



## DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE POR SENSORIAMENTO REMOTO

*Leidjane Maria Maciel de Oliveira<sup>1</sup>; Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>2</sup>; Bernardo Barbosa da Silva<sup>3</sup>; Albert Einstein Spíndola Saraiva de Moura<sup>4</sup> & Ana Claudia Villar e Luna Gusmão<sup>5</sup>*

**RESUMO** – Técnicas de sensoriamento remoto que determinam a variação espaço-temporal da temperatura da superfície terrestre (Tsup) auxiliam no monitoramento agrícola e na gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. Este trabalho objetivou analisar distribuição espaço-temporal da temperatura da superfície por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Tapacurá - Pernambuco, a partir de imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5. Para tanto se utilizaram imagens de 06/07/2005 e 29/08/2007, que foram empregadas na geração das cartas temáticas georreferenciadas. A Tsup, de um modo geral, aumentou aproximadamente 2°C entre os dias estudados, evidenciado pelo maior percentual de variação (49,63%) na classe de 23–25°C. As maiores Tsup encontram-se dentro da malha urbana da cidade e as menores em corpos hídricos. Através do perfil traçado para área de estudo, foi perceptível o aumento espacial e temporal das temperaturas da superfície no sentido Vitória de Santo Antão – reservatório do Tapacurá, onde resultou em uma diferença de 7°C entre essas áreas.

**ABSTRACT**– Remote sensing techniques to determine the spatial and temporal variation of surface temperature (Tsup) assist the agricultural monitoring and management of water resources in river basins. This study aimed to analyze spatial-temporal distribution of surface temperature from remote sensing in river basin Tapacurá - Pernambuco, from sensor images Thematic Mapper (TM) satellite Landsat 5 images were used for both the 06/07/2005 and 29/08/2007, which were employed in the generation of georeferenced thematic maps. The Tsup, in general, increased by approximately 2°C between study days, evidenced by the higher percentage change (49.63%) in the class 23-25 C. The biggest Tsup lie within the urban fabric of the city and in smaller water bodies. Through the profile designed for the study area, there was a noticeable increase in the spatial and temporal surface temperatures in Vitoria de Santo Antão sense - Tapacurá reservoir, which resulted in a difference of 7°C between these areas.

**Palavras-chave** – Landsat, parâmetros biofísicos, bacia hidrográfica

1) Pós-Doutoranda da CAPES/FACEPE/APAC em Engenharia Civil na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife/PE. CEP: 50741 - 530. Telefone: (81) 2126 – 7763, e-mail: leidjaneoliveira@hotmail.com

2) Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (DECIV/CTG/UFPE). Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife/PE. CEP: 50741 - 530. Telefone: (81) 2126 – 8709, e-mail: suzanam@ufpe.br

3) Professor Pesquisador da FACEPE do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (DECIV/CTG/UFPE). Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife/PE. CEP: 50741 - 530. Telefone: (81) 2126 – 7764, e-mail: bbdasilva.ufpe@gmail.com

4) Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). Av. João da Mata, 256, Jaguaribe, João Pessoa - PB - CEP: 58.015-020. Telefone: (83) 3532.4100. e-mail: aessmoura@yahoo.com.br

5) Doutoranda em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, Recife-PE, Brasil, CEP: 50.000-000, Telefone: (81) 2126.7216, e-mail: villareluna@yahoo.com.br

## 1 - INTRODUÇÃO

Técnicas de sensoriamento remoto que determinam a variação espaço-temporal da temperatura da superfície terrestre (Tsup) auxiliam no monitoramento agrícola e na gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. O Sensoriamento Remoto apresenta potencial adequado para monitoramento e mapeamento do meio ambiente, envolvendo vários parâmetros biofísicos, em especial a temperatura da superfície (Bezerra *et al.*, 2010; Lopes *et al.*, 2011). Ademais, como o sensoriamento remoto alcança extensas áreas, possibilitando uma diferenciação entre alvos terrestres, a utilização de sensores orbitais constitui importante técnica na compreensão da Tsup, possibilitando análises espacializadas entre os diversos tipos de cobertura do solo com os fatores topográficos e atmosféricos.

A Tsup atua como indicador de áreas propícias à ocorrência de incêndios, cujas condições de estresse hídrico (baixa umidade e elevada insolação), favorecem o agravamento do processo de desertificação, além de dispor de informações ao manejo adequado do solo e planta (Bezerra *et al.*, 2014).

A diferença da temperatura na superfície é função das propriedades físico-químicas dos corpos, atribuindo-lhes comportamento térmico diferenciado (Cunha *et al.*, 2009). Ainda, entre os fatores que contribuem para elevação da temperatura, podem-se destacar as mudanças ocorridas na paisagem devido ao período de escassez hídrica.

A temperatura da superfície por sensoriamento remoto frequentemente tem sido tema de pesquisas científicas (Ideião *et al.*, 2008; Ferreira *et al.*, 2011; Cunha *et al.*, 2009; Bezerra *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2013), proporcionando uma das principais variáveis na determinação dos balanços de radiação e energia.

Silva *et al.* (2011) pesquisaram vários tipos de cobertura do solo, com imagens do TM-Landsat 5, no estado da Paraíba, e constataram que a presença de áreas irrigadas contribuiu substancialmente para reduzir a Tsup e, conseqüentemente, para diminuir a temperatura do ar, com efeitos sobre o clima local.

Santos *et al.* (2013) analisaram a influência da urbanização sobre a temperatura da superfície na cidade de Recife-PE, a partir de imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5. Por meio do perfil desenvolvido para área de estudo, foi perceptível o aumento espacial e temporal da Tsup no sentido subúrbio-centro, resultando em uma diferença de 6°C entre essas áreas.

A bacia hidrográfica do rio Tapacurá se destaca pela relevante contribuição ao abastecimento público da Região Metropolitana do Recife. Pesquisas com Tsup vêm a contribuir com as análises de disponibilidade hídrica da bacia. O trabalho proposto tem como objetivo a distribuição espaço-temporal da temperatura da superfície por sensoriamento remoto na bacia do rio Tapacurá em Pernambuco.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Tapacurá, sub-bacia do rio Capibaribe, Pernambuco, integrante da Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA), com área de drenagem de aproximadamente 480 km<sup>2</sup> localizada entre as coordenadas 35°05' e 35°30' de longitude Oeste e 07°58' e 08°13' de latitude Sul (REHISA, 2004). O relevo da bacia está em sua maior parte constituído por colinas e cristas. A vegetação divide-se em remanescentes da Mata Atlântica em sua maior parte e Caatinga no seu sudoeste. O período chuvoso posiciona-se entre os meses de março a julho, com precipitação média anual de 1.017 mm. A temperatura do ar média mensal oscila entre 23,7 e 27,0 °C (Braga, 2001).

Foram utilizadas duas imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat 5, órbita 214, ponto 66, compostas por sete bandas espectrais e disponíveis no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), datadas de 06/07/2005 e 29/08/2007.

Para obtenção da  $T_{sup}$  (°C) foi utilizada a equação de Planck invertida (SILVA *et al.*, 2011):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_6} + 1\right)} \quad (1)$$

em que:  $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$  e  $K_2 = 1260,56 \text{ K}$  são constantes de radiação específicas do TM,  $\epsilon_{NB}$  é a emissividade de cada pixel da imagem no domínio da banda termal (adimensional) e  $L_6$  ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ) é a radiância monocromática da banda 6 do TM.

A radiância espectral da banda 6, bem como das bandas 3 e 4 empregadas no cálculo de  $\epsilon_{NB}$ , foram obtidas por meio de calibração radiométrica, ou seja, pela transformação do nível de cinza de cada pixel em radiância espectral  $L_{\lambda_i}$  (SILVA *et al.*, 2011), qual seja:

$$L_{\lambda_i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255}\right) ND \quad (2)$$

em que:  $a$  e  $b$  são radiâncias espectrais mínima e máxima do sensor TM Landsat 5 ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ) e  $ND$  é a intensidade do pixel (número inteiro entre 0 e 255).

A emissividade  $\epsilon_{NB}$  foi obtida por meio de equação parametrizada em função do Índice de Área Foliar - IAF ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) (SANTOS *et al.*, 2013):

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033IAF \quad (3)$$

válida para  $0 < IAF < 3$ . Nos casos em que  $IAF < 3$  adotou-se para  $\epsilon_{NB}$  valor constante igual a 0,985 (SILVA *et al.*, 2011). O IAF foi determinado em função do SAVI – Índice de Vegetação com Ajuste do Solo:

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (4)$$

em que o SAVI foi obtido por meio da seguinte expressão (HUETE, 1988):

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

em que:  $\rho_{IV}$  é a reflectância do infravermelho próximo (banda 4),  $\rho_V$  é a reflectância do vermelho (banda 3) e L é constante, com valor igual a 0,5.

As reflectâncias das bandas 3 e 4, empregadas no cômputo do NDVI e SAVI, correspondem à razão entre o fluxo de radiação refletida por cada banda e o fluxo de radiação solar incidente (SILVA *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2013):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi L_{\lambda_i}}{(k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot dr)} \quad (6)$$

em que:  $k_{\lambda_i}$  é a irradiância solar de cada banda (3 e 4) no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar, e dr é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol.

A Tabela 1 detalha a precipitação acumulada (mm mês<sup>-1</sup>) na área de estudo nos meses de junho, julho e agosto de 2005 e 2007.

Tabela 1 – Precipitação acumulada na Bacia do Rio Tapacurá - Pernambuco

ano	Precipitação acumulada (mm mês <sup>-1</sup> )		
	junho	julho	agosto
2005	555,45	86,40	139,75
2007	238,00	85,50	115,25

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme Figura 1, observa-se brusca mudança de classe da Tsup entre 06/07/2005 (18–23°C – tonalidade azul e azul claro) e 29/8/2007 (23–30°C – tonalidade amarela, marrom e vermelha). Entretanto, em ambas as cartas georreferenciadas a Tsup configuram maiores valores nas áreas urbanas de Pombos e Vitória de Santo Antão. Este resultado condiz com Ideião *et al.* (2008) quando determinaram a temperatura da superfície por imagens TM Landsat 5 em 2007 no Estado da Paraíba, onde obtiveram variações de 18 a 37°C e apresentando os maiores valores nas áreas urbanas.

Também Cunha *et al.* (2009), na sub-bacia de São João do Rio do Peixe, que compõe a bacia do Rio Piranhas - Açú no Estado da Paraíba, totalmente inserida no semiárido do Nordeste do Brasil, detectaram com imagens TM Landsat 5 (agosto e novembro de 2008) em doze pontos estabelecidos na referida bacia faixas de Tsup entre 17 e 30°C.

Ainda com imagens TM Landsat 5, Ferreira *et al.* (2011) avaliaram a temperatura da superfície em caatinga e agricultura irrigada no município de Petrolina – PE e detectaram que em alvos de vegetação nativa a Tsup se mostrou entre 22 e 32°C para áreas de vegetação verde e, superiores a 32°C para áreas de vegetação mais seca. Nessa mesma análise, as áreas de solo exposto apresentaram Tsup superiores a 32°C.

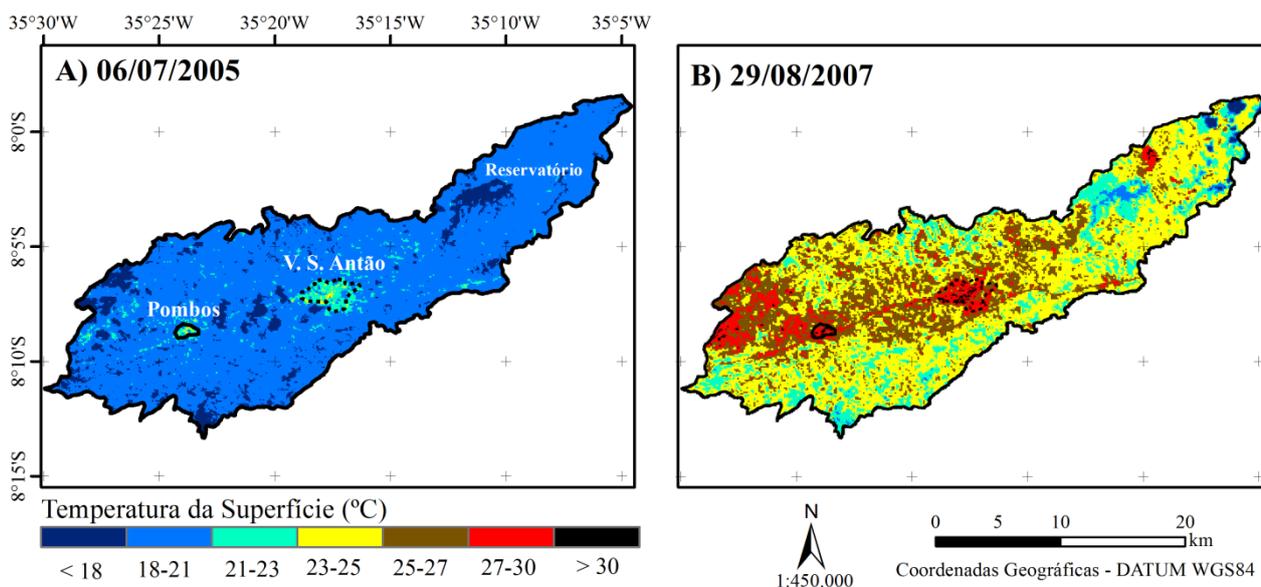


Figura 1 – Temperatura da superfície na Bacia do Rio Tapacurá – Pernambuco: A) 06/07/2005; B) 29/08/2007

Bezerra *et al.* (2014) analisaram alguns parâmetros biofísicos (albedo da superfície, NDVI e temperatura de superfície) obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, especificamente na Unidade de Conservação do Parque Nacional da Furna Feia e suas adjacências, situada entre os municípios de Mossoró e Baraúna (RN, Brasil). Especificamente, a temperatura da superfície alcançaram valores médios em 28/09/2007 (31,72°C), 12/07/2008 (18,34°C), 31/07/2009 (25,59°C) e 23/01/2010 (27,48°C). Os autores concluíram que, quanto aos diferentes usos e ocupação do solo, os valores da Tsup seguem o padrão esperado e corroboram com a eficiência da capacidade analítica e sinóptica das variáveis geradas pela metodologia utilizada.

A precipitação acumulada no mês de junho de 2005 (Tabela 1), com praticamente eventos chuvosos diários, influenciou na Tsup, causando valores inferiores a 21°C.

Observa-se na Figura 1 que na localização do reservatório do Tapacurá concentram-se os menores valores de Tsup. Esta configuração de classe foi detectada por Bezerra *et al.* (2012) quando analisaram o comportamento da temperatura da superfície na Estação Ecológica (ESEC) do Seridó, localizada no município de Serra Negra do Norte (SNN), Rio Grande do Norte (RN) e constataram que a Tsup 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.

A Tabela 2 detalha a distribuição percentual das classes da temperatura da superfície nos anos de 2005 e 2007. Observa-se a mudança brusca da classe de 23-25°C com valor de 0,24% (2005) para valor de 49,87% (2007).

Tabela 2 - Distribuição percentual das classes da Tsup na Bacia do Rio Tapacurá - Pernambuco

ano	Classes da Temperatura da superfície						
	< 18	18 - 21	21 - 23	23 - 25	25 - 27	27 - 30	> 30
2005	9,92 %	86,11%	3,73%	0,24%	0,00%	0,00%	0,00%
2007	0,65%	1,40%	15,92%	49,87%	24,55%	7,05%	0,56%

A Figura 2 detalha o histograma de frequência da temperatura da superfície nos anos de 2005 e 2007. Esta representação gráfica da Tabela 1 permite observar os valores médios (linha tracejada) referentes a 19,14°C (2005) e 24,39°C (2007).

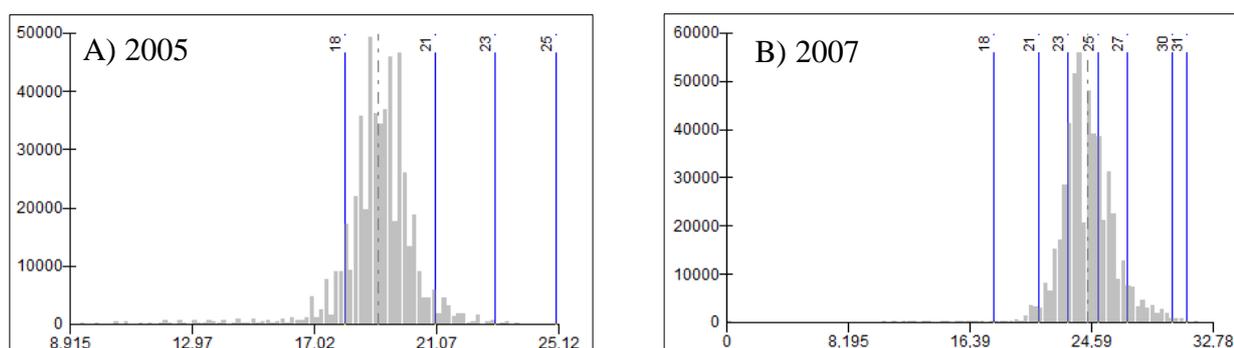


Figura 2 – Histograma de frequência da Temperatura da superfície na Bacia do Rio Tapacurá – Pernambuco: A) 06/07/2005; B) 29/08/2007

Por meio das cartas georreferenciadas da Tsup, traçaram-se os perfis em transecto da área de estudo nos anos de 2005 (Figura 3A) e 2007 (Figura 3B), com localização em linha cheia detalhada na área da bacia acima do perfil das referidas Figuras.

Desta forma, foi possível observar com mais clareza a variação espacial e temporal da Tsup em ambas as datas. Constatou-se com mais facilidade no perfil (sentido Vitória de Santo Antão – reservatório do Tapacurá) da Figura 3 que a área urbana de Vitória de Santo Antão apresentou os maiores valores e ainda, que entre ambas as datas podem-se detectar uma variação média máxima de 7°C (31 – 24°C observado pela diferença entre os valores máximos nos perfis referentes a localização da cidade de Vitória de Santo Antão entre os anos de 2005 e 2007 – Figura 3). Essas alterações resultam de várias interferências antrópicas sofridas na região, entre os quais, a substituição de áreas verdes por ambientes construídos e o adensamento das construções. Já os menores valores foram observados em área com espelhos d’água como no reservatório do Tapacurá, configurando em valores acima de 16°C (Figura 3A – 2005) e acima de 20°C (Figura 3B – 2007). Constatou-se, ainda, que a Tsup para o dia 29/08/2007, em geral, foi mais alta em relação ao dia 06/07/2005. Entretanto, destacam-se picos de valores próximos de zero em pixels que representam nuvens.

Comportamento de perfil com valores maiores em áreas urbanas e menores em áreas com corpo hídrico ou vegetação densa, foram observados por Santos *et al.* (2013) quando analisaram a influência da urbanização sobre a temperatura da superfície (Tsup) na cidade de Recife - PE, a partir de imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5.

A) 06/07/2005

B) 29/08/2007

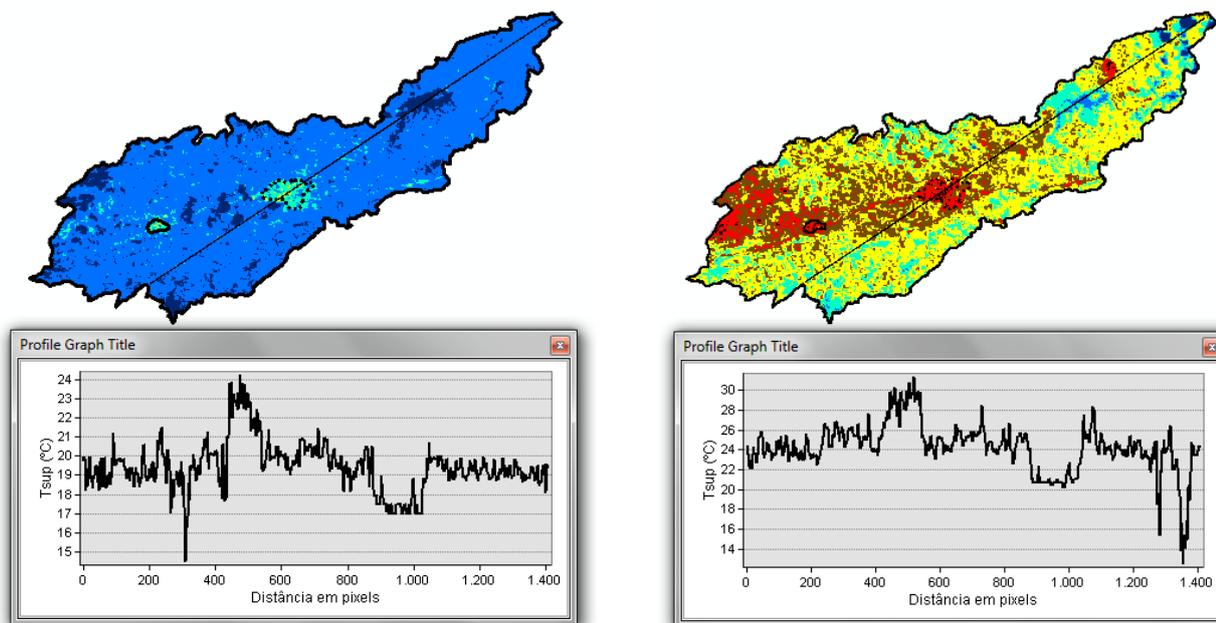


Figura 3 – Perfil da distribuição espacial da Temperatura da superfície na Bacia do Rio Tapacurá – Pernambuco: A) 06/07/2005; B) 29/08/2007

#### 4 - CONCLUSÕES

A Tsup, de um modo geral, aumentou aproximadamente 2°C entre os dias estudados, evidenciado pelo maior percentual de variação (49,63%) na classe de 23 – 25°C.

As maiores temperaturas da superfície encontram-se dentro da malha urbana e os menores em corpos hídricos.

Através do perfil traçado para área de estudo, foi perceptível o aumento espacial e temporal das temperaturas da superfície no sentido Vitória de Santo Antão – reservatório do Tapacurá, onde resultou uma diferença média máxima de 7°C entre essas áreas.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) – Projeto REHIDRO; à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE); à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC); ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e à Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA).

## BIBLIOGRAFIA

- BEZERRA, B.G.; SILVA, B.B. da; BEZERRA, J.R.C.; BRANDÃO, Z.N. (2010) “*Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI*”. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.3, pp.404-414.
- BEZERRA, H.N.; BEZERRA, J.M.; MATTOS, A.; FEITOSA, A.P.; OLIVEIRA, J.N.P. de. (2012). “*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)*”, in Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste (SRHN), João Pessoa, Nov. 2012.
- BEZERRA, J.M.; MOURA, G.B. de A.; SILVA, B.B. da; LOPES, P.M.O.; SILVA, E.F. de F. (2014). “*Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (AGRIAMBI), v.18, n.1, pp.73–84.
- BRAGA, R. A. P. (2001). Gestão ambiental da bacia do rio Tapacurá – Plano de ação. UFPE/CTG/DECIVIL/GRH, apoio FINEP e FACEPE, Recife, 101 p.
- CUNHA, J.E. de B.L.; TSUYUGUCHI, B.B.; RUFINO, I.A.A.; BRAGA, A.C. (2009) “*Sensoriamento remoto na estimativa da distribuição espacial do balanço de energia e evapotranspiração de região semiárida*”, in Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH), Campo Grande, Nov. 2009.
- FERREIRA, H.S.; SILVA, H.A. da.; OLIVEIRA, T.H. de; NETO, R.X. de M.; GALVÍNCIO, J.D.; PIMENTEL, R.M. de M. (2011). “*Avaliação dos parâmetros biofísicos da vegetação de caatinga e agricultura irrigada do município de Petrolina – PE através do NDVI, NDWI e Temperatura da Superfície*”, in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Curitiba, Abr. 2011, pp. 1843-1850.
- HUETE, A. R. (1988). “*A soil adjusted vegetation index (SAVI)*”. Remote Sensing of Environment, Oxford, v.25, pp. 295-309.
- IDEIÃO, S.M.A.; CUNHA, J.E.B.L.; RUFINO, I.A.A.; SILVA, B.B da. (2008). “*Geotecnologias na determinação da temperatura de superfície e espacialização da pluviometria no estado da Paraíba*”, in Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste (SRHN), Bahia, Nov. 2008.
- LOPES, H.L.; ACCIOLY, L.J. DE O.; SILVA, F.H.B.B. DA; SOBRAL, M. DO . ESTUDO DA C. M.; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; CANDEIAS, A. L. B. (2011). “*Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.9, pp.973-980.
- REHISA – Rede de Hidrologia do Semiárido (2004). *Implantação de bacias experimentais do Semiárido. Projeto IBESA – Implantação de bacias experimentais do semiárido para o desenvolvimento de metodologias de avaliação dos balanços hídricos e energéticos em diferentes escalas temporais e espaciais*. Projeto integrado UFRN-UFC-UFPB-UFCG-UFRPE-UFPE-UFBA, 291 p.
- SANTOS, T.O. dos, MOURA, G.B. de A.; SILVA, B.B.; OLIVEIRA, L.M.M. de; MACHADO, C.C.C. (2013). “*Influence of urbanization on land surface temperature in Recife city*”. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.33, pp.1234-1244.
- SILVA, B.B. da; BRAGA, A.C.; BRAGA, C.C. (2011). “*Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais*”. Revista Caatinga, v.24, pp.145-152.