

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO NDVI E DA TS EM ÁREA DE COBERTURA VEGETAL DE CAATINGA EM SERRA NEGRA DO NORTE (RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL)

Hélio Nogueira Bezerra¹; Joel Medeiros Bezerra²; Arthur Mattos³; Alex Pinheiro Feitosa¹; José Neuciano Pinheiro de Oliveira⁴

RESUMO – O estudo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e da temperatura de superfície (Ts) em ambiente semiárido é importante devido à elevada variação da cobertura vegetal de Caatinga. O presente estudo teve como objetivo analisar o comportamento destes parâmetros biofísicos (NDVI e Ts) relacionando-os com eventos sazonais de precipitação e temperatura do solo, medidos por estação meteorológica, além de avaliar tais parâmetros em escala espaço-temporal, utilizando produtos do sensoriamento remoto, que vem sendo largamente aplicados em pesquisas de monitoramento e gestão de recursos naturais. Os resultados demonstraram um comportamento diferenciado em áreas de maior altitude e no entorno de corpo hídrico, devido, respectivamente, à umidade das correntes aéreas e do solo, proporcionando o desenvolvimento da vegetação. Essas áreas apresentaram os maiores valores de NDVI e os menores de Ts, apresentando relação inversamente proporcional entre si, e direta com a sazonalidade dos eventos de precipitação e a temperatura do solo.

ABSTRACT– The study of normalized difference vegetation index (NDVI) and surface temperature (Ts) in semi-arid environment is important due to the high variation of Caatinga vegetation coating. The present study analyzed the behavior of these biophysical parameters (NDVI e Ts) relating them to rainfall seasonal events and soil temperature, measuring for meteorological station, in addition to evaluate these parameters in spatial and temporal scale, using remote sensing products, which has been widely applied in monitoring and management research of natural resources. The results showed a different behavior in higher altitude and around the water body areas, due, respectively, the humidity of the air currents and soil, allowing the vegetation development. These areas had the highest NDVI values and the lowest Ts values, presenting inverse relationship to each other, and directly related to the seasonality of precipitation events and soil temperature.

Palavras-Chave – Parâmetros biofísicos. Semiárido.

1) Mestrando em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, Natal, RN, CEP 59072-970. Fone: (84) 8888-4026, (84) 8899-9537; E-mail: helionogueirab@gmail.com, alexm44@hotmail.com.

2) Mestrando em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural do Pernambuco – UFRPE. Av. Dom Manoel, Bairro Dois Irmãos, Recife, PE, CEP 52171-900. Fone: (81) 9767-5643. E-mail: joel_medeiros@oi.com.br.

3) Doutor em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, Natal, RN, CEP 59072-970. Fone: (84) 9988-5547. E-mail: armattos@ct.ufrn.br.

4) Mestre em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, Natal, RN, CEP 59072-970. Fone: (84) 96663973. E-mail: neuciano@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o sensoriamento remoto tem assumido grande importância no monitoramento de diversos fenômenos meteorológicos e ambientais, oferecendo grande suporte as previsões de tempo e melhor entendimento das mudanças climáticas, além de auxiliar no planejamento agroecológico. Como consequência, tem-se formado uma ferramenta poderosa para a obtenção de informações necessárias ao manejo, gerenciamento e gestão de recursos naturais, como água, solo e vegetação e diversos parâmetros biofísicos (BATISTA e ALMEIDA, 1998).

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a temperatura da superfície (Ts) constituem-se em parâmetros biofísicos notadamente influenciados por variações no clima, e cujas estimativas são de grande utilidade na gestão dos recursos hídricos e monitoramento ambiental.

O NDVI tem uma relação direta com o vigor da vegetação, sendo assim, é possível o mapeamento de áreas com diferentes índices de cobertura vegetal e de biomassa (SILVA, 2009). Este índice tem sido utilizado em várias aplicações operacionais, incluindo mapeamentos, classificação do uso da terra, detecção de mudanças e monitoramento ambiental, e estudos de evapotranspiração, que também incluem o conhecimento da Ts, elemento que se relaciona com fenômenos ligados à vegetação e suas condições (CIHLAR *et al.*, 1997).

Em área de cobertura vegetal de Caatinga, englobada por um clima semiárido, este estudo é indispensável, tendo em vista condições hídricas desfavoráveis, que combinam alta evapotranspiração, solo desfavorável ao plantio e irregularidade de chuvas, tanto em escala regional, como temporal.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo é analisar o comportamento do NDVI e da Ts, em área de cobertura vegetal de Caatinga, relacionando estes com eventos sazonais de precipitação e temperatura média diária do solo medida por estação meteorológica, além de avaliar tais parâmetros em escala espaço-temporal, utilizando produtos de sensoriamento remoto.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a Estação Ecológica (ESEC) do Seridó, localizada no município de Serra Negra do Norte (SNN), Rio Grande do Norte (RN), ver Figura 1. A ESEC do Seridó abrange uma área de 1.166 Ha de unidade de conservação com atributos naturais representativos do bioma Caatinga, marcada pela riqueza de ambientes, que vão desde savanas abertas a florestas decíduas, passando por lagoas e ambientes rupestres (BRASIL, 2004).

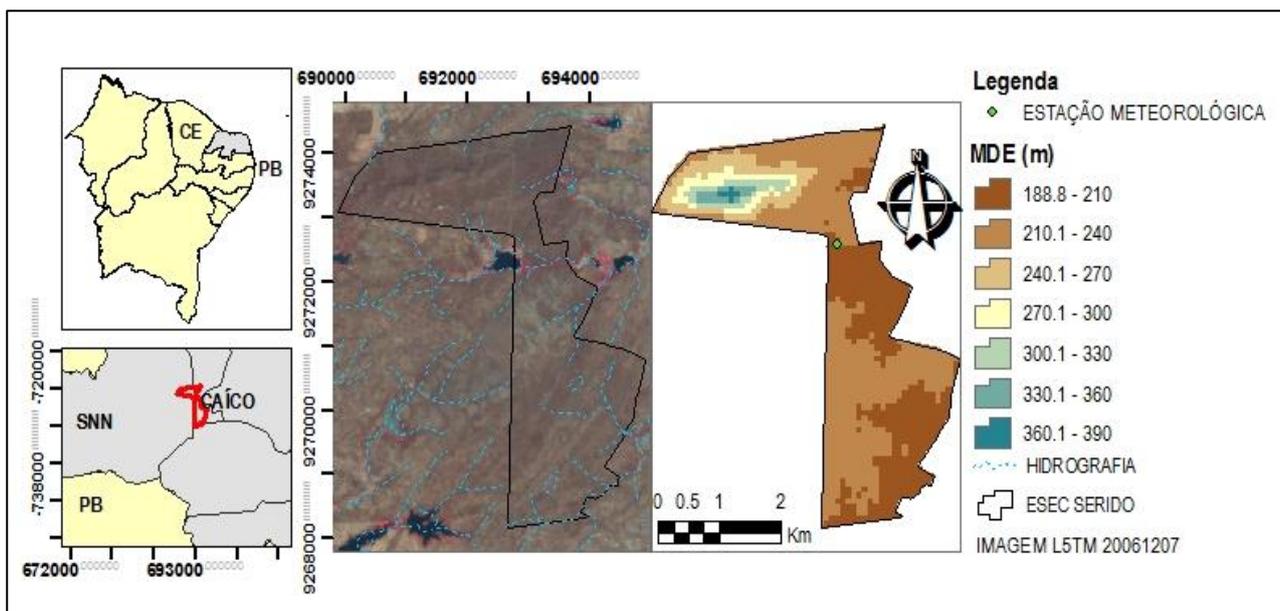


Figura 1 – Mapa de localização da ESEC do Seridó, SNN, RN.

A região da ESEC do Seridó é caracterizada pelo clima semiárido do tipo $BsW'h'$, segundo a classificação de Köppen, com elevadas temperaturas, radiação solar e evapotranspiração (BRASIL, 2004).

A ESEC do Seridó está inserida no contexto geológico da Formação Jucurutu, posicionada estratigraficamente no embasamento das rochas altamente metamorfizadas do Complexo Caicó, e é marcada pela ocorrência de luvisolos (BRASIL, 2004).

O estudo foi realizado no período de 1 de janeiro de 2006 a 31 de janeiro de 2007. A distribuição temporal da Precipitação, mostrada na Figura 2, foi observada a partir de dados coletados em estação meteorológica situada na área de estudo, onde também foram obtidos os dados de temperatura do ar e do solo a 10 cm de profundidade (Figura 3). Estes elementos do clima serviram para analisar o comportamento do NDVI e da T_s , e obter a relação destes.

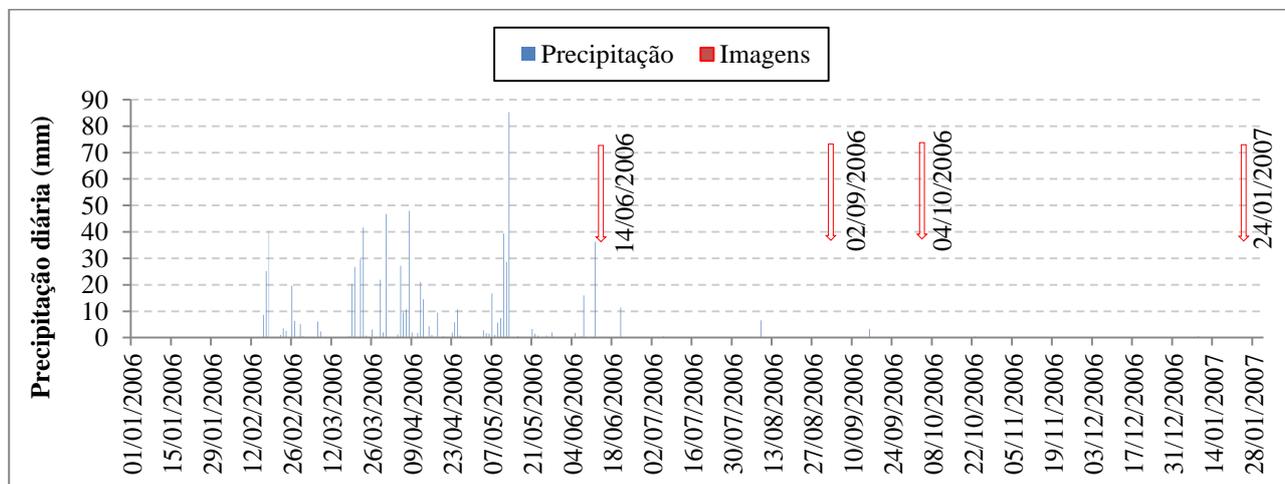


Figura 2: Distribuição da precipitação diária da estação meteorológica da ESEC do Seridó.

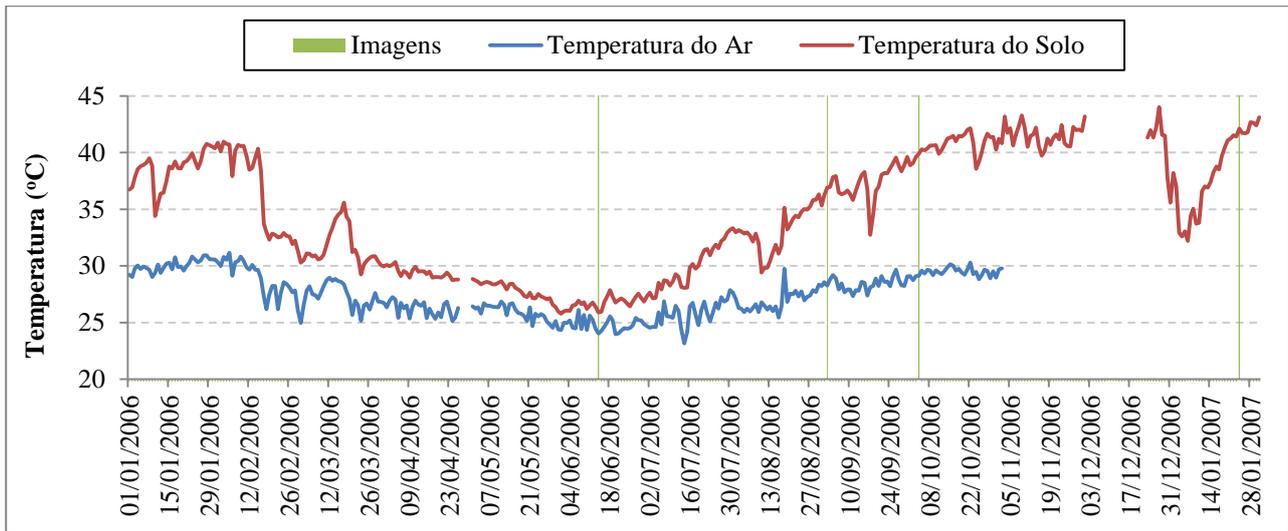


Figura 3: Comportamento da temperatura do ar e da temperatura do solo a 10 cm de profundidade.

O cálculo do NDVI e da Ts foi feito para quatro imagens do Mapeador Temático *Landsat 5*, datadas em: 14 de junho de 2006, 2 de setembro de 2006, 4 de outubro de 2006 e 24 de janeiro de 2007, adquiridas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Para o processamento das imagens foi utilizado o *software* ERDAS, que gerou os dados necessários para análise dos parâmetros biofísicos em forma de mapas, sendo utilizado sistema de informações geográficas (SIG), o *Arc Gis 9.3* para produção dos mapas temáticos.

As etapas das calibrações atmosféricas das imagens foram processadas com base no algoritmo SEBAL, sendo o processamento digital das imagens executadas com auxílio das ferramentas do *Model Maker* do *software* *Erdas* versão 9.1.

Primeiramente, as 7 bandas das imagens *Landsat 5-TM* foram empilhadas, registradas e em seguida, foi realizada a calibração radiométrica, executando o processo de conversão do número digital (*ND*), em radiância espectral monocromática $L_{\lambda i}$ para as bandas reflectivas do *Landsat 5-TM* (canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7) sendo utilizada a seguinte relação, proposta por Markham e Barker (1987):

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

Em que, *a* e *b* são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), determinados por Chander e Markham (2003). *ND* é o *número digital* do pixel (número inteiro de 0 a 255, no caso do *Landsat*) e *i* corresponde às bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, do *Landsat 5-TM*.

De posse das cartas temáticas de radiância espectral de cada banda, e de informações sobre o cosseno do ângulo zenital do Sol ($\cos Z$), dia sequencial do ano e do fluxo direcional espectral no topo da atmosfera ($K_{\lambda i}$) de cada banda, estimou-se a refletância planetária de cada banda.

A reflectância planetária de cada banda foi obtida através da seguinte equação (BASTIAANSSEN, 1995):

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

Em que, $\rho_{\lambda i}$ é a reflectância planetária da banda i , $K_{\lambda i}$ é o fluxo direcional solar espectral no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital do Sol, d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol em dado dia do ano, conforme Iqbal (1983).

Em seguida processou o NDVI, sendo este a razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_{iv}) e do vermelho (ρ_v), pela soma das mesmas, que correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do sensor TM – Landsat 5 (BASTIAANSSEN, 2000; ALLEN *et al.*, 2002).

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (3)$$

Para a obtenção da T_s foi utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, foi necessário introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal (ϵ_{NB}), qual seja: 10,4 – 12,5 μm . Segundo Allen *et al.* (2002), a ϵ_{NB} pode ser obtida para NDVI > 0 e Índice de Área Foliar (IAF) menor que três, segundo:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \cdot IAF \quad (4)$$

Para os pixels com IAF maior ou igual a três e para corpos de água, cujo NDVI é menor que zero, utilizaram-se os valores de $\epsilon_{NB} = 0,98$ e $\epsilon_{NB} = 0,99$, respectivamente.

Para a obtenção da T_s são utilizados a radiância espectral da banda termal ($L_{\lambda,6}$) e a emissividade ϵ_{NB} .

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} \cdot K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (5)$$

Adotaram-se os seguintes valores para as constantes de calibração da banda termal do *Landsat 5 – TM*: $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,56\text{K}$.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As discontinuidades no gráfico da Figura 3 foram ocasionadas por problemas apresentados na estação meteorológica da ESEC do Seridó no período observado, não comprometendo o desenvolvimento do estudo na área.

Os índices de vegetação ressaltam o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre. Na Figura 4, tem-se os mapas temáticos de NDVI onde observa-se a evolução deste em toda a área da ESEC, onde a Figura 4.A apresentou valores maiores, pois corresponde a resposta da cobertura vegetal durante o período chuvoso, enquanto que as Figuras 4.B, C e D apresentaram valores menores, devido ao comportamento da vegetação de Caatinga às condições adversas do ambiente durante o período de estiagem, onde estas perdem parte das folhas do dossel como mecanismo fisiológico e morfológico de defesa.

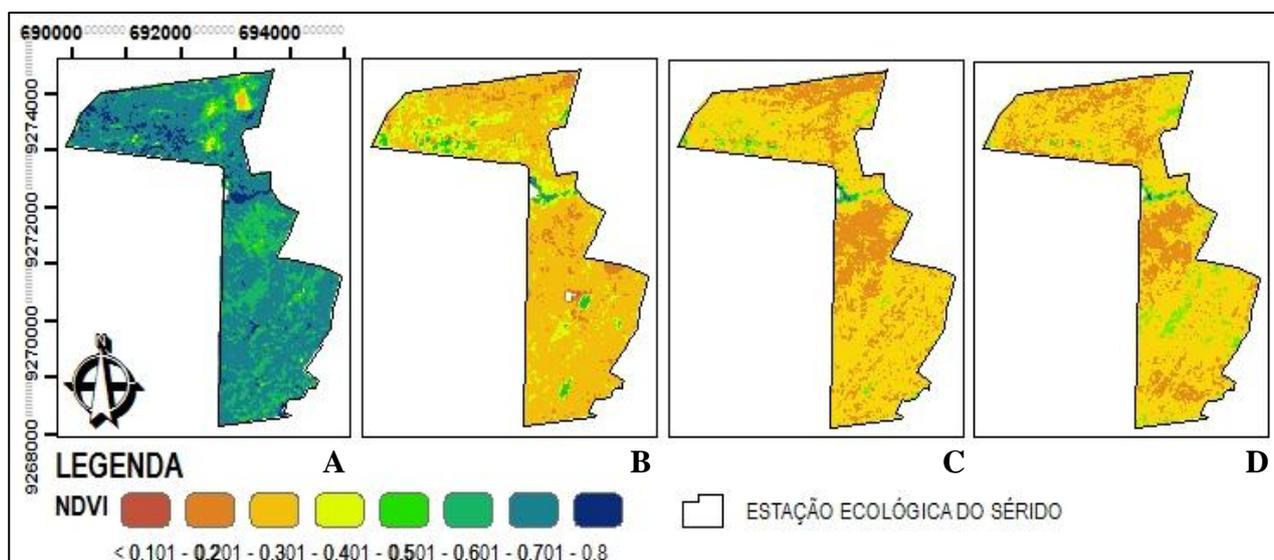


Figura 4 A, B, C e D – Representação espacial do NDVI na ESEC do Seridó para os dias: 14 jun. 2006, 2 set. 2006, 4 out. 2006 e 24 jan. 2007, respectivamente.

Observa-se nos mapas de distribuição espacial do NDVI (Figuras 4. A, B, C e D) valores maiores para as regiões de maior altitude e no entorno de corpo hídrico, sendo consequência da umidade das correntes de ar que atingem as áreas mais elevadas e da formação de mata ciliar, respectivamente.

A Figura 5 apresenta a distribuição da frequência relativa dos intervalos do índice de vegetação da diferença normalizada para os períodos das cenas de estudo obtidas do satélite *Landsat-5*, ratificando a grande tendência de redução do NDVI para áreas de cobertura vegetal de caatinga no decorrer do período de estiagem.

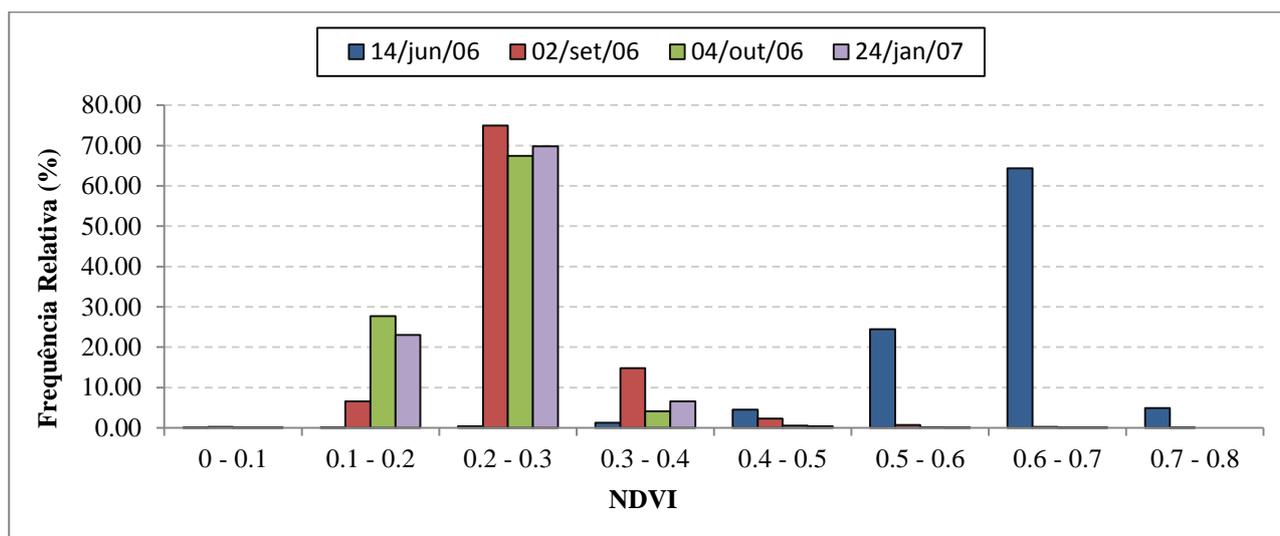


Figura 5 – Gráfico de frequência relativa do desenvolvimento do NDVI ao decorrer do período de estudo.

A cobertura vegetal associada aos eventos de precipitação pluvial foram os principais fatores de variação da Ts (Figura 5). Em junho de 2006, as temperaturas registradas no momento da passagem do satélite foram menores, em relação a todo período de estudo, a qual apresenta-se durante a fase de declínio do regime de precipitação (Figura 2), estando a relação água-solo-atmosfera em equilíbrio. Enquanto a imagem de janeiro de 2007 demonstrou os maiores valores de Ts, sendo marcada pelo evento de estiagem associada a elevada demanda hídrica da vegetação, conseqüente redução da transpiração e perda da parte aérea da planta, como mecanismo de defesa fisiológico.

Os valores de Ts instantâneos estão diretamente relacionados ao comportamento da temperatura média diária do solo, mostrando-se menores para o período chuvoso (Figura 6. A), devido à baixa incidência de radiação solar decorrente da alta nebulosidade, grande retenção de água em virtude da disponibilidade hídrica e elevado NDVI, conseqüência do desenvolvimento da vegetação de caatinga nesse período, sendo constatado a interferência de nuvens na imagem do período de junho de 2006, as quais são representadas pelos pixels na cor azul. Já nas Figuras 6. B, C e D os valores de Ts foram gradativamente aumentando com o decorrer da evolução do período de estiagem e retirada de água armazenada no solo.

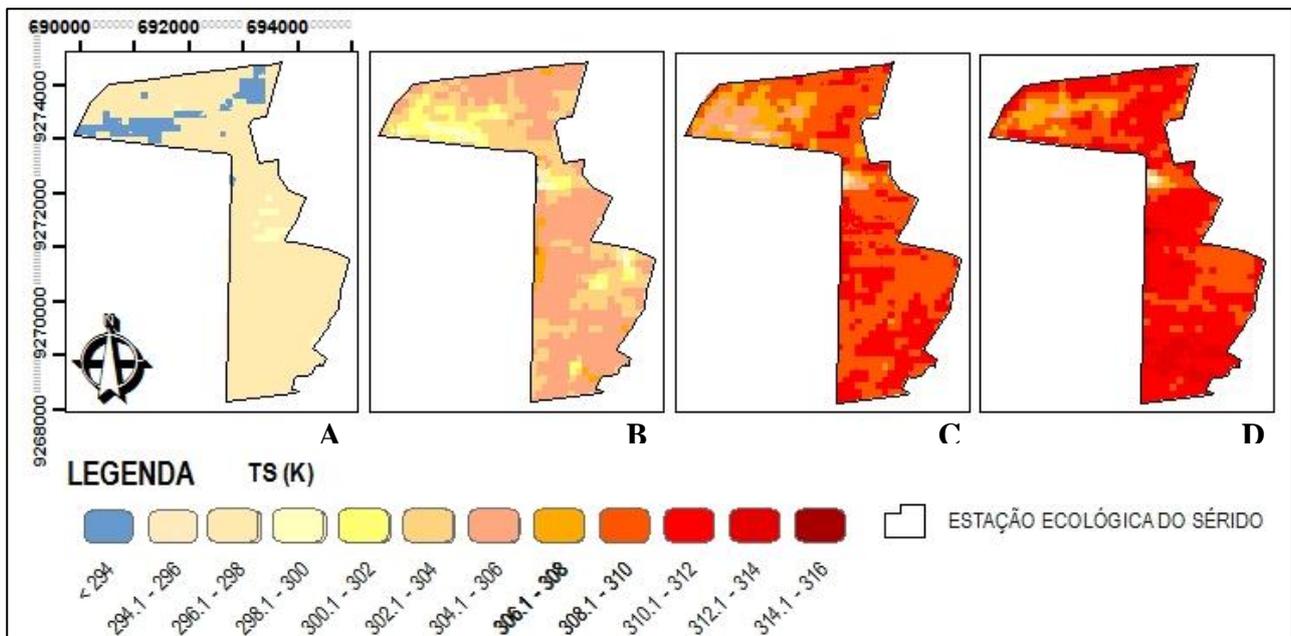


Figura 6 - A, B, C e D – Representação espacial da Ts na ESEC do Seridó para os dias: 14 jun. 2006, 2 set. 2006, 4 out. 2006 e 24 jan. 2007, respectivamente.

As diferenças de temperatura da superfície são função das propriedades físico-químicas dos corpos, atribuindo-lhes comportamento térmico diferenciado. A Ts também apresentou comportamento diferenciado para as regiões de elevada altitude e de entorno de corpo hídrico, apresentando valores inferiores devido à presença de maior umidade nestas áreas e, conseqüentemente maior porte da cobertura vegetal.

CONCLUSÕES

- I. A técnica de sensoriamento empregada capturou de maneira evidente, a variabilidade temporal e espacial dos parâmetros biofísicos de temperatura de superfície (Ts) e NDVI.
- II. A relação entre NDVI e Ts ocorre de forma inversamente proporcional, relacionando-os diretamente com os eventos de precipitação e temperatura do solo.
- III. Nas áreas de maior altitude há uma suavização das condições de semiaridez, ocasionando valores maiores de NDVI e menores de Ts devido à exposição às correntes portadoras de umidade, que amenizam a temperatura de superfície e proporcionam o desenvolvimento da vegetação.
- IV. Valores maiores de NDVI e menores de Ts são observados no entorno de corpo hídrico devido à presença de umidade nestes solos e conseqüente formação de cobertura vegetal, amenizando as condições adversas de semiaridez.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. (2002). “*SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land): advanced training and user’s manual – Idaho Implementation*”, version 1.0, 97 p.

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.

BASTIAANSEN, W. G. M. (2000). “*SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin*”, Turkey, Journal of Hydrology, n. 229, p. 87-100.

BATISTA, G. T; ALMEIDA, S. E. (1998). “*Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia. IX Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto*”. In Anais de São José dos Campos, INPE. Santos-SP, setembro, 1998.

BRASIL. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. (2004). “*Plano de manejo ESEC do Seridó. Encarte 3 – Análise da unidade de conservação*”. Brasília. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/Encarte%203_s.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2012.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. (2003). “*Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges*”. IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING. v. 41, n. 11, p.2674-2677.

CIHLAR, J.; TCHEREDNICHENKO, I.; LATIFOVIC, R.; LI, Z.; CHEN, J. (1997). “*Impact of variable atmospheric water vapor content on AVHRR data corrections over land*”. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. v. 39, p. 173– 180.

IQBAL, M. (1983). “*An Introduction to Solar Radiation*”. New York: Academic Press. 212p.

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

SILVA, H. D. B. (2009). “*Estudo do Índice de Vegetação no Município de Floresta - PE, utilizando técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto*”. Universidade Federal de Rural de Pernambuco – UFRPE. Recife-PE.