

Avaliação dos parâmetros biofísicos da vegetação de caatinga e agricultura irrigada do município de Petrolina – PE através do NDVI, NDWI e Temperatura da Superfície

Henrique dos Santos Ferreira¹
Hewerton Alves da Silva¹
Tiago Henrique de Oliveira¹
Raul Xavier de Macedo Neto¹
Josiclêda Domiciano Galvêncio¹
Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel²

¹ Dept. Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária - CEP: 50670-901 - Recife – PE, Brasil
henriquehsf86@hotmail.com, hewas.ufpe@gmail.com, thdoliveira5@gmail.com,
xaviertucano@hotmail.com, josiclea@hotmail.com

² Dept. de Biologia/Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Rua Dom Manoel de Medeiros, Dois Irmãos – 52171-900 – Recife – PE, Brasil
pimentel@db.ufrpe.br

Abstract. The remote sensing techniques have proven important tools to study the environment, contributing to the monitoring and mapping of natural resources with speed and accuracy in different parts of the planet. In this scenario, vegetation indices have played an important role in forestry studies and control of agricultural production. This study aims to evaluate the biophysical condition of savanna vegetation and area of irrigated agriculture in the city of Petrolina, through application of the Vegetation Index, NDVI, NDWI and surface temperature. Images from the sensor Thematic mapper (TM) aboard the satellite orbit Landsat5, and 217/66 and 67 points with date of passage on 27/11/2009. Geometric correction was performed taking as basis the images recorded and made available by SISCOM / IBAMA, where the later image of 2009 was calculated from spectral radiance reflectance for subsequent generation of vegetation indices, NDVI, SAVI, NDWI and LAI, beyond the emissivity and surface temperature. The use of these parameters was satisfactory, and permitted a good discrimination among areas of irrigated agriculture, bare soil and vegetation. Temperatures on the exposed soil and vegetated areas showed significant changes, showing that the use of indexes is a good parameter for biophysical analysis of natural vegetation and irrigated agriculture.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, Parâmetros biofísicos, Índices de Vegetação, remote sensing, biophysical parameters, vegetation index.

1. Introdução

As características biofísicas da vegetação, em determinadas áreas, são resultantes das complexas inter-relações dos elementos ambientais, relevo, clima, solo, entre outros. De acordo com Jensen (2009), o conhecimento das propriedades da vegetação, tais como: diversidade das espécies, padrões de distribuição das comunidades vegetais, alterações dos ciclos fenológicos, modificações na fisiologia e morfologia da planta permitem extrair informações acerca das características climáticas, edáficas, geológicas e fisiográficas de uma área.

Com a aplicação dos Índices de Vegetação, produtos derivados do sensoriamento remoto que, de acordo com Jensen (2009), se configuram como medidas radiométricas adimensionais e indicam a abundância relativa e o comportamento da vegetação, pesquisadores vêm extraindo e modelando parâmetros biofísicos da cobertura vegetal. Recentemente, Lopes et al. (2009) realizaram a aplicação desses parâmetros na avaliação dos processos de degradação e identificação das áreas de risco à desertificação na bacia hidrográfica do rio Brigida, inserida no semiárido pernambucano.

Dentre os Índices de Vegetação utilizados no monitoramento do ambiente, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974), o Índice de Vegetação

Ajustado ao Efeito do Solo (IVAS), proposto por Huete (1988), e, mais recentemente, o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), apresentado por Gao (1996), têm sido aplicados para estimar variáveis biofísicas da vegetação a partir de imagens orbitais. Recentemente, Barbosa, 1999; Holanda e Guerra, 2010; Oliveira et al., 2010 realizaram estudos em regiões semiáridas através da aplicação dos Índices de Vegetação (IVs) e correlação com diferentes indicativos biofísicos.

O fator de maior influência no comportamento da vegetação, principalmente em regiões semiáridas, é representado pela precipitação, uma vez que esta exerce importante papel na distribuição das espécies, produção de biomassa, configuração do relevo e condições edáficas, (Sampaio, 2003). Penuelas et al. (1993) e Galvão et al. (2005) destacam a importância das informações sobre o conteúdo de umidade no interior da vegetação para a agricultura, podendo ser usadas para inferir o grau de estresse hídrico, contribuindo para a tomada de decisões quanto a irrigação e previsão de safra.

Estudos mais recentes têm evidenciado as vantagens de combinar IVs com dados de temperatura da superfície (Ts), especialmente o NDVI (Lambin & Ehrlich, 1997; Boegh et al., 1999, Oliveira e Galvêncio, 2008).

O presente trabalho objetiva utilizar os Índices de Vegetação NDVI, NDWI e Temperatura da Superfície para avaliar a condição biofísica da vegetação de caatinga e das áreas de agricultura irrigada do município de Petrolina-PE. A aplicação de tais parâmetros biofísicos tem contribuído para o monitoramento das áreas florestais e controle da produção agrícola.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Petrolina (Figura 1), localizado no nordeste do Brasil, inserido em região do semiárido pernambucano. A sede do município localiza-se nas coordenadas geográficas de 09°23'35" S e 40°30'27" W. A cidade ocupa uma área de, aproximadamente, 4756,0 Km² cerca de, 4,81% da área total do estado de Pernambuco.

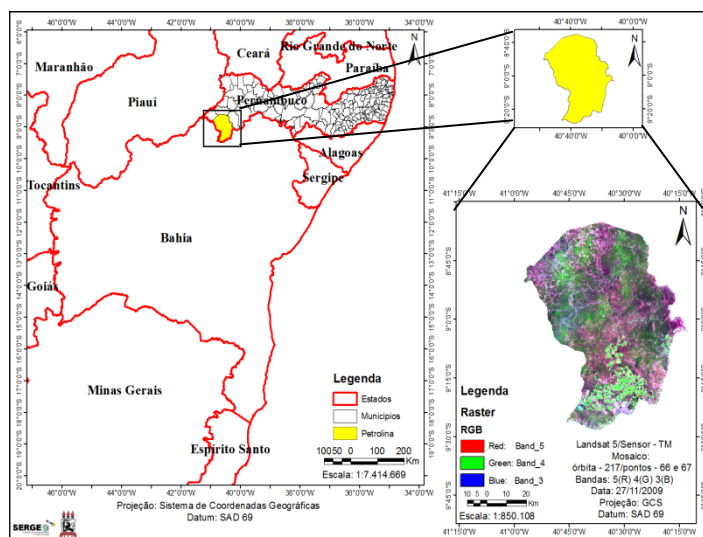


Figura 1. Localização do município de Petrolina – PE.

O município de Petrolina está inserido na depressão sertaneja, unidade geoambiental marcada por um relevo suave-ondulado, paisagem típica do semiárido pernambucano. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BswH – semiárido (quente e seco), o qual possui duas estações bem diferenciadas: estação seca, a qual tem sua ocorrência

entre os meses de maio e outubro e a estação chuvosa, ocorrendo entre os meses de novembro e abril, apresentando precipitação média de 431,8 mm/ano; a área é caracterizada por baixos índices pluviométricos e má distribuição das chuvas durante o período. A vegetação predominante na área é do tipo caatinga arbustiva arbórea, hiperxerófila, com trechos de floresta caducifólia.

2.2 Processamento das Imagens

Foram utilizadas duas imagens do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat 5 de órbita e pontos 217/66 e 67, datada de 27/11/2010, no início do período chuvoso na região. As imagens são compostas por sete bandas, com resolução espacial de 30 metros nas bandas 1,2,3,4,5 e 7, a banda do termal (6), com resolução espacial de 120m, de acordo com Markham e Baker (1987), representa a radiação emitida por cada pixel, sendo empregada no cálculo de temperatura da superfície. As cenas foram adquiridas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) onde passou por processo de correção geométrica e ortorretificação, tomando por base a imagem registrada adquirida no site do SISCOM/IBAMA.

2.2.1 Calibração radiométrica

A calibração radiométrica (Equação 1) consiste na conversão do número digital (ND) de cada pixel e banda em radiação espectral monocromática, essas radiâncias representam a radiação solar refletida por cada pixel da imagem, permitindo obter o saldo de radiação à superfície (R_n), primeira componente do Balanço de Energia a ser obtida. A radiância de cada pixel e banda foi obtida pela equação 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 ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) 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.

2.2.2 Reflectância

A reflectância (Equação 2) de cada banda (L_{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 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).

2.2.3 Aplicação do NDVI

Jensen (2009) afirma que o NDVI é importante porque, a partir de sua aplicação, podem ser observadas as variações sazonais e interanuais da vegetação, contribuindo para o seu monitoramento, além de reduzir os ruídos multiplicativos (diferenças de iluminação solar, sombras de nuvens, algumas atenuações atmosféricas e algumas variações topográficas).

Jensen (2009 citando Huete *et al.*, 2002 e Wang *et al.*, 2005) afirma que as desvantagens do NDVI é a não linearidade, por ser um índice de razão, motivo pelo qual pode apresentar uma maior influência dos efeitos ruidosos aditivos, tais como radiância de trajetória

atmosférica. Para gerar o NDVI (Equação 3) foi utilizado o método proposto por Rouse et al. (1973).

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (3)$$

onde ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM, a banda 4 (infravermelho próximo) apresenta medidas de comprimentos de onda na ordem de: 0,76 – 0,79 μm e a banda 3 (vermelho) possui comprimentos de onda de: 0,63 – 0,69 μm .

O NDVI apresenta uma variação entre -1 a +1. Em superfícies com vegetação verde, os valores variam entre 0 e 1, já para a água e nuvens os valores geralmente são menores que zero.

2.2.4 Aplicação do NDWI

Oliveira et al. (2010), citando Ceccato et al. (2002a,b) afirmam que o NDWI é de fundamental importância na compreensão dos processos de queima de biomassa, onde os valores negativos representam áreas com vegetação seca e os valores positivos apresentam vegetação verde.

Este índice é importante nos estudos referentes ao vigor da vegetação, mudanças na biomassa e estresse hídrico das plantas (Cardoso et al., 2009; Jensen, 2009). O NDWI é obtido pela relação entre duas bandas no espectro infravermelho, equivalentes às bandas 4 e 5 do satélite Landsat 5, correspondentes às bandas do infravermelho próximo com comprimentos de onda entre 0,76 – 0,79 μm , e infravermelho médio com medida entre 1,55 – 1,75 μm . Para o cálculo do NDWI utilizou-se o método proposto por Gao (1996), obtido através da Equação 4 descrita a seguir:

$$NDWI = \frac{P_{iv} - P_{mir}}{P_{iv} + P_{mir}} \quad (4)$$

2.2.5 SAVI

Para o cálculo do SAVI (Equação 5), o qual é um índice que visa amenizar os efeitos do “background” do solo, é utilizada a expressão proposta por Huete (1988).

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

onde L é uma constante que depende do tipo de solo e o valor mais utilizado é 0,5.

2.2.6 IAF

O Índice de Área Foliar (IAF) foi obtido a partir da Equação 6 e é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação pela unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador de biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo é computado pela seguinte expressão empírica obtida por Allen et al. (2002):

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

2.2.7 Emissividade

Para a obtenção da temperatura da superfície (Equações 7 e 8) é utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ϵ_{NB} , qual seja: 10,4 – 12,5 μm . Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga ϵ_0 (5 – 100 μm). Segundo Allen et al. (2002), as emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas para $NDVI > 0$ e $IAF < 3$, segundo:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331IAF \quad (7)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,011IAF \quad (8)$$

nos pixels da área de estudo correspondentes a corpos de água ($SAVI < 0$ e, portanto, $IAF = 0$) $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$ (Allen et al., 2002). Para pixels com $IAF \geq 3$, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$. Para corpos de água ($NDVI < 0$), no caso do lago de Sobradinho e do leito do Rio São Francisco, Silva & Cândido (2004) utilizaram os valores de $\varepsilon_{NB} = 0,99$ e $\varepsilon_0 = 0,985$, conforme Allen et al. (2002).

2.2.8 Temperatura da superfície

Para a obtenção da temperatura da superfície (Equação 9) (T_s) são utilizadas a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade ε_{NB} obtida na etapa anterior, como apresentado pela seguinte equação:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (9)$$

onde $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,56 \text{ K}$ representam as constantes de calibração da banda termal do Landsat 5 –TM (Allen et al., 2002; Silva et al., 2005).

3. Resultados e Discussão

O recorte da imagem do município de Petrolina (Figura 1) apresentou uma boa distinção entre os alvos, facilitando a análise visual para a identificação dos objetos através da combinação RGB 543. Deste modo, é possível diferenciar as áreas de solo exposto em tonalidade mais avermelhada, vegetação nativa e áreas de agricultura (irrigada e sequeiro) em verde, e corpos hídricos em azul escuro.

Através da Figura 2 é possível observar os Índices de vegetação (NDWI e NDVI) e a temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$), onde as áreas de agricultura irrigada, na parte mais ao sul do município, se apresentam bem mais destacadas no índice de umidade (NDWI) em relação a outros alvos, como vegetação nativa e solo exposto. Estas áreas apresentaram valores de NDWI mais elevados ($> 0,11$), onde grande parte das propriedades rurais apresentou valores superiores a 0,29. Estes resultados corroboram aqueles encontrados por Oliveira et al. (2010) para pesquisa realizada na bacia hidrográfica do rio Moxotó, quando encontraram valores de umidade superiores a 0,30 em todas as imagens utilizadas.

Quanto ao NDVI, estas áreas apresentaram valores superiores a 0,381, porém com relação à discriminação de outros alvos, como vegetação nativa, apresentou uma maior confusão. Com relação à temperatura da superfície, estas áreas apresentaram valores variando entre 22 e 28 $^{\circ}\text{C}$. Choudhury (1992) afirma que as características da vegetação natural da caatinga contrastam com as das culturas implantadas que apresentam alta atividade vegetativa (atividade fotossintética) e a dominância de poucas espécies.

A área de agricultura de sequeiro, mais ao norte da imagem, apresentou menor contraste com a vegetação nativa, apresentando valores de NDWI inferiores a 0,11. Parte destas áreas apresentou valores inferiores a 0, o que segundo Gao (1996), representam áreas com vegetação seca, enquanto valores positivos representam vegetação verde. O NDVI conseguiu mostrar uma maior discriminação deste alvo com relação às áreas de vegetação nativa, visto que em certos períodos a vegetação nativa apresenta valores de NDWI inferiores a 0. As áreas com agricultura de sequeiro apresentaram valores de NDVI variando entre 0 e 0,300 e de temperatura da superfície superiores a 32 $^{\circ}\text{C}$, em função da existência de algumas áreas de solo exposto em consequência da disposição da cultura no campo.

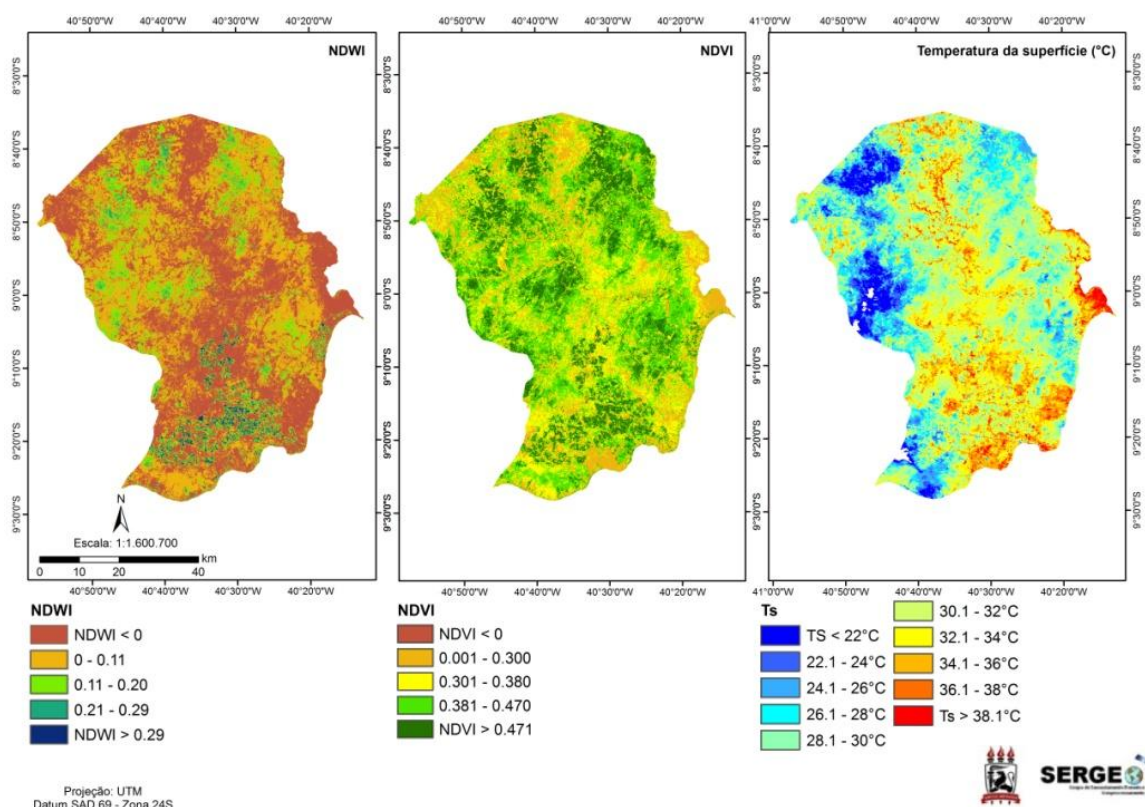


Figura 2. Índices de vegetação (NDWI e NDVI) e Temperatura da superfície (°C) do município de Petrolina – PE para a data de 27 de novembro de 2009.

O índice de umidade relaciona a quantidade de água por unidade de área na vegetação (Gao, 1996). Deste modo, as áreas de vegetação nativa apresentaram valores de NDWI que variavam entre 0 e 0,29 para a vegetação verde e, em alguns casos, onde a vegetação se apresentava seca, mostrou valores inferiores a 0. Holanda & Guerra (2010 citados por Oliveira et al., 2010), em pesquisa realizada na região do Eixo-Forte no município de Santarém - PA, constataram que as zonas florestadas 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 oscilaram entre 0,2 e -0,4 (negativos). Para as áreas com pouca ou quase nenhuma cobertura vegetal, o índice de umidade foi aproximado de -1.

Com relação ao NDVI, as áreas de vegetação nativa apresentaram valores variando entre 0,301 e 0,380 para as áreas com vegetação seca e superiores a 0,381 para vegetação verde. No caso de áreas com vegetação nativa, os valores de índices de vegetação podem mostrar grandes alterações quando realizada a comparação no período interanual e intra-anual. Na região semi-árida brasileira, essas variações anuais são muito mais marcantes, uma vez que a disponibilidade hídrica é um dos principais condicionantes.

Tendo em vista a ocorrência deste fato, algumas espécies do bioma caatinga perdem suas folhas, diminuindo, deste modo, a área da superfície que permitiria a perda de água sob a forma de vapor através dos estômatos, evitando uma elevada taxa de evapotranspiração, especialmente nos longos períodos de estiagem. Asner et al. (2000) afirmam que a ausência de material foliar verde em grande número de espécies diminui a influência da componente foliar na resposta espectral. Com relação à vegetação nativa, a variação de temperatura se mostrou entre 22 e 32°C para áreas com vegetação verde e superiores a 32°C para as áreas com vegetação mais seca.

As áreas de solo exposto apresentaram valores de NDWI inferiores a 0 e NDVI variando entre 0 e 0,380. As temperaturas apresentaram-se superiores a 32°C. Oliveira et al. (2009) encontraram valores de temperatura da superfície superiores a 29,1°C para as áreas mapeadas pela CPRM (2004) como áreas com atividades antrópicas e solo exposto. Silva et al. (2005ab) conseguiram estimar a temperatura da superfície em áreas com diferentes tipos de uso e ocupação do solo. As áreas que apresentaram as maiores temperaturas foram áreas de solo exposto, onde a temperatura variou entre 37,5 e 39,9°C. O lago de Sobradinho e o rio São Francisco apresentaram as menores temperaturas, com cerca de 21°C em áreas do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho nos municípios de Petrolina – PE e Juazeiro – BA.

Cardozo et al. (2009 citados por Oliveira et al., 2010), em estudo realizado na região do Pantanal - área correspondente à 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 os valores mais altos estavam associados às áreas com grande predominância de água, corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa.

4. Conclusões

Através da aplicação dos Índices de Vegetação (NDVI e NDWI) e da Temperatura da Superfície foi possível avaliar a condição biofísica da vegetação de caatinga e das áreas de agricultura irrigada do município de Petrolina, apresentando boa discriminação dos alvos.

As áreas de agricultura irrigada apresentaram os maiores valores de NDWI e NDVI, porém, o índice de umidade permitiu a visualização de uma maior discriminação da agricultura irrigada com relação à vegetação nativa.

A vegetação nativa apresentou temperaturas da superfície superiores a 28°C, enquanto as áreas de agricultura irrigada apresentaram temperaturas superiores a 28°C.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de Mestrado cedida ao terceiro autor, ao CNPq pela bolsa de Mestrado cedida ao segundo autor. Ao INPE, por ceder as imagens de satélite através do Catálogo de Imagens de Satélite. Ao CNPq, pelo financiamento da Rede SerCaatinga, Processo nº558074/2009-0 e ao SERGEO - UFPE.

Referências Bibliográficas

- 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**, v.74, n.1, p.69-84.
- Barbosa, H.A. Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-8.
- Becker, F.Z.-L.Li. Towards a Local Split-Window Method Over Land Surfaces. **Int. J. Remote Sensing**, 11, N3, 369-393, 1990.
- Boegh, E.; Soegaard, H.; Hanan, N.; Kabat, P.; Lesch, L. A remote sensing study of the NDVI-T_s relationship and the transpiration from sparse vegetation in the Sahel based on high resolution satellite data. **Remote Sensing of Environment**, 69: p.224-240, 1999.
- 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, p.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**. v.82, p.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**, v.82, p.198-207.

Choudhury, B.J. 1992. Multispectral satellite observations for arid land studies. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.47, p.101-126.

CPRM. Base de Dados Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó – PE. **Programa Hidrogeologia do Brasil**, v. 1.1, 2004.

Gao, B.C. 1996. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote sensing of Environment**, v.58, p.257-266.

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**, v.94, p.523-534.

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. **Anais... III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. P.1-5.

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

Jensen, J.R. 2009. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 604 p.

Kerr, H. Y.; Lagourade, J. P.; Imbernom, J. 1992. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm. **Remote Sensing of Environment**, 40, 1-20.

Markham, B.L.; Barker, L.L. 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523.

Lopes, H.L.; Candeias, A.L.B; Acciolly, L.J.O; Sobral, M.C. 2009. Modelagem de parâmetros biofísicos para desenvolvimento de algoritmo para avaliação e espacialização de risco a desertificação. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n 4.

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**, v.1, n.2, p.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., Machado, C. C. C., Silva, J. S., Galvêncio, J. D., Pimentel, R. M. M., Silva. B. B. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. , v.03, p.55 - 69, 2010.

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**, v.14, p.1887-1905.

Prata, A. J. 1994. Land surface determination from satellites. **Advances in Space Research**, v. 14, n. 3, p. 315-326.

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.

Sampaio, E.V.S.B. 2003. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. p. 129-142. In: V.C. Sales (ed.). **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora.

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**, v.13, n.2, p.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**, v.20, n.2, p.243-252.