogeológico, projeto de definição de critérios de programas de água subterrânea no cristalino semiárido do Nordeste do Brasil. Recife, 2004.

Huete, A.R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**, v. 4, n. 4, p. 367-376, 1988.

Liu, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande-MS: UNIDERP, 2006. 908 p.

Lu, L.; Li, X.; Ma, M.G.; Che, T.; Huang, C.L.; Bogaert, J.; Veroustraete, F.; Dong, Q.H.; Ceulemans, R. Investigating Relationship between Landsat ETM+ Data and LAI in a Semi-Arid Grassland of Northwest China. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 04, 2004, Anchorage, AK. **Anais...** Anchorage: IEEE 2004. Artigos, v. 6, p. 3622-3625. On-line. ISBN 0-7803-8742-2. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=1369902&contentType=Conference+Publications>>. Acesso em 18 out. 2012.

Machado, C.C.C.; Oliveira, T.H.; Galvêncio, J.D. Interferência Climática e do Homem na Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe - PE. In: Silva, D.F.; Galvêncio, J.D.; Nóbrega, R.S (Orgs). **Mudanças climáticas e recursos hídricos: aplicações no estado de Pernambuco**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2010. Cap. 7, p. 143-163.

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.

Mu, Q.; Heinsch, F.A.; Zhao, M.; Running, S.W. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, v. 111, p. 519-536, 2007.

Oliveira, T.H.; Galvêncio, J.D. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Moxotó - PE usando sensoriamento remoto termal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 2, p. 30-49. 2009.

Paiva, Y.G. **Estimativa do Índice de Área Foliar por métodos óticos e sensoriamento remoto para calibrar modelo ecofisiológico em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado**. 2009. 62p. Dissertação (mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas-Gerais, 2009.

Silva, B.B. da; Mendonça, R.R.O.; Silva, S.T.A.; Ferreira, R.C. Mapeamento do Albedo de Áreas Heterogêneas do Estado do Ceará com imagens TM-Landsat 5. **Revista de Geografia**, v.25, n.2, p.33-52, 2008.

Sociedade Nordestina de Ecologia (SNE). **Projeto Técnico para a Criação do Parque Nacional do Catimbau/PE**. Subprojeto "Proposta para Criação do Parque Nacional do Catimbau/PE". 2002. 151p.

Tasumi, M. **Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. 2003. 355 p. Thesis - University of Idaho (USA). 2003.

Tasumi, M.; Trezza, R.; Allen, R.G.; Wright, J.L. U.S. Validation Test on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite, ICID Workshop on Remote Sensing of Evapotranspiration for Large Regions, 17 sep 2003.

Tasumi, M., Allen, R. G., and Trezza, R. Estimation of at surface reflectance and albedo from satellite for routine, operational calculation of land surface energy balance. **Journal of Hydrological Engineering**

Watson, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v. 11, p. 41-76, 1947.

Wittamperuma, I.; Hafeez, M.; Pakparvar, M.; Louis, J. Remote-Sensing-Based biophysical models for estimating LAI of Irrigated crops in Murry Darling Basin. In: XXII Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 12., 2012, Melbourne, Australia. **Anais...** Melbourne: ISPRS Society, 2012. Artigos, p. 367-373. On-line: <<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B8/367/2012/isprsarchives-XXXIX-B8-367-2012.pdf>>. Acesso em: 18 out 2012.

Zheng, G.; Moskal, L.M. Retrieving Leaf Area Index (LAI) using remote sensing: theories, Methods and Sensors. **Sensors**, v. 9, p. 2719-2745, 2009.