

# XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

## ANÁLISE MULTITEMPORAL DO ALBEDO NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DE ITAPARICA COM AUXÍLIO DE IMAGENS LANDSAT 5-TM

*Rafaella Chrystiane de Moura Matos<sup>1</sup> & José Roberto Gonçalves Azevedo<sup>2</sup>*

**Resumo** – O sensoriamento remoto é de grande auxílio no que diz respeito à avaliação, manejo, gerenciamento e gestão de recursos naturais e no estudo de bacias hidrográficas. A série de satélites Landsat fornece o mais longo e contínuo registro de observações baseado em sensoriamento remoto sobre a superfície terrestre. Imagens sequenciais de albedo podem determinar mudanças na superfície. Nesta pesquisa, o principal objetivo é mostrar a importância de estudos sobre o albedo de superfície em áreas de reservatórios e o uso de imagens de satélite Landsat como subsídio para este tipo de pesquisa, além de mostrar na área do reservatório de Itaparica quais regiões sofreram aumento e diminuição desta variável entre os períodos de 07 de Outubro de 1987 e 06 de Outubro de 2010. Pode-se verificar que o albedo diminuiu na área do projeto de irrigação Apolônio Sales e aumentou no município de Petrolândia, no geral houve um aumento do albedo de superfície que passou de uma média de 0,21 em Outubro de 1987 para 0,27 para o mesmo período em 2010.

**Abstract** – Remote sensing is of great help in regard to assessment and management of natural resources, and study of river basins. The Landsat satellite series provides the longest continuous record of observations based on remote sensing of the surface. From sequential images of albedo it is possible to determine changes on the surface. The main goal of this research, is to show the importance of studies of surface albedo in areas of reservoirs and the use of Landsat satellite images as a subsidy for this type of research. In addition, to show the area of the Itaparica reservoir and which regions have experienced increase and decrease in this variable from October 7th 1987 until October 6th 2010. It can be observed that the albedo decreased in the area of irrigation project and Apolônio Sales and increased in the city of Petrolândia, in general there was an increase in surface albedo which rose from an average of 0.21 in October 1987 to 0.27 for the same period in 2010.

**Palavras-Chave** – albedo, reservatório, landsat.

### INTRODUÇÃO

Sensores que fornecem medidas das características da superfície terrestre de forma calibrada (com acurácia e precisão conhecidas) e consistente permitem que estudos sejam realizados para detecção e quantificação de mudanças no ambiente terrestre, dependendo do sensor (Chander *et. al.*, 2009).

---

<sup>1</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE, rafaella.matos@gmail.com.

<sup>2</sup> Professor Associado, Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Dept de Engenharia Civil, Cidade Universitária, 50741-100, robdosport@hotmail.com.

O sensoriamento remoto é de grande auxílio no que diz respeito a avaliação, manejo, gerenciamento e gestão de recursos naturais, no estudo de bacias hidrográficas é de grande importância por possibilitar a produção e divulgação de diferentes tipos de índices, tais como NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*), albedo, determinação de temperatura, entre outros (Oliveira et. al., 2009).

A série de satélites Landsat fornece o mais longo e contínuo registro de observações baseado em sensoriamento remoto sobre a superfície terrestre, e nesta pesquisa foram utilizados dados de sensor TM presente no satélite Landsat 5.

Segundo Robinove *et. al.* (1981) imagens seqüenciais de albedo podem determinar mudanças na superfície, pois áreas onde há o aumento do albedo indicam possíveis áreas de solo exposto e a sua diminuição pode indicar o aumento da umidade do solo ou densidade da vegetação.

A distribuição do albedo é um dos fatores que podem influenciar o regime de radiação solar além da dinâmica das propriedades ópticas da atmosfera, condição de nebulosidade e topografia do terreno (Oke, 1987).

O albedo de superfície consiste em uma proporção entre o fluxo de energia refletida e o fluxo de energia incidente. Segundo Lopes *et. Al.* (2007), valores altos de albedo podem identificar superfícies mais lisas, secas e de coloração clara, e os valores mais baixos são associados a superfícies rugosas, úmidas e de coloração escura.

A Tabela 1 apresenta alguns valores de albedo e os elementos a que esses valores são comumente associados.

Tabela 1 – Valores de albedo. Adaptado de Lopes *et. Al.*, 2007.

ALBEDO	
Solo	0,05-0,40
Vegetação	0,05-0,20
Água	~0,10

O objetivo desta pesquisa foi mostrar a importância de estudos sobre o albedo de superfície em áreas de reservatórios e o uso de imagens de satélite Landsat como subsídio para este tipo de pesquisa, além de mostrar na área do reservatório de Itaparica quais áreas sofreram aumento e diminuição desta variável.

## USO E OCUPAÇÃO NO ENTORNO NO RESERVATÓRIO DE ITAPARICA

Os projetos de irrigação tem por finalidade básica suprir a demanda de água necessária para atender as culturas de forma suficiente para completar todo o seu ciclo. Os principais benefícios dessa atividade para a agricultura brasileira consistem em permitir uma agricultura econômica,

sustentável e estratégica, aumentar a produtividade das culturas que é de 2 a 3 vezes maior que em áreas não irrigadas, permitir dois ou mais cultivos por ano em uma mesma área, entre outros (Bernardo *et. al.*, 1997).

Embora tragam muitos benefícios para a população local, essa atividade pode colocar em risco a saúde de trabalhadores devido ao uso indiscriminado de agrotóxicos, que também comprometem a qualidade da água e do solo (Sobral *et. al.*, 2006).

No que diz respeito ao impacto ambiental, a irrigação possui alguns efeitos sobre a modificação do meio ambiente tais como: salinização do solo, contaminação dos recursos hídricos, disponibilidade de água para outras atividades, consumo de energia e saúde da população (Bernardo *et. al.*, 1997).

No entorno do reservatório de Itaparica existem dois projetos de irrigação (Iço-Mandantes e Apolônio Sales), situados nos municípios de Petrolândia e Floresta, tais projetos foram criados com o objetivo de reassentar produtores rurais atingidos pela construção da barragem.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Área de Estudo**

O reservatório de Itaparica é o segundo maior reservatório da CHESF e integra o complexo hidrelétrico de Paulo Afonso, com capacidade total de acumulação de 10,7 bilhões de metros cúbicos, superfície aproximada de 828 km<sup>2</sup> e comprimento de cerca de 150 km.

A área está localizada na “Depressão do São Francisco” com clima semi-árido quente e seco (BShw segundo a classificação climática de Köppen). A vegetação da área consiste de caatinga hiperxerófito arbórea densa no topo das chapadas e arbórea aberta nos níveis inferiores.

No entorno do reservatório existem vários projetos de irrigação, sendo uma região basicamente rural com o uso da água predominantemente aplicado à agricultura irrigada, bem como o uso crescente das áreas rasas para implantação dos projetos de aquicultura (Sobral *et. al.*, 2006).

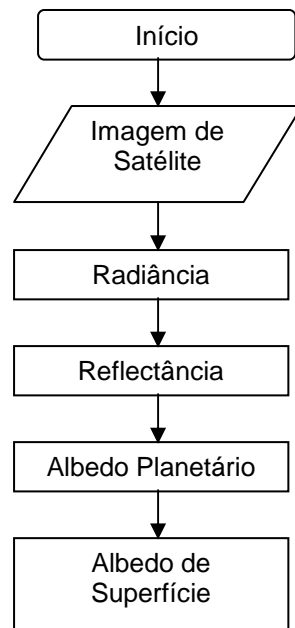
### **Dados Radiométricos**

A partir de imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat-5 foram obtidas as componentes necessárias para o cálculo do albedo de superfície, tais como: radiância espectral, reflectância monocromática e albedo planetário.

As imagens referentes ao entorno do lago de Itaparica utilizadas na pesquisa foram adquiridas através do site da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e compreendem a órbita 216 e o ponto 66 correspondentes aos dias 06 de Outubro de 1987 e 07 de Outubro de 2010.

## Albedo de Superfície

As bases computacionais teóricas utilizadas para o cômputo do albedo de superfície foram descritas por Bastiaanssen *et.al.* (1998) e detalhadas por Allen *et.al.* (2007) e fazem parte do procedimento do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm*).



## Calibração Radiométrica

A calibração radiométrica consiste em transformar o número digital (ND) de cada pixel de uma imagem em radiância espectral ( $L_{\lambda i}$ ), que representa a energia solar refletida por cada pixel por unidade de área, tempo, ângulo sólido e comprimento de onda, tal procedimento foi realizado para cada uma das sete bandas do sensor TM do satélite Landsat 5 de acordo com a equação 1, proposta por Markham e Baker (1987).

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

Onde:

$a_i$  é o coeficiente de calibração correspondente a radiância mínima para cada banda, em  $Wm^{-2}sr\mu m^{-1}$ ;

$b_i$  é o coeficiente de calibração correspondente a radiância máxima para cada banda, em  $Wm^{-2}sr\mu m^{-1}$ ; e

ND é o número digital de cada pixel da imagem.

Os valores de  $a$  e  $b$  do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os intervalos de comprimento de onda em  $\mu m$  e a irradiância espectral no topo da atmosfera em  $Wm^{-2}\mu m^{-1}$  são descritos de acordo com a Tabela 2 para a imagem de 1987 e Tabela 3 para a imagem de 2010.

Tabela 2 – Descrição das bandas do sensor TM do Landsat 5 de 01 de Março de 1984 até 04 de Maio de 2003.

Bandas	Comprimento de Onda ( $\mu m$ )	Coeficientes de Calibração ( $Wm^{-2}sr\mu m^{-1}$ )		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ )
		a	b	
1 (azul)	0,45-0,52	-1,52	152,10	1957
2 (verde)	0,52-0,60	-2,84	296,81	1826
3 (vermelho)	0,63-0,69	-1,17	204,30	1554
4 (IV-próximo)	0,76-0,79	-1,51	206,20	1036
5 (IV-médio)	1,55-1,75	-0,37	27,19	215,0
6 (IV-termal)	10,4-12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08-2,35	-0,15	14,38	80,67

Tabela 3 – Descrição das bandas do sensor TM do Landsat 5 a partir de 05 de Maio de 2003.

Bandas	Comprimento de Onda ( $\mu m$ )	Coeficientes de Calibração ( $Wm^{-2}sr\mu m^{-1}$ )		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ )
		a	b	
1 (azul)	0,45-0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52-0,60	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63-0,69	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76-0,79	-1,51	221,0	1036
5 (IV-médio)	1,55-1,75	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4-12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08-2,35	-0,15	16,5	80,67

Os valores de coeficiente de calibração apresentados foram sugeridos por Chander e Markham (2003) para estudos mais recentes.

## Reflectância

Com mapas de radiância espectral em mãos, é possível ser realizado o cômputo da reflectância monocromática para cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ), isto significa que foram obtidas imagens referentes a razão entre o fluxo da radiação solar refletida e o fluxo de radiação solar incidente para cada banda de acordo com a equação 2, proposta por Bastiaanssen (1995).

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \times L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} \times \cos Z \times dr} \quad (2)$$

Onde:

$L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral para cada banda;

$K_{\lambda_i}$  é a irradiância solar espectral no topo da atmosfera para cada banda em  $Wm^{-2}\mu m^{-1}$  descrita nas Tabelas 2 e 3;

$Z$  é o ângulo zenital solar que pode ser obtido no próprio catálogo de imagens do INPE ou cabeçalho da imagem; e

$dr$  é o quadrado da razão entre a distância Terra-Sol ( $r_0$ ) em um determinado dia do ano ( $DSA$  ou Dia Sequencial do ano).

A equação do  $dr$  pode ser encontrada em Iqbal (1983).

As imagens adquiridas para este estudo são dos dias 07 de Outubro de 1987 e 06 de Outubro de 2010, e obtiveram-se  $Z = 57.2117^\circ$  e  $Z = 62.659^\circ$  respectivamente.

## Albedo de Superfície

O albedo de superfície ( $\alpha$ ) é o albedo corrigido para os efeitos atmosféricos, obtido pela equação 3 presente em Bastiaanssen (1995), Morse *et. al.* (2000) e Allen *et. al.* (2002):

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (3)$$

Onde:

$\alpha_{toa}$  é o albedo planetário;

$\alpha_p$  é a reflectância atmosférica que varia entre 0,025 e 0,04, mas de acordo com Bastiaanssen (2000) para o SEBAL foi recomendado o valor 0,03; e

$\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica.

O albedo planetário é o albedo que não foi ajustado à transmissividade atmosférica e este foi obtido a partir da combinação linear das reflectâncias monocromáticas de acordo com a equação 4.

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (4)$$

Onde  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$  e  $\rho_7$  são as reflectâncias monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7.

A transmissividade atmosférica ( $\tau_{sw}$ ) para condições de céu claro foi obtida de acordo com a expressão simplificada proposta por Allen *et. al.* (2002) dada segundo a equação 5;

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} z \quad (5)$$

Onde  $z$  é a altitude de cada pixel. Para esta área foi estabelecido que a altitude média da região é de 300m, admitida constante para todos os pixels.

## RESULTADOS

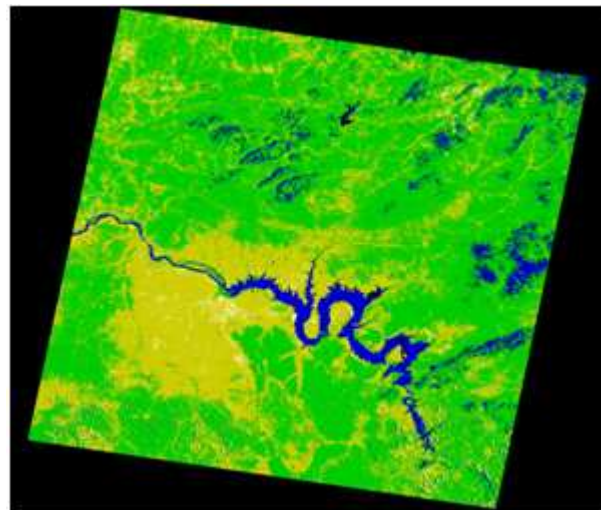
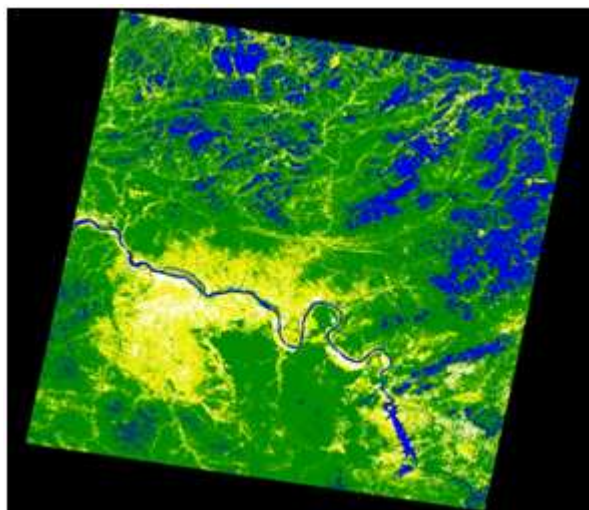
Valores estatísticos de albedo de superfície (mínimo, máximo, média e desvio padrão) referentes aos dias 07 de Outubro de 1987 e 06 de Outubro de 2010 estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores estatísticos de albedo de superfície.

ALBEDO	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
07/10/1987	-0,06	0,86	0,21	0,25
06/10/2010	-0,05	0,95	0,27	0,28

A Figura 1 (a) e (b) representa a distribuição espacial do albedo de superfície dos dias 07 de Outubro de 1987 e 06 de Outubro de 2010 respectivamente e (c) e (d) representam a composição colorida das bandas 5,4 e 3 do Landsat 5 – TM para o mesmo período e região.

Os maiores valores de albedo (acima de 0,5) foram apresentados na cor amarela, que podem ser solo exposto, áreas urbanizadas, etc, os menores valores (abaixo de 0,10) foram apresentados na cor azul, podendo representar água, sombra de nuvens, entre outros, e na cor verde foram apresentados valores médios de albedo (entre 0,10 e 0,5) que geralmente representam vegetação e solo úmido.



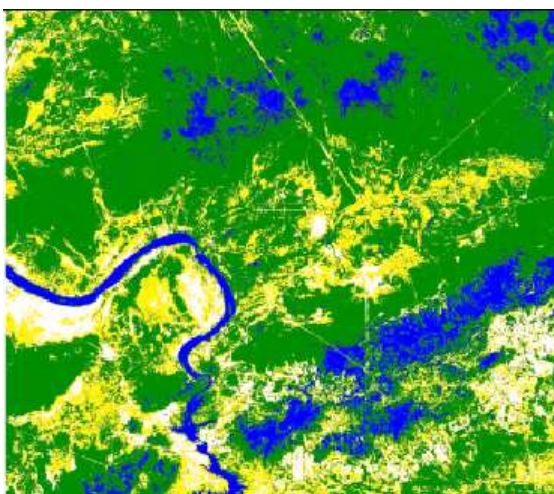
(a) 07 de Outubro de 1987



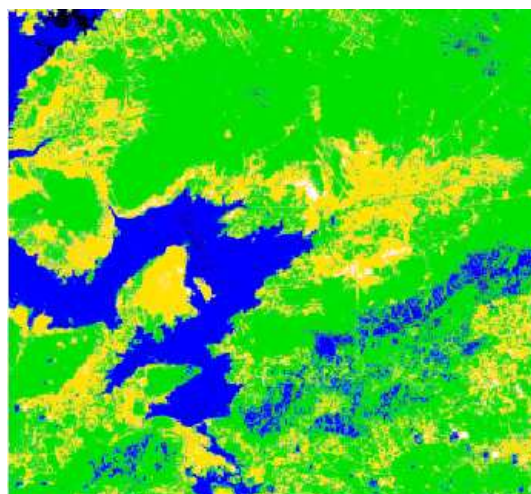
(b) 06 de Outubro de 2010



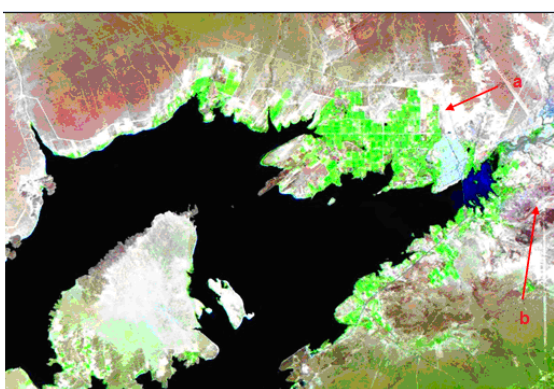
(c) 07 de Outubro de 1987



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1 – (a e b) Distribuição espacial do albedo de superfície. (c e d) Composição colorida, R5G4B3 do Landsat 5 – TM.

Figura 2 – (a) albedo/81; (b) albedo/10; (c) Composição R5G4B3; e (d) Imagem obtida pelo Google Earth da área.



A Figura 2 (a) e (b) estão representando a caracterização do albedo na região do entorno do lago de Itaparica, em (c) é possível visualizar a área através da composição colorida da imagem Landsat, em destaque apontados por setas vermelhas estão: *a*, projeto de irrigação Apolônio Sales e *b*, município de Petrolândia. Na Figura 2 (d) através da imagem adquirida no Google Earth é possível visualizar melhor o que está representado em (c).

Na região que hoje está implantado o projeto de irrigação Apolônio Sales houve uma diminuição do albedo de superfície, em certas áreas o albedo que em 1987 era de 0.8 em 2010 passou a ser 0.2.

No entanto, onde hoje está presente o município de Petrolândia, houve um aumento do albedo de superfície, em alguns pontos o albedo que antes era de 0.5 em 1987, passou para 0.9 em 2010 .

## CONCLUSÃO

Imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 podem ser de grande auxílio em estudos aplicados a reservatórios de água e sua área de influência, pois fornecem a muitos anos informações com boa resolução espacial (30m nas bandas 1,2,3,4,5 e 7 e 120m na banda 6).

O albedo diminuiu na área do projeto de irrigação Apolônio Sales e aumentou no município de Petrolândia, no geral houve um aumento do albedo de superfície que passou de uma média de 0,21 em Outubro de 1987 para 0,27 para o mesmo período em 2010.

A técnica utilizada para o cômputo do albedo é uma das etapas aplicadas no SEBAL, que além de ser importante para o cálculo do balanço de radiação ainda possibilitou a espacialização desta variável.

Estas ferramentas são úteis em planejamento e gestão do uso do solo e recursos hídricos em bacias hidrográficas e reservatórios e suas áreas de influência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA R. (2007). “*Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model.*” Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE, p. 380-394.

ALLEN, R.G.; TREZZA,R.; TASUMI, M. (2002). “*Surface energy balance algorism for land.*” Advance training and users manual, pp. 98.

BASTIAANSEN, W.G.M. (1995). “*Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain.*” Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 273p.

- BASTIAANSSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLSTAG, A.A.M. (1998). "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation." *Journal of Hydrology*, v. 212-213, p. 198-212.
- BERNARDO, S. (1997). "Impacto ambiental da irrigação no Brasil." In: SILVA, D.D.; PRUSKY, F.F. (Eds) "Recursos Hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura." Brasília: MMA/SRH/ABEAS: Viçosa, MG.; Departamento de Engenharia Agrícola, p. 79-88.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. (2003). "Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges". *IEEE Trans. Geosciences and Remote Sensing*, v.41, n.11, p. 2674-2677.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B.L.; HELDER, D.L. (2009). "Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors." *Remote Sensing of Environment*, v.113, p. 893-903.
- LOPES, P.M.O.; VALERIANO, D.M.. (2007). "Validação do albedo de superfície terrestre obtido dos dados do sensor MODIS em regiões montanhosas." in *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2805-2812.
- MARKHAM, B.L. & BARKER, J.L. (1987). "Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances." *International Journal of Remote Sensing*, v. 8, n. 3, p. 517-523.
- MORSE, A.; ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; KRAMBER, W.J.; TREZZA, R.; WRIGHT, J. (2000). "Application of the SEBAL methodology for estimating evapotranspiration and consumptive use of water through remote sensing." *Final Report*, 220 p.
- OKE, T.R. (1987). "Boundary Layer Climates." 2.ed. Methuen, 289p.
- OLIVEIRA, T.H.; GALVINCIO, J.D.; e SILVA, J.S.; SILVA, C.A.V.; SANTIAGO, M.M.; MENEZES, J.B.; da SILVA, H.A.; PIMENTEL, R.M.M. (2009). "Avaliação da cobertura vegetal e do albedo da bacia hidrográfica do Rio Moxotó com imagens do satélite Landsat 5." *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, INPE, p. 2865-2872.
- ROBINOVE, C.J.; CHAVEZ, P.S.; GEHRING, D.; HOLMGREN, R. (1981). "Arid land monitoring using landsat albedo difference images." *Remote Sensing of Environment*. V. 11, p. 133-156.
- SOBRAL, M.C.M.; CARVALHO, R.M.C.M.; da SILVA, M.M.; de MELO, G.L. (2006). "Uso e ocupação do solo no entorno de reservatórios no semi-árido brasileiro como fator determinante da qualidade da água." *XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Punta Del Este, Uruguay.