Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE

Tiago Henrique de Oliveira¹, Celia Cristina Clemente Machado², Josemary Santos e Silva³,
Josicléda Domiciano Galvêncio⁴, Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel⁵,
Bernardo Barbosa da Silva⁶

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Bolsista CAPES.

² Doutoranda do PPGEO. Bolsista CNPq.

³ Geógrafa da Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM).

⁴ Profa. Adjunto do Depto. de Ciências Geográficas e Profa. do PPGEO.

⁵ Profa. Associado do Depto. de Biologia/Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco e Profa. do PPGEO. Bolsista Produtividade do CNPq.

⁶ Prof. Associado da Universidade Federal de Campina Grande, PB. Bolsista Produtividade do CNPq.

Artigo recebido em 14/09/2010 e aceito em 18/10/2010.

RESUMO

O sensoriamento remoto permite o monitoramento espaço-temporal dos recursos naturais em diversas partes do mundo de maneira eficiente e sistemática, vindo a apresentar grande auxílio nas áreas de agricultura, silvicultura, bem como em previsões meteorológicas e hidrológicas. Deste modo, diversos índices têm se apresentado mais recorrentemente na literatura, como os índices de vegetação e do albedo superficial. Considerando as grandes mudanças espaço-temporais ocorridas em bacias hidrográficas e a influência destas mudanças no ciclo hidrológico das mesmas, este estudo objetiva avaliar mudanças ocorridas espaço-temporalmente na bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE, aplicando o NDWI e albedo da superfície, obtidos com imagens orbitais. Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 e 7, órbita-ponto 215-66 datadas em 09 de maio de 1987, 20 de abril de 1992, 15 de maio de 2001, 11 de abril de 2003 (ETM+), 02 de maio de 2008 e 24 de maio de 2010, além de dados de radar SRTM, dados meteorológicos e mapa de uso e cobertura do solo da referida bacia. O Índice de Umidade (NDWI) complementou as cartas de albedo da superfície na análise multitemporal das mudanças de uso e cobertura do solo, auxiliando os planejadores públicos no gerenciamento do uso e cobertura do solo de bacias hidrográficas. A grande variabilidade na quantidade e periodicidade da precipitação indica que o Índice de Umidade e o albedo da superfície detectam grandes mudanças na resposta espectral dos alvos em estudo. A elaboração de perfis do albedo da superfície e do Índice de Umidade auxiliou na avaliação e entendimento do comportamento dos alvos na bacia hidrográfica do rio Moxotó, tornando possível observar grande destaque para as áreas com corpos hídricos, agricultura irrigada e vegetação de porte arbóreo fechado, e valores de umidade mais elevados.

Palavras-chave: Semiárido, índices de vegetação, sensoriamento remoto, mudança de cobertura, comportamento da vegetação.

Moisture Content (NDWI) and Spatial-Temporal Analysis of the Surface Albedo of the Moxoto-PE Basin River

ABSTRACT

Remote sensing allows the spatial and temporal monitoring of natural resources in several parts of the world efficiently and systematically been showing great assistance in the areas of agriculture, forestry, as well as meteorological and hydrological forecasts. Thus, several indexes have been presented more recurrently in the literature, such as vegetation indices and surface albedo. Considering the major changes occurring in space-time river basin and the influence of these changes in the hydrological cycle, this study aims to evaluate changes in space-time river basin Moxotó-PE by applying the NDWI and surface albedo, obtained with orbital images. We used images from Landsat 5 and 7-point orbit at 215-66 dated May 9, 1987, 20 April 1992, May 15, 2001, April 11, 2003 (ETM), May 2, 2008 and May 24,

* E-mail para correspondência: thdoliveira5@gmail.com; cmachado@ci.uc.pt; josy.santos04@gmail.com; josicleda.galvencio@ufpe.br; pimentel@db.ufrpe.br; bernardo@dca.ufcg.edu.br.

2010, in addition to SRTM radar data, weather data and map-use and land cover of the basin. The moisture index (NDWI) complemented the letters of surface albedo on multitemporal analysis of changes in land cover and use, helping manage public planners to the use and land cover of hydrographic basins. The great variability in quantity and frequency of precipitation indicates that the moisture index and surface albedo detect major changes in the spectral response of the targets in the study. The development of profiles of surface albedo and moisture index helped in assessing and understanding the behavior of targets in the river basin Moxotó, making it possible to observe large areas with emphasis on water bodies, vegetation and irrigated agriculture arboreal closed and higher moisture values.

Keywords: Semi-arid, vegetation indices, remote sensing, cover change, vegetation behavior.

Introdução

O sensoriamento remoto tem ajudado no monitoramento espaço-temporal dos recursos naturais em diversas partes do mundo de maneira eficiente e sistemática, vindo a apresentar grande auxílio nas áreas de agricultura, silvicultura, bem como em previsões meteorológicas e hidrológicas. Deste modo, diversos índices têm se apresentado mais recorrentemente na literatura, como os índices de vegetação e a medição do albedo superficial (Oke, 1987; Asner, 2001; Silva et al., 2005; Oliveira & Galvêncio, 2008; Oliveira, 2009).

Hansen et al. (2008) afirmam que “[...]a caracterização da paisagem e a operacionalização do monitoramento dos trópicos úmidos é importante para estudos sobre habitats e biodiversidade, gestão dos recursos florestais, os meios de subsistência humana e os ciclos biogeoquímicos e climáticos (Laporte et al., 1998; Avissar & Werth, 2005; FAO, 2005; Curran & Trigg, 2006)”.

Diversos autores (Blad & Baker, 1972; Leitão, 1989; Azevedo et al., 1990; Leitão & Oliveira, 2000; Jacob & Olioso, 2005) afirmam que o albedo é uma razão entre radiações de ondas curtas refletidas e incidentes e varia em função da posição do sol e interação com o estágio de desenvolvimento da planta, grau de cobertura do solo, umidade do solo e do ar e grau de cobertura de nuvens.

Gomes (2009) afirma que, embora os efeitos mencionados anteriormente sobre o albedo tenham sido extensivamente explorados (Monteith, 1973; Shuttleworth & Wallace, 1985; Leitão, 1994), as variáveis micrometeorológicas, tais como o vento e o orvalho, podem ser também importantes.

Leitão & Oliveira (2000) afirmam que o albedo pode ser influenciado pela irrigação e, como consequência, vir a afetar diretamente o balanço de radiação à superfície e, indiretamente, o balanço de energia, podendo produzir erros significativos, principalmente nas estimativas da evapotranspiração.

Outros fatores, como uma redução na cobertura vegetal, promovem um aumento no albedo, como afirma Charney et al. (1975, citados por Ponce, 2009), podendo levar a um a redução na absorção da radiação.

Dessa forma, massas de ar permaneceriam próximas ao solo para manter o equilíbrio térmico, e a convecção de cúmulos e precipitação associada seriam suprimidas, contribuindo para a redução na cobertura vegetal.

Para regiões áridas e semiáridas, Ponce (2009) afirma que as variações na altura das camadas de ar influenciam na umidade próxima à superfície do solo.

Robinove et al. (1981) afirmam que uma sequência de imagens de albedo pode ser usada para mostrar mudanças sofridas na superfície, seja por causas

naturais ou causas antrópicas. Ainda segundo o mesmo autor, o aumento no albedo é, primeiramente, devido ao aumento do solo exposto e à diminuição no albedo é, inicialmente, devido ao aumento da umidade do solo e densidade da vegetação.

Segundo Giongo (2008), vários trabalhos têm sido realizados para estimar variáveis biofísicas da vegetação através de imagens orbitais, como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - IVDN (Rouse et al., 1973) e o Índice de Vegetação Ajustado ao efeito do Solo - IVAS (Huete, 1988). Mais recentemente, o Índice de Umidade - NDWI tem se destacado no monitoramento do estresse hídrico em ambiente de semiárido. A quantidade de água na vegetação está fortemente correlacionada às bandas do infravermelho próximo e médio, permitindo estimar quantidade de água em culturas (Hardinsky et al., 1983; Gao, 1996; Oliveira et al., 2010).

Goetz, Gao & Wessman (1992), Penuelas et al. (1994) e Verstraete, Pinty & Myneni (1994, citados por Zarco-Tejada, 2003), afirmam que o conhecimento das características variáveis do dossel são importantes para uma aplicação mais eficiente das ferramentas do sensoriamento remoto.

Penuelas et al. (1993) e Galvão et al. (2005) afirmam que informações sobre o conteúdo de umidade no interior da vegetação são de grande utilidade na agricultura, podendo ser usadas para inferir o grau de estresse hídrico, auxiliando na tomada de decisões de irrigação e previsão de safra. Ceccato et al. (2002a,b) afirmam, ainda, que o NDWI é de fundamental importância para a compreensão dos processos de queima de biomassa, auxiliando projetos relativos ao Global Observation of Forest Cover.

O objetivo deste estudo é avaliar mudanças no espaço e tempo na bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE utilizando o NDWI e albedo da superfície, obtidos com imagens TM e ETM+ e satélites Landsat 5 e 7.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Moxotó (Figura 1), inserida em região do semiárido brasileiro. Ocupa quase que totalmente a porção central do estado de Pernambuco e a parte oeste do estado de Alagoas, perfazendo uma área de 9.752,71km² (sendo 8.778,05km² no estado de Pernambuco e 974,66km² no estado de Alagoas).

A Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – SECTMA (2009) afirma que a maior parte das demandas hídricas do estado de Pernambuco é utilizada para atendimento à irrigação, destacando-se a bacia do rio Pontal, a GI-8 e a do Moxotó, com a

demanda de irrigação representando mais de 90% da demanda total da bacia.

A bacia apresenta um padrão de drenagem radial dendrítica secundariamente modificado para formas paralelas, em função do basculamento de blocos, e ainda retilíneos em áreas de epigênia e forte controle das estruturas lineares, possuindo altitude variando entre 200 e 1100m (Oliveira, 2009).

No final da década de sessenta, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) criou o Perímetro Irrigado na Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó. Segundo Montenegro (2009), naquela época, os solos aluvionais eram os preferidos para irrigação, sendo os métodos gravitacionais os mais usuais, não havendo preocupação com a baixa eficiência de distribuição de água.

Figura 1. Bacia hidrográfica do rio Moxotó, Nordeste do Brasil.

O Perímetro se apresentou como um pólo econômico, atingindo seu auge entre os anos de 1980 a 1983, dinamizando socioeconomicamente os municípios de Ibimirim e Inajá. Em 1991, o perímetro iniciou um processo de racionamento, quando, a partir de 1993, o volume de água acumulado no açude Engenho Francisco Sabóya, maior reservatório do Estado, com capacidade de acumular 504 milhões de m³, atingiu níveis críticos (74 milhões de m³).

A irrigação passou a conviver com restrições maiores de fornecimento de água e, em seguida, redução de áreas agrícolas, chegando, em 1996, a paralisação total do projeto, provocando impactos negativos na economia regional e local. Só a partir de 2004 ocorreram precipitações acima da média nos meses de janeiro e fevereiro, sendo possível cancelar a paralisação da irrigação.

Dados radiométricos

Foram utilizadas imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) e *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) de órbita e ponto 215/66, a bordo dos satélites Landsat 5 e 7, respectivamente, obtidas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

As datas de passagem ocorreram em 9 de maio de 1987, 20 de abril de 1992, 15 de maio de 2001, 11 de abril de 2003 (ETM+), 2 de maio de 2008 e 24 de maio de 2010. Todas as cenas Landsat foram registradas e ortorretificadas tomando por base a imagem disponibilizada pelo site www Landsat.org. Posteriormente, foi realizado o recorte da área de estudo limitando a bacia hidrográfica.

Mapa de uso e cobertura do solo

A identificação de classes de uso e cobertura da bacia foi realizada utilizando os vetores da Base de Dados Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó – PE, elaborado pela Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM, 2004).

Processamento das imagens

Para obtenção do albedo da superfície foi utilizada metodologia de Bastiaanssen et al. (1998a,b) e Allen et al. (2002), amplamente utilizada por diversos autores (Silva et al., 2005a,b; Giongo, 2008; Oliveira & Galvêncio, 2008; Oliveira, 2009; Silva, 2009); suas etapas são mostradas no fluxograma abaixo (Figura 2). Já para o Índice de umidade (NDWI) foi utilizada a metodologia proposta por Gao (1996).

Figura 2. Fluxograma de etapas da obtenção do Índice de Umidade (NDWI) e albedo da superfície.

Calibração radiométrica

A calibração radiométrica (Equação 1) consiste na conversão do nível de cinza de cada pixel e banda, em radiância monocromática, que representa a energia solar refletida, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Já para a banda termal, essa radiância representa a radiação emitida por cada pixel, sendo empregada na obtenção da temperatura da superfície. A radiância de cada pixel e banda foi obtida pela equação proposta por Markham & Baker (1987):

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

onde a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255) e i corresponde às

bandas (1, 2, ... e 7) dos satélites Landsat 5 e 7. Os coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander & Markham (2003). Para o ETM+ foram utilizados os coeficientes propostos pela National Aeronautics and Space Administration – NASA (2009).

Reflectância

A reflectância (Equação 2) de cada banda (ρ_{λ_i}) é definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, que é obtida com através da equação (Allen et al., 2002):

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

onde L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, K_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

Albedo planetário (α_{toa})

O albedo não corrigido (Eq. 3) é obtido através da combinação linear das reflectâncias monocromáticas, qual seja:

$$\alpha_{toa} = 0,293 \rho_1 + 0,274 \rho_2 + 0,233 \rho_3 + 0,157 \rho_4 + 0,033 \rho_5 + 0,011 \rho_7 \quad (3)$$

onde $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

Transmissividade atmosférica

Em condições de céu claro, a transmissividade atmosférica (Equação 4) pode ser obtida como proposta por Allen et al. (2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} Z \quad (4)$$

onde Z corresponde a altitude média da área ou a altitude de cada pixel (m). Como a área apresenta uma grande variação de altitude foi necessário recorrer à utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDT) elaborado através de dado de radar SRTM.

Albedo da superfície (α)

O albedo à superfície (Equação 5) é o albedo corrigido quanto aos efeitos atmosféricos:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}} \quad (5)$$

onde α_p é a reflectividade da atmosfera, variando entre 0,025 e 0,04. Bastiaanssen (2000) afirma que o valor mais recomendado para o SEBAL seja o de 0,03, e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica, obtida para condições de céu claro em função da altitude de cada pixel, por equação proposta por Allen et al. (2002).

Índice de Umidade - NDWI

O Normalized Difference Water Index (NDWI), ou Índice de umidade (Equação 6) é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do

infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do infravermelho médio (ρ_{MIR}), e a soma das mesmas:

$$NDWI = \frac{\rho_{IV} - \rho_{MIR}}{\rho_{IV} + \rho_{MIR}} \quad (6)$$

onde ρ_{IV} e ρ_{MIR} correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 5 do TM - Landsat 5. Segundo Cardozo et al. (2009), “[...]o índice de vegetação proposto por Gao (1996), é relacionado com o conteúdo de água presente nas folhas”, em que os valores negativos representam áreas com vegetação seca e valores positivos para vegetação verde.

Dados SRTM

Os dados de radar SRTM foram obtidos através de acesso a página do Brasil em Alto Relevo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Miranda, 2005). Ao total foram obtidas seis cenas, disponibilizadas em folhas com escala de 1:250.000. As mesmas foram submetidas ao mosaico e reprojatadas para o Sistema de projeção UTM – Datum SAD-69. O dado SRTM foi recortado à área correspondente a cena 215/66 do satélite Landsat. Nesta etapa a mesma foi reamostrada para uma resolução espacial de 30 m e ser utilizada no cálculo da Transmissividade Atmosférica.

Em um segundo momento foi realizado o download das cenas SRTM interpoladas para 30 m, através de Krigagem, disponibilizadas pelo site do Projeto Topodata (Valeriano, 2008). Deste modo foi possível utilizar o modelo numérico de terreno e gerar o mapa hipsométrico da bacia hidrográfica.

Resultados e discussão

Através da carta de Albedo da superfície para a bacia hidrográfica do rio Moxotó (Figura 3) é evidente o aumento expressivo nos valores do albedo da superfície para as datas de 09-05-1987, 20 de abril de 1992 e 15-05-2001 em parte da bacia hidrográfica do rio Moxotó. Realizando a análise comparativa com o mapa de uso e cobertura do solo elaborado pela CPRM (2004) (Figura 4), é possível verificar que locais com desenvolvimento de algum tipo de atividade antrópica apresentaram valores de albedo superiores a 30%.

A área das propriedades rurais se apresenta bem delimitada em todas as imagens apresentando valores de albedo superiores a 40%, sendo observada com tons avermelhados. As áreas em que o albedo da superfície se encontrava classificada entre $15 < \alpha < 25\%$ no dia 09 de maio de 1987 passaram a apresentar valores de $\alpha > 25\%$ a partir de 20 de abril de 1992.

Giongo (2008), através da análise de imagens sequenciadas, encontrou, em culturas irrigadas do Ceará, grande alteração no albedo de diferentes alvos, quando comparados às cartas de todo o período. Ele afirma que a variação anual do albedo é fonte de diversos fatores, dentre eles a variação na composição da cobertura, do qual sofreu variação no período de estudo.

Segundo Correia et al. (2002 citados por Giongo, 2008), valores elevados de albedo de superfície estão geralmente associados a superfícies suaves, secas e de coloração clara, enquanto que albedos menores são

ao fato de que o albedo da água é significativamente menor do que o albedo do solo seco.

Para a imagem com data de 02-05-2008 é possível perceber, visualmente, uma diminuição nos valores de albedo da bacia hidrográfica, principalmente no alto Moxotó. Grande parte das áreas que apresentaram $\alpha > 25\%$ nas datas de 20 de abril de 1992, 15 de maio de 2001 e 11 de abril de 2003 passaram a apresentar valores de albedo variando entre $15 < \alpha < 25\%$, o que pode ser explicado pelo elevado índice pluviométrico observado entre o período de 01 de janeiro até a data de passagem da imagem adquirida.

Figura 3. Carta de albedo da superfície (%) da bacia hidrográfica do rio Moxotó.

Vale salientar que apesar do grande índice pluviométrico observado na bacia no primeiro semestre do ano de 2008, algumas das áreas mapeadas pela CPRM (2004), como áreas com desenvolvimento de atividades antrópicas, permaneceram apresentando valores de albedo superiores a 40% e enquanto que outras apresentaram variação de albedo entre 25 e 40%.

As áreas com um maior desenvolvimento de cobertura vegetal nativa, de porte arbórea fechada, arbustiva fechada e arbustiva arbórea fechada, apresentaram valores de albedo estimados entre 20 e 25% nas altitudes (Figura 5), com variação entre 300 e 550m, e entre 15 e 20% nas altitudes superiores à 550m.

Na área da Barragem Poço da Cruz e em outros reservatórios hídricos foram estimados valores de albedo da superfície superiores a 10%, valores que corroboram aqueles encontrados por Silva et al. (2005a

e 2006) no lago de Sobradinho e em áreas do leito do rio São Francisco e, por Bastiaanssen (2000), na bacia do rio Gediz, na Turquia. Nas áreas próximas à borda da barragem Poço da Cruz, os valores de albedo variaram entre $10 < \alpha < 15\%$.

Os resultados encontrados por Silva et al. (2006), em áreas que apresentavam solos descobertos e área urbana do município de Petrolina, foram estimados a partir de valores de albedo superiores a 35%, assim como uma predominância de valores de albedo classificados entre 10 a 25% em áreas irrigadas e com vegetação nativa, o que corrobora com resultados encontrados neste estudo.

Valores de albedo superiores a 35% em áreas com solo descoberto também foram constatados por Boegh et al. (2002), em estudo realizado na Dinamarca com imagens TM.

Figura 4. Uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Moxotó. Modificado de: CPRM (2004).

Na imagem de 2010 é possível notar que os valores de albedo para a bacia hidrográfica do rio Moxotó continuaram apresentando queda. É notável o aumento da classe de albedo classificado entre 15 e 20% para esta imagem em grande parte da bacia, enquanto as áreas utilizadas antropicamente apresentaram valores de albedo classificados entre 20 e 30%.

Para algumas áreas mapeadas pela CPRM (2004) como vegetação arbórea fechada, os valores de albedo da superfície apresentaram valores variando ente 10 e

Figura 5. Altimetria da bacia hidrográfica do rio Moxotó.

15%. Já as áreas de corpos hídricos continuaram apresentando valores de albedo inferiores a 10%.

Através da estação meteorológica instalada no município de Sertânia (Estação do IPA) foram observados os valores de precipitação total diária, do período de 1 de janeiro até a data de aquisição das imagens utilizadas nesta pesquisa. Nota-se a ausência de precipitação para o mês de abril do ano de 2001 (Figura 6d), mostrando, novamente, precipitação de 4 mm no dia 10 de maio.

Figura 6. Precipitação total diária do dia 01 de Janeiro até a data das imagens utilizadas no posto de Sertânia. (a) Janeiro; (b) Fevereiro; (c) Março; (d) Abril; (e) Maio.

Tendo em vista a ocorrência deste fato, algumas espécies do bioma caatinga liberam suas folhas diminuindo, deste modo, a área da superfície que permite a perda de água sob a forma de vapor através dos estômatos, evitando uma elevada taxa de evapotranspiração devido ao longo período de estiagem. Asner et al. (2000) constataram que a ausência de material foliar verde, em grande número de espécies, diminui a influência da componente foliar na resposta espectral.

Para os anos de 1987, 1992 e 2008 é possível observar uma maior distribuição da precipitação ao longo do primeiro semestre, o que pode ter contribuído

para uma maior manutenção da área foliar por grande parte das espécies hiperxerófitas do semiárido (Figura 7), coincidindo, especialmente, com os maiores valores de precipitação mensal encontrados nos meses de março e abril de 2008.

Diversos autores explicam, através da utilização de séries temporais de vegetação, a relação entre os dados espectrais da vegetação com dados de precipitação (Batista et al., 1997; Fensholt & Sandholt, 2003; Gurgel et al., 2003).

Para o primeiro semestre de 2010 nota-se uma maior distribuição da precipitação através dos dados registrados no posto Sertânia (IPA).

Figura 7. Precipitação mensal (mm) do Posto Sertânia (IPA) para os meses de janeiro à maio dos anos de 1987, 1992, 2001, 2003 e 2008.

Considerando o Índice de Umidade (NDWI) (Figura 8), nota-se que grande parte das áreas que apresentaram valores de Albedo da superfície superiores a 25%, em todas as imagens utilizadas, mostrando valores de índice de umidade inferiores a 0 ou até 0,10. Para Gao (1996), os valores negativos do Índice de Umidade são caracterizados por apresentar uma vegetação com grande quantidade de folhas ou galhos secos. O índice de umidade relaciona a quantidade de água por unidade de área na vegetação (GAO, 1996). Quando observado o uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Moxotó (Figura 4), nota-se como as áreas que apresentaram estes valores estavam submetidas a algum tipo de ação antrópica.

As áreas que apresentaram albedo da superfície classificado entre 15 e 25% se caracterizavam com valores de umidade (NDWI) entre 0,10 e 0,25. Para as imagens de 1987, 1992 e 2008, que apresentaram os valores de índice de umidade superiores a 0,30 em grandes áreas da bacia, é possível observar que os valores totais mensais de precipitação foram bem distribuídos ao longo do primeiro semestre (Figura 7).

Nota-se, através da visualização do uso e cobertura do solo (CPRM, 2004) e da carta de umidade (NDWI), que as áreas classificadas como vegetação arbustiva arbórea fechada e vegetação arbórea fechada apresentaram valores de umidade superiores a 0,30. Em períodos de maior estiagem, como para a imagem de 2001, apresentou valores um pouco mais baixos, em torno de 0,15, devido à menor quantidade de folhas verdes.

As áreas de culturas irrigadas apresentavam valores de umidade superiores a 0,30, em todas as imagens utilizadas. Devido à irrigação a qual a cultura encontra-se submetida, estas áreas não apresentaram elevado estresse hídrico nos períodos de ocorrência de estiagem mais longa na bacia.

As áreas classificadas pela CPRM (2004) como Vegetação Arbustiva Aberta e áreas com atividades antrópicas (Figura 4), localizadas no médio e baixo curso do rio Moxotó, apresentaram-se mais destacadas em todas as imagens utilizadas por apresentar valores de umidade mais baixos, inferiores a 0,10, podendo ser observados na Figura 8.

Cardozo et al. (2009), em estudo realizado na região do Pantanal - área correspondente a órbita-ponto 226-73 do sensor TM do Landsat, verificaram que os

valores de NDWI mais baixos estavam associados às áreas com predominância de solo, enquanto que os valores mais altos estavam associados às áreas com grande predominância de água, corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa. Cardozo et al. (2009) e Gao (1996) destacam que solos com maiores valores de reflectância indicam que quanto maiores forem os valores de reflectância em 0,86 um, maior será o NDWI.

Em estudo realizado por Baptista & Munhoz (2009), em áreas próximas aos municípios de Rio Verde de Mato Grosso, Aquidauana e Corumbá, uma sub-região de Nhecolândia, através da utilização de dados AVIRIS, foi constatado que as porções do terreno que apresentam maior conteúdo de umidade (NDWI) são as áreas com água (lagoas), seguidas das áreas com vegetação fotossinteticamente ativa, na planície de inundação e, finalmente, por lagoas temporais que estavam secas no momento de obtenção dos dados pelo sensor.

Holanda & Guerra (2010), na região do Eixo-Forte localizada a oeste do estado do Pará no município de Santarém, constataram que as zonas de floresta apresentam índices de umidade com valores que variaram entre 0,60 e 0,80. Em zonas com reduzida cobertura vegetal ou vegetação esparsa (savanas, por exemplo), os índices apresentaram variação de valores que iam de 0,2 a -0,4 (negativo). Para as áreas com pouca ou quase nenhuma cobertura vegetal, o índice de umidade foi aproximado de -1.

Objetivando uma melhor visualização da relação entre o Albedo da superfície (%) e o Índice de umidade (NDWI) para a bacia hidrográfica do rio Moxotó, foi selecionada a área correspondente ao médio curso do rio Moxotó para as imagens de 9 de maio de 1987, 15 de maio de 2001 e 24 de maio de 2010 (Figura 9), onde é possível observar que pontos com os menores valores de NDWI apresentavam os maiores valores de albedo da superfície.

É possível observar através da Figura 9 que as áreas de agricultura irrigada que apresentavam valores de NDWI superiores a 0,351 apresentaram valores de albedo da superfície com predominância de 15 a 25%, corroborando os resultados obtidos por Silva et al. (2006). Nesta área também existe vegetação ciliar, a qual, devido a uma maior disponibilidade de água no

rio Moxotó, mostra uma maior quantidade de vegetação verde.

Figura 8. Carta de umidade (NDWI) da bacia hidrográfica do rio Moxotó.

Nota-se que as áreas classificadas pela CPRM como áreas com vegetação arbustiva fechada e vegetação arbórea fechada (Figura 4) apresentaram valores de umidade mais elevados, com NDWI superiores a 0,25, e valores de albedos da superfície mais baixos, com albedo variando entre 15 e 25% para as cenas de 9 de maio de 1987 e 24 de maio de 2010.

Na cena de 15 de maio de 2001 é possível observar que estas áreas apresentaram albedos da superfície variando entre 20 e 30%. O aumento pode ser explicado através dos gráficos de precipitação diária (Figura 6), onde é possível observar que no mês de abril não houve ocorrência de precipitação para a Estação Sertânia (IPA), vindo a apresentar precipitação de 4mm no dia 10 de maio, cinco dias antes do imageamento. Deste modo, os valores de albedo da superfície (%) se apresentaram elevados para grande parte da bacia, com albedos superiores a 25%.

As áreas antropizadas (Figura 4) na imagem de 15 de maio de 2001 se mostraram mais destacadas, com valores de albedos superiores a 40% e índice de umidade negativo (NDWI < 0). Deste modo, pode-se admitir que a vegetação nativa presente nestes locais estivesse com suas folhas secas, considerando a afirmativa de Gao (1996) quanto a afirmativa de que valores negativos de umidade indicam vegetação seca.

Para a imagem de 24 de maio de 2010, a bacia apresentou valores de albedo da superfície bem mais amenos, onde as áreas utilizadas antropicamente foram classificadas com albedos variando entre 20 e 30%. Considerando o índice de umidade, nota-se que estas áreas apresentaram valores de até 0,20.

Para uma melhor interpretação da relação entre o índice de umidade (NDWI) e o albedo da superfície foram traçados 4 transectos, onde foram gerados perfis de umidade e albedo da superfície. Deste modo, foram escolhidos alguns pontos destes perfis, tomando por base a quebra natural de valores (Figura 9), permitindo a identificação de áreas com agricultura irrigada no curso do rio Moxotó, e áreas com vegetação nativa.

Observa-se através do perfil 1 (P1) (Figura 10), com índice de umidade em azul e albedo da superfície em verde, que as áreas que apresentaram valores de umidade superiores a 0,25 exibiam albedos inferiores a 0,15, para a imagem de 9 de maio de 1987. Nota-se um expressivo aumento no índice de umidade, com valores

superiores a 0,50 e uma acentuada queda nos valores de albedo, inferiores a 0,10, relacionados com o açude Poço da Cruz, onde os corpos hídricos apresentam baixos valores de albedo da superfície.

Analisando os dois últimos pontos de cada perfil é possível visualizar que o albedo desta área se apresenta bem variável, ora com valores superiores a 0,15 ora com valores inferiores a 0,15, enquanto o índice de umidade se apresenta bem mais homogêneo. Esta área é classificada pela CPRM (2004) como apresentando vegetação de porte arbóreo fechado, no topo da serra, vegetação de porte arbustivo fechado, ao lado esquerdo, e ação antrópica, do lado direito, mostrando alguns valores negativos, devido a ausência de folhas verdes.

Na imagem de 15 de maio de 2001 também foi escolhido o perfil 1 do transecto (P1), podendo ser identificado na Figura 11. Foi identificada uma maior distinção da área localizada entre os dois últimos pontos, onde o lado direito desta serra apresenta valores negativos para o índice de umidade e valores mais elevados de albedo da superfície. Deste modo, supõe-se uma ação antrópica nesta área, em contraste com a área que possui vegetação de porte arbustivo fechado do lado esquerdo da serra.

Como este ano apresentou menores valores de precipitação para o primeiro semestre, nota-se, em vários pontos, que o índice de umidade apresenta valores inferiores a zero e albedos superiores a 0,20. Oke (1987) afirma que estes valores de albedo da superfície estão associados a áreas com solos nus e rochas. Áreas com valores positivos de índice de umidade e albedos mais baixos são aquelas de vegetação que conseguiu resistir por mais tempo o longo período de estiagem.

Através do perfil do transecto 3 (P3), para a área da cena de 24 de maio de 2010, é possível observar (Figura 12) que o primeiro e o segundo pontos compreendem a área classificada pela CPRM (2004) como área de vegetação de porte arbustivo aberto e arbustivo fechado, mostrando valores de índice de umidade superiores a 0,20, enquanto entre o segundo e o terceiro pontos, os valores de umidade vão diminuindo.

Figura 9. Perfis de índice de umidade (NDWI) e de Albedo da superfície (%) da bacia hidrográfica do rio Moxotó.

Figura 10. Perfil 1 de índice de umidade (em azul) e albedo da superfície (em verde) para a cena de 9 de maio de 1987.

Figura 11. Perfil 1 (P1) de índice de umidade (em azul) e albedo da superfície (em verde) para 15 de maio de 2001.

Figura 12. Perfil 3 (P3) de índice de umidade (em azul) e albedo da superfície (em verde) para 24 de maio de 2010.

Já os valores de albedo da superfície se mostraram reduzidos (abaixo de 0,20), com exceção de uma pequena área, entre o primeiro e segundo ponto, que apresentou valores superiores a 0,25. Entre o segundo e o terceiro ponto os valores de albedo da superfície vão aumentando.

Entre o terceiro e o quarto pontos é possível observar que o valor de índice de umidade foi superior a 0,30 em alguns pontos, enquanto que o albedo da superfície apresentou valores mais baixos. Esta alternância de valores é devido ao fato desta área apresentar utilização pela agricultura irrigada, onde as áreas com agricultura apresentam valores elevados de umidade com algumas áreas de umidade próximas ou abaixo de 0 nas parcelas.

Conclusões

O Índice de Umidade (NDWI) pode ser usado em associação ao Albedo da superfície para a avaliação multitemporal de mudança de uso e cobertura do solo, o que pode vir a ajudar aos planejadores públicos quanto ao gerenciamento do uso e cobertura do solo em regiões com bacias hidrográficas.

O Índice de Umidade e o Albedo da superfície apresentam grandes mudanças na resposta espectral dos alvos em estudo, tendo em vista a grande variabilidade na quantidade e na periodicidade da precipitação observada através do posto Sertânia (IPA).

As áreas com desenvolvimento de ações antrópicas se destacam mais em relação aos demais alvos observados na bacia hidrográfica do rio Moxotó. Estas áreas, assim como as áreas de solo exposto, apresentam os valores mais elevados de albedo da superfície e os menores valores de umidade.

Nota-se uma amenização nos valores de Albedo da superfície para a bacia hidrográfica do rio Moxotó para a imagem de 24 de maio de 2010, podendo ser explicada pela maior regularidade das precipitações no primeiro semestre deste ano.

É possível observar que as áreas que indicam índice de umidade negativo (vegetação seca) apresentaram os maiores valores de albedo da superfície na bacia hidrográfica.

Através da elaboração de perfis do albedo da superfície e do índice de umidade é possível destacar as áreas com ocorrência de corpos hídricos, agricultura irrigada e vegetação de porte Arbóreo fechada, as quais apresentam valores do índice de umidade mais elevados.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa cedida. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro dado ao Processo 558074/2009-0.

Referências

Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R. 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 97p.

Asner, G.P.; Wessman, C.A.; Bateson, C.A.; Privette, J.L. 2000. Impact of Tissue, Canopy, and Landscape Factors on the Hyperspectral Reflectance Variability of Arid Ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 74, 1, 69-84.

Asner, G.P. 2001. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 3855-3862.

Avisar, R.; Werth, D. 2005. Global hydroclimatological teleconnections resulting from tropical deforestation, *Journal of Hydrometeorology*, 6, 134-145.

Azevedo, P.V.; Leitão, M.M.V.B.R.; Sousa, I.F.; Maciel, G.F. 1990. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 5, 1, 403-410.

Barbosa, H.A.; Huete, A.R.; Baethgen, W.E. 2006. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, 67, 288-307.

Bastiaanssen, W.G.M.; Menenti, M.; Feddes, R.A.; Holtslag, A.A.M.A. 1998a. Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212-213, 198-212.

Bastiaanssen, W.G.M.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Moreno, Y.M.J.; Roerink, G.J.; Van Der Wal, T. 1998b The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. *Journal of Hydrology*, 212-213, 213-229.

Bastiaanssen, W.G.M. 2000. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 229, 87-100.

Batista, G.T.; Shimabukuro, Y.E.; Lawrence, W.T. 1997. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 15, 3195-3210.

Baptista, G.M. de M.; Munhoz, C.B.R. 2009 Comportamento do sequestro florestal de carbono, do conteúdo de CO₂ atmosférico e do conteúdo de umidade da vegetação no Pantanal de Nhecolândia, MS, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, INPE, 1071-1078.

Boegh, E.; Soegaard, H.; Thomsen, A. 2002. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. *Remote Sensing of Environment*, 79, 1, 329-343.

Blad, B.L.; Baker, D.G. 1972. Reflected radiation from a soybean crop. *Agronomy Journal*, 64, 277-280.

Cardozo, F.S.; Pereira, G.; Silva, G.B.S.S.; Silva, F.B.; Shimabukuro, Y.E.; Moraes, E.C. 2009. Discriminação de áreas alagadas no Pantanal sul-matogrossense a partir de imagens orbitais. *Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, Corumbá, 7-11 novembro, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, pp. 99-106.

Ceccato, P.; Gobron, N.; Flasse, S.; Pinty, B.; Tarantola, S. 2002a. Designing a spectral index to

- estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1. Theoretical approach. Remote Sensing of Environment, 82, 188-197.
- Ceccato, P.; Flasse, S.; Gregoire, J. 2002b. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2. Validation and applications. Remote Sensing of Environment, 82, 198-207.
- Correia, F.W.S.; Alvalá, R.C.S.; Gielow, R. 2002. Albedo do Pantanal Sul Matogrossense durante o período de transição seco-úmido de 2001-2002, In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, Foz do Iguaçu, Anais... Foz do Iguaçu.
- Curran, L.M.; Trigg, S.N. 2006. Sustainability science from space: Quantifying forest disturbance and land-use dynamics in the Amazon, Proceedings of the National Academy of Sciences, 103, 34, 12663-12664.
- Chander, G.; Markham, B. 2003. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, 11, 2674-2677.
- Charney, J.; Stone, P.H.; Quirk, W.J. 1975. Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. Science, 187, 434-435.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. State of the World's Forests, Rome. 320p.
- Charney, J.G., Quirk, W.G.; Chow, S.H.; Kornfield, J. 1977. A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. Journal of Atmospheric Science, 34, 1366-1385.
- Chen, X.; Zhao, H.; Li, P.; Yin, Z. 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. Remote Sensing of Environment, 104, 133-146.
- CPRM. 2004. Base de Dados Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó – PE. Programa Hidrogeologia do Brasil, 1.1.
- Fensholt, R.; Sandholt, I. 2003. Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. Remote Sensing of Environment, 87, 111-121.
- Galvão, L.S.; Formaggio, A.R.; Tisot, D.A. 2005. Discrimination of sugarcane varieties in southeastern Brasil with EO-1 Hyperion Data. Remote sensing of Environment, 94, 523-534.
- Gao, B.C. 1996. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote sensing of Environment, 58, 257-266.
- Giongo, P.R. 2008. Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Tecnologia Rural. 92p.
- Goetz, A.F.H., Gao, B.C.; Wessman, C. 1992. Vegetation biochemistry: what can imaging spectrometry tell us about canopies? Proceedings of the 6th Australasian Remote Sensing Conference, 3, 150-160.
- Gomes, H.B. 2009. Balanços de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais. Tese (Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande).
- Gurgel, H.C.; Ferreira, N.J. 2003. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. International Journal of Remote Sensing, 24, 18, 3595-3609.
- Hansen, M.C.; Roy, D.P.; Lindquist, E.; Adusei, B.; Justice, C.O.; Altstatt, A. 2008. A method for integrating MODIS and landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. Remote Sensing of Environment, 112, 2495-2513.
- Hardisky, M.A.; Klemas, V.; Smart, M. 1983. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 49, 77-83.
- Holanda, A.S.S.; Guerra, C.E. 2010. Monitoramento da vegetação da região do eixo-forte no município de Santarem-PA utilizando imagens dos índices de vegetação NDVI e NDWI. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. pp. 1-5.
- Huete, A.R. 1988. Adjusting vegetation indices for soil influences. International Agrophysics, v.4, n.4, p.367-376.
- Jacob, F.; Oliosio, 2005. A. Derivation of diurnal courses of albedo and reflected solar irradiance from airborne POLDER data acquired near solar noon. Journal of Geophysical Research, 110, D10104.
- Laporte, N.; Heinicke, M.; Justice, C.O.; Goetz, S. 1998. A new land cover map of Central Africa derived from multiresolution, multi-temporal satellite data, International Journal of Remote Sensing, 19, 3537-3550.
- Leitão, M.M.V.B.R. 1989. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada. Dissertação Mestrado, Campina Grande: DCA/CCT/UFPB. 111p.
- Leitão, M.M.V.B.R. 1994. Balanço de Radiação em três ecossistemas da Floresta Amazônica: campina, campinarana e mata densa. Tese (Mestrado em Meteorologia) - São Jose dos Campos, SP. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 135p.
- Leitão, M.M.V.B.R.; Oliveira, G.M. 2000. Influência da irrigação sobre o albedo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 4, 2, 214-218.
- Markham, B.L.; Barker, L.L. 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. International Journal of Remote Sensing, 8, 3, 517-523.
- Miranda, E.E. de. (Coord.). 2005. Brasil em Relevo. Dados SRTM. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>.

- Monteith, J.L. 1973. Principles of environmental physics. London: Edward Arnold. 291p.
- Montenegro, A.A.A. 2009. Programa de Capacitação de Técnicos em Hidrometria para Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e Perímetros Irrigados. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Disponível em <http://www.pgea.ufrpe.br/cursohidrometria/apresentacao.html>;
- NASA. Science Data Users Handbook – Landsat 7 ETM+. Chapter 11 - Data Products. Disponível em: <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbookokhandbook.html/chapter11/chapter11.html>. Acessado em 01 de fevereiro de 2009.
- Oliveira, T.H.; Galvêncio, J.D. 2008. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Moxotó – PE usando sensoriamento remoto termal. Revista Brasileira de Geografia Física, 1, 2, 30-49.
- Oliveira, T.H. 2009. Balanço de radiação da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE através de imagens TM Landsat-5 e ETM+ Landsat 7. Monografia de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia). Departamento de Ciências Geográficas – UFPE.
- Oliveira, T.H.; Silva, J.S.; Machado, C.C.C.; Galvêncio, J.D.; Nóbrega, R.S.; Pimentel, R.M.M. 2010. Detecção espaço-temporal de estresse hídrico na vegetação do semi-árido no nordeste do Brasil utilizando NDVI e NDWI – Estudo de caso Serra da Capivara e Serra do Congo – PI. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física - II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra.
- Oke, T.R. 1987. Boundary layer climates. 2nd edition. Methuen, New York and London, 435p.
- Peñuelas, J.; Filella, I.; Biel, C.; Serrano, L.; Save, R. 1993. The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. International Journal of Remote Sensing, 14, 1887-1905.
- Peñuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J.; Field, C.B. 1994. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. Remote Sens. Environ., 48, 35-146.
- Ponce, V.M. 2009. Impacto hidrológico e ambiental da hidrovia no Pantanal Matogrossense. Disponível em: <http://ponce.sdsu.edu/hidroviareportportuguesechapter4.html>.
- Robinson, C.J.; Chavez, P.S.; Gehring, D.; Holmgren, R. 1981. Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo difference Images. Remote Sensing of Environment. 11, 133-156.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1. Remote Sensing Cent., Texas A&M Univ., College Station.
- Silva, B.B. Da; Lopes, G.M.; Azevedo, P.V. de. 2005a. Determinação do albedo de áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 13, 2, 201-211.
- Silva, B.B. da; Lopes, G.M.; Azevedo, P.V. de. 2005b. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. Revista Brasileira de Meteorologia, 20, 2, 243-252.
- Silva, B.B. da; Bezerra, M.V.C.; Braga, A.C.; Silva, S.T.A. da. 2006. Obtenção do albedo de áreas irrigadas e de vegetação nativa em Petrolina e vizinhanças com imagem Landsat 7 – ETM+. Anais... Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju - SE.
- Silva, H.A. 2009. Análise da cobertura vegetal utilizando índices de vegetação e técnicas de detecção de mudanças na Reserva Biológica de Serra Talhada PE/AL, utilização de técnicas de sensoriamento remoto. Monografia de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia). Departamento de Ciências Geográficas – UFPE.
- Sud, Y.C.; Molod, A. 1988. A GCM simulation study of the influence of Saharan evapotranspiration and surface-albedo anomalies on July circulation and rainfall. Mon. Wea. Rev., 116, 11, 2388-2408.
- Shuttleworth, W.J.; Wallace, J.S. 1985. Evaporation from sparse crops: an energy combination theory. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 111, 469, 839.
- Valeriano, M.M. 2008. TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE. 42 p. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia_enx.pdf. Acesso em: 20 de mar. 2008.
- Verstraete, M.M.; Pinty, B.; Myneni, R. 1994. Understanding the biosphere from space: strategies to exploit remote sensing data. Proc. 6th Int. Symposium. Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, pp.17-21.
- Zarco-Tejada, P.J.; Rueda C.A. Ustin, S.L. 2003. Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. Remote Sensing of Environment, 85, 109-124.