

REFINAMENTO DE IMAGENS TERMAIS DO LANDSAT 5 – TM COM BASE EM CLASSES DE NDVI

ARGEMIRO LUCENA DE ARAÚJO¹, CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS¹, BERNARDO BARBOSA DA SILVA², BERGSON GUEDES BEZERRA³, VALÉRIA PEIXOTO BORGES¹

¹Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil

²Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

³Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, PB, Brasil

argemirofera@gmail.com, carlostorm@gmail.com, bernardo@dca.ufcg.edu.br, bbezerra@insa.gov.br, valpborges@yahoo.com.br

Recebido Novembro de 2011 - Aceito Abril 2012

RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar um método simplificado, baseado em classes de NDVI para refinamento das imagens de temperatura da superfície (Ts), obtidas pelo sensor TM do Landsat 5 referentes aos anos de 2005 e 2006. Para tanto, foram propostos e comparados três modelos de refinamento baseados no método de regressão linear. Os erros percentuais e erros médios quadráticos obtidos com a utilização dos modelos avaliados foram, respectivamente, da ordem de 0,37% e 1,38 °C, enquanto o modelo original apresentou erro médio quadrático da ordem de 1,32 °C. Foram constatados que os erros obtidos com as calibrações realizadas não influenciaram significativamente nos valores médios das imagens termais, e que os resultados contribuíram substancialmente para a melhoria da resolução espacial das mesmas. O refinamento permitiu ainda a identificação precisa de alvos da superfície e a identificação de feições não detectáveis na resolução original. Isto evidencia que o método simplificado sugerido neste estudo, permite um refinamento preciso com uma forma de obtenção mais simples em relação ao modelo original.

Palavras-chave: refinamento, temperatura, índices de vegetação, NDVI

ABSTRACT: SHARPENING OF THERMAL LANDSAT 5 - TM IMAGERY DATA BASED ON NDVI CLASSIFICATION

The objective of this study was to use a simplified method based on NDVI classes for the sharpening of the Landsat 5 - TM surface temperature images (Ts) obtained during the years of 2005 and 2006. Thus, three sharpening models, based on the linear regression method, were proposed and compared. The relative and the root mean square errors obtained through the suggested models were of 0.37% and 1.38 °C, respectively, while the original model presented root mean square error of 1.32 °C. It was verified that the errors obtained with the accomplished calibrations did not significantly influence in the average values of the thermal images and the results contributed substantially to the improvement of their spatial resolution. The sharpening allowed the precise identification of the targets and features undetectable at the original spatial resolution. This evidences that the simplified method, suggested in this study, allows an accurate sharpening more easily applicable than the original model.

Keywords: Sharpening, temperature, vegetation indices, NDVI

1. INTRODUÇÃO

Os dados da banda termal gerados por sensores orbitais têm utilidade em várias aplicações ambientais, que incluem detecção de queimadas e focos de incêndios florestais, avaliação do nível de preservação ou devastações de ecossistemas ambientais e impactos de secas severas (Quattrochi e Luvval, 2004). Ainda são aplicados no monitoramento de atividade de erupções vulcânicas (Pieri e Abrams, 2005; Lombardo e Buongiorno, 2006) e em detecção de ilhas de calor em áreas urbanas (Voogt e Oke, 2003; Yuan e Bauer, 2007; Stathopoulos e Cartalis, 2007; Schwarz et al., 2011). Outra aplicação importante dos dados da banda termal, principalmente dos sensores Landsat 7 – ETM+ e Landsat 5 – TM, é na estimativa da temperatura da superfície (Ts), que por sua vez é um parâmetro-chave dos métodos SEBAL/METRIC (Bastiaanssen et al., 1998a; Allen et al., 2007a, b) e S-SEBI (Roerink et al., 2000, Santos et al., 2007; Santos e Silva, 2008) para resolução da equação do balanço de energia. Nessas metodologias, a Ts é utilizada na estimativa da radiação de onda longa emitida pela superfície, que por sua vez é determinante no resultado final do saldo de radiação, do balanço de energia e, por conseguinte, da evapotranspiração (Bezerra et al., 2008, Folhes et al., 2009; Borges et al., 2010; Santos et al., 2010). Nessas aplicações, a Ts é calculada através da equação de Planck invertida.

Um problema pertinente ao uso do sensoriamento remoto em aplicações ambientais, tais como, aplicações agrícolas, é a baixa resolução da banda termal em relação às bandas do visível e do infravermelho próximo. Tomando como exemplo, a resolução espacial da banda termal do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5 é quatro vezes inferior às demais bandas e representa uma área dezesseis vezes superior às demais. Esta diferença na maioria das vezes prejudica a identificação de alvos de interesse na superfície, principalmente se estes possuem áreas de dimensões menores ou iguais a dimensão do pixel da banda termal, que no caso do TM – Landsat 5 é 120 x 120 m (Bastiaanssen et al., 1998a, 1998b). O comprometimento da identificação dos alvos acontece em razão do processo de construção dos pixels, que na maioria das vezes apresentam informações digitais incompatíveis com as reais condições de cobertura solo da área de interesse. Essas incompatibilidades de informações ocorrem, porque os pixels das áreas de pequenas dimensões foram construídos a partir de informações radiométricas “contaminadas” com informações radiométricas oriundas de áreas adjacentes. Assim, a exatidão da detecção do uso/ocupação do solo é comprometida e tem gerado dificuldades na comparação dos elementos do balanço de energia e da evapotranspiração com dados observados nestas áreas (Kustas et al., 2003; Allen et al., 2007a). A contaminação radiométrica conforme definição de Allen et al. (2007a,b) limita a aplicação

potencial dessas metodologias no monitoramento do ciclo da água em área irrigadas com dimensões reduzidas, ficando restrita apenas a áreas de grandes dimensões.

No entanto, essa deficiência tem sido suprida pelo uso da relação entre os índices de vegetação e a temperatura radiométrica da superfície (Kustas et al., 2003; Agam et al., 2007; Trezza et al., 2008; Zhang et al., 2009). Tipicamente estas duas variáveis são fortemente correlacionadas, especialmente sobre condições de alta disponibilidade de água no solo devido ao efeito do resfriamento gerado pela transpiração do dossel vegetativo. Isto se observa em dias após eventos de irrigação ou precipitação (Trezza et al., 2008). Essas relações têm permitido a obtenção da Ts numa melhor resolução, pois passa a apresentar a mesma resolução das bandas do visível, visto que os índices de vegetação são construídos a partir dessas bandas.

Kustas et al. (2003) desenvolveu o algoritmo TsHARP (anteriormente conhecido como disTrad), utilizado por Anderson et al. (2004), que se baseia na existência de uma única relação entre o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e a Ts em uma cena imageada por um sensor remoto em múltipla resolução espacial, amplamente relacionada à fração de cobertura vegetal do solo. Essa relação surge a partir da bem conhecida e documentada observação da existência de uma relação inversa entre Ts e a cobertura vegetal do solo (Running et al., 1995; White et al., 1997; Tucker et al., 2001; Badeck et al., 2004). Na proposta original do algoritmo TsHARP (Kustas et al., 2003) e aplicada por Anderson et al. (2004), a temperatura da superfície é estimada em função de uma relação quadrática com o NDVI.

Agam et al. (2007) avaliaram cinco diferentes relações entre a Ts e NDVI por meio do algoritmo TsHARP. Além do ajuste polinomial de segundo grau de Kustas et al. (2003) e Anderson et al. (2004), foram avaliadas a relação linear, a relação entre Ts e a fração de cobertura vegetal do solo (fc) utilizando a equação sugerida por Choudhury et al. (1994), a relação linear entre Ts e a fração de cobertura vegetal do solo simplificada e a hipótese do não refinamento. Utilizando esses métodos, Agam et al. (2007) simularam, a partir de imagens NDVI de alta resolução (a partir de imagens de sensores a bordo de aviões e do sensor TM do Landsat 5), a temperatura da superfície em resolução espacial original dos sensores MODIS, GOES e Landsat. Foram simulados mapas de temperatura da superfície com resolução de 1,0 Km a partir de imagens do NDVI do Landsat agregada e 250 m a partir da imagem do NDVI do MODIS e, quando comparadas com medidas da Ts observadas em campo, obtiveram raiz do erro médio quadrático (REMQ) de 0,67 °C e 1,35 °C, respectivamente. Também foram simulados mapas termais do Landsat (60 e 120 m) a partir do NDVI do Landsat (30 m), com REMQ de 1,8 °C – 2,4 °C; e mapas de 5 km, com REMQ de 0,98 °C quando comparados às imagens GOES.

Contudo, o método proposto por Agam et al. (2007) necessita de uma análise estatística mais detalhada para a seleção dos pixels e obtenção das regressões, e de um método radiométrico que desagrega e reagrupa os valores de NDVI e de Ts, para obter o refinamento final. Assim, este trabalho tem por objetivo a obtenção de imagens termiais com resolução espacial refinada, a partir de um método simplificado em relação ao método original proposto por Agam et al. (2007).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no estado do Ceará, localizado na Região Nordeste do Brasil (Figura 1). A área de interesse situa-se na Chapada do Apodi, localizada no município de Quixeré, que possui como principal atividade agrícola a fruticultura tropical. Foram utilizadas imagens Landsat 5 – TM referentes aos dias de ordem do ano (DOA) 06 de setembro de 2005 (DOA-249), 23 de julho de 2006 (DOA-204), 08 de agosto de 2006 (DOA-220) e 24 de agosto de 2006 (DOA-236) para aplicação dos métodos. A escolha destas datas deve-se ao fato de não apresentarem nuvens sobre a região de estudo.

O estado do Ceará detém aproximadamente 93% de seu território inserido na região Semi-árida do Brasil, tornando-se vulnerável ao fenômeno da seca, à irregularidade e escassez de chuvas. O clima predominante no Estado é o tropical quente semi-árido, ocorrendo em uma extensão de 101.001 km², ou seja, cerca de 68% da área total do Estado. Destaca-se ainda que o clima tropical quente semi-árido ocorra em 98 municípios cearenses. Segundo a Classificação Climática de Köppen, predomina no Estado o clima semiárido quente (BSw'h') na região do sertão e o clima tropical chuvoso (Aw') na região do litoral (IPECE, 2010).



Figura 1 - Representação do estado do Ceará na região Nordeste do Brasil.

O tipo de vegetação de maior ocorrência no Estado é a Caatinga, que ocupa cerca de 46% do território cearense. Entretanto, outros tipos de vegetação são encontrados no Ceará, tais como as matas úmidas, as matas secas, a mata ciliar com carnaúba, o cerrado e o complexo vegetal da zona litorânea (IPECE, 2010).

Para obtenção da relação linear entre NDVI e Ts, foram reamostradas ambas as imagens para a menor resolução espacial observada entre elas, neste caso para 120m, que corresponde à resolução da imagem original de Ts. Em seguida os valores de todos os pixels em ambas as imagens foram analisados de modo a se remover os valores de NDVI menores ou iguais a zero, pois estes não se enquadram na premissa de que a cobertura vegetal e a temperatura da superfície têm relação inversa, conforme descrito em Agam et al. (2007). Também se procedeu com a remoção dos pixels com valores incoerentes gerados durante o processamento das imagens.

Com os dados de NDVI e de Ts devidamente refinados obtiveram-se as regressões entre os mesmos. O método original de Agam et al. (2007) sugere que os pixels sejam agrupados em classes de NDVI, e que somente os pixels com menos de 25% de coeficiente de variação sejam selecionados. Para este estudo foi sugerida uma classificação simplificada de pixels, onde se utiliza a média de NDVI e de Ts correspondentes a cada classe para obtenção da regressão. As classes de NDVI foram definidas inicialmente com intervalos fixos de 0,1, e para efeito comparativo realizou-se uma segunda classificação com intervalos de 0,05 nas classes. Os resultados foram comparados com a regressão entre todos os pixels das imagens sem aplicação do método estatístico proposto por Agam et al. (2007).

Inicialmente, a Ts foi estimada a partir da regressão entre Ts e alguma função do NDVI, agregada à imagem de NDVI com resolução de 120 m, que pode ser obtida a partir da reamostragem da imagem de NDVI de 30 m.

$$T_S(NDVI_{LOW}) = f(NDVI_{LOW}) \quad (1)$$

com $NDVI_{LOW}$ = imagem de NDVI com resolução de 120 m.

A função $f(NDVI_{LOW})$ foi obtida através da regressão linear entre os valores médios de NDVI de cada classe descrita anteriormente e seus respectivos valores médios de Ts, como alternativa ao método proposto por Agam et al. (2007), que utiliza todos os pixels da cena. A função utilizada neste estudo é dada por:

$$\bar{T}_S = a_0 + a_1 \overline{NDVI}_{LOW} \quad (2)$$

com \bar{T}_S = temperatura da superfície média da classe; \overline{NDVI} = NDVI médio de cada classe; a_0 e a_1 = coeficientes da regressão linear.

Em seguida foi calculada a diferença entre os valores da imagem de Ts e os valores estimados pela função para cada pixel da cena, qual seja:

$$\Delta T_{S,LOW} = T_{S,LOW} - T_S(NDVI_{LOW}) \tag{3}$$

com $T_{S,LOW}$ = imagem de Ts com resolução de 120 m. Finalmente, o resíduo calculado pela Equação (3) foi somado ao valor estimado de Ts a partir da mesma regressão obtida nos passos anteriores, porém utilizando agora a imagem de NDVI com 30 m de resolução espacial:

$$T_{S,HIGH} = T_S(NDVI_{HIGH}) + \Delta T_{S,LOW} \tag{4}$$

com $T_{S,HIGH}$ = valor refinado de Ts com 30 m de resolução espacial; $T_S(NDVI_{HIGH})$ = estimativa de Ts a partir da regressão linear utilizando a imagem de NDVI de 30 m.

Desta forma, foi obtida a imagem de Ts com resolução espacial de 30 m, assumindo-se que a regressão encontrada para as imagens de 120 m é válida para a estimativa a partir do NDVI de 30 m.

Para avaliar o desempenho dos modelos foi utilizada análise de regressão e foram obtidos os coeficientes de determinação (R^2), o erro médio percentual (EMP) e a raiz do erro médio quadrático (REMQU). Considerando que X representa o valor observado, X' representa o valor estimado a partir dos modelos e N representa o número de valores, tem-se que o EMP e o REMQU são dados por:

$$EMP = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_i - X'_i}{X_i} \right| \tag{5}$$

$$REMQU = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^N (X_i - X'_i)^2]}{N}} \tag{6}$$

Neste estudo, foram obtidas três regressões distintas a partir dos dados de NDVI e Ts extraídos do Landsat 5 – TM. A seguir são descritos os modelos comparados neste estudo:

- Modelo 1 (M1): regressão linear entre todos os pixels de NDVI e Ts da área de estudo;
- Modelo 2 (M2): regressão linear entre os valores médios de NDVI e Ts das classes de NDVI agrupadas com intervalo de 0,1;
- Modelo 3 (M3): regressão linear entre os valores médios de NDVI e Ts das classes de NDVI agrupadas com intervalo de 0,05.

Tabela 1 - Coeficientes de regressão linear encontrados para as calibrações propostas.

DOA	Modelo	α_0	α_1	R^2
249/2005	M1	300,95	-8,5993	0,18
	M2	300,91	-9,7580	0,93
	M3	300,62	-9,0213	0,90
204/2006	M1	303,33	-9,0824	0,18
	M2	302,80	-6,6655	0,87
	M3	302,88	-9,9075	0,88
220/2006	M1	304,47	-9,6874	0,25
	M2	304,40	-8,8957	0,95
	M3	304,40	-8,7461	0,94
236/2006	M1	306,07	-9,7861	0,29
	M2	306,10	-10,3180	0,95
	M3	306,05	-10,0960	0,94

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os ajustes encontrados para os modelos descritos anteriormente. Os respectivos coeficientes de determinação associados também são apresentados. Os ajustes evidenciam que os coeficientes de inclinação e intercepto dos três modelos se aproximam na maioria dos casos. Contudo, observa-se que os modelos 2 e 3, derivados da classificação de NDVI propostos neste estudo, oferecem um melhor ajuste ao conjunto de dados. O fato de se usar a média de cada classe, proporciona um refinamento natural dos dados sem o uso de quaisquer métodos estatísticos mais aprofundados. Isto demonstra que a média das classes tende a remover os valores que não se encaixam na premissa de que o NDVI e Ts são inversamente proporcionais.

Os resultados apresentados na Tabela 2 evidenciam que os três métodos propostos apresentam valores semelhantes entre si. Agam et al. (2007) encontraram um REMQU da ordem de 1,28 °C, quando trabalharam com imagens Landsat e, com isto, observa-se que qualquer um dos métodos empregados geram resultados semelhantes, o que indica que o Modelo M2,

Tabela 2 - Desempenho da regressão no refinamento das imagens termais do Landsat 5 – TM de 120m para 30m.

DOA	EMP (%)			REMQU (°C)		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
249/2005	0,33	0,34	0,36	1,22	1,28	1,34
204/2006	0,41	0,43	0,43	1,49	1,59	1,58
220/2006	0,37	0,38	0,38	1,38	1,40	1,41
236/2006	0,31	0,31	0,31	1,19	1,20	1,20
Média	0,36	0,37	0,37	1,32	1,37	1,38

por ser mais simples que os demais, se torna boa opção para aplicação do refinamento.

Na Figura 2 são apresentadas as imagens termais originais e refinadas a partir do Modelo M2 para os dias citados

anteriormente. As imagens refinadas de Ts permitem uma melhor detecção dos alvos na superfície, bem como, a visualização de feições que não podiam ser observadas nas imagens originais. Os erros apresentados neste estudo foram menores que 1%

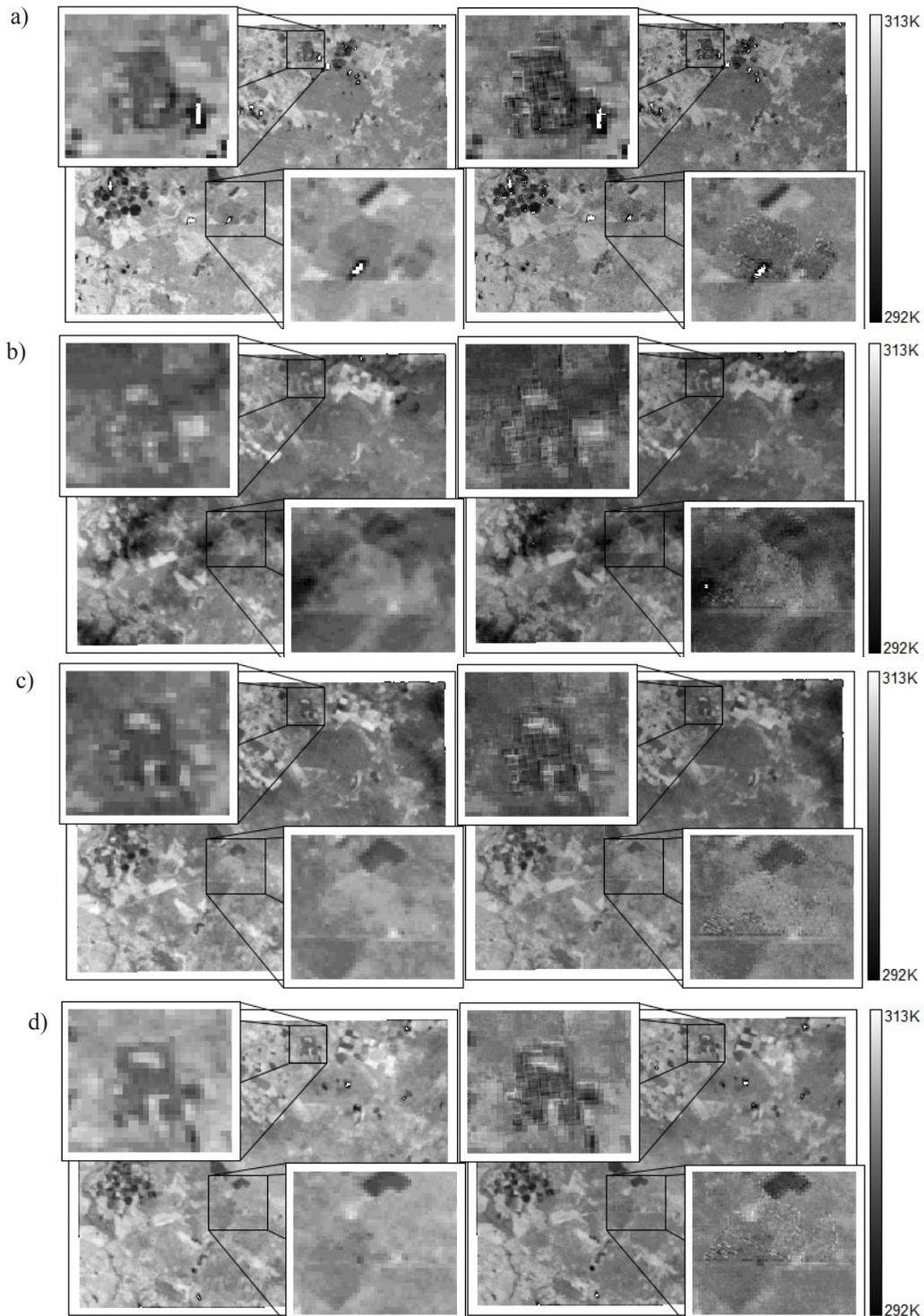


Figura 2 - Imagens termais do Landsat 5 – TM com resolução espacial original de 120m (esquerda) e refinada para 30m (direita) e ampliações para os dias 249/2005 (a), 204/2006 (b), 220/2006 (c) e 236/2006 (d).

quando comparados aos valores de Ts originais e aos estimados pelos modelos. Logo, os mesmos podem ser considerados insignificantes do ponto de vista estatístico pelo teste de t-student ao nível de confiança de 95%.

O uso dessa técnica pode prover estimativas de Ts com resoluções mais úteis para o monitoramento ambiental em diferentes tipos de cobertura do solo. Esta técnica de refinamento da imagem foi incapaz de recriar variações na temperatura da superfície devido às anomalias de umidade do solo que não foram determinadas. No entanto, a mesma não descarta a necessidade por imagens termais de satélite com alta resolução espacial para uma melhor diferenciação de mudanças na cobertura do solo (vegetação ou culturas agrícolas) e condições de umidade, particularmente com propósitos de monitoramento da evapotranspiração e estresse hídrico em áreas irrigadas. Logo, a referida técnica é de grande valia, quando se necessita de aplicações que envolvam validação de dados de superfície, onde a localização de alvos e instrumentos de campo precisa ser identificada com uma boa precisão sem que o resultado final seja comprometido.

4. CONCLUSÕES

As modificações sugeridas neste estudo evidenciaram que o modelo simplificado baseado em classes de NDVI produz resultados similares ao modelo original abordado. Quaisquer dos modelos abordados podem ser empregados, entretanto, o Modelo M2 se apresentou como melhor alternativa por ser mais simples quando comparado aos demais.

O refinamento da imagem termal permitiu a identificação de alvos e de feições que não podiam ser vistas nas cartas originais. Contudo, sugere-se que aplicações deste modelo sejam efetuadas de modo a se verificar a precisão dos produtos derivados das imagens termais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGAM, N., KUSTAS, W. P., ANDERSON, M. C., LI, F., NEALE, C. M. U. A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.107, n.4, p.545-558, 2007.
- ALLEN, R. G., TASUMI, M., TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.4, p.380-394, 2007a.
- ALLEN, R. G., TASUMI, M., MORSE, A., TREZZA, R., WRIGHT, J. L., BASTIAANSEN, W., KRAMBER, W., LORITE, I., ROBISON, C. W. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.4, p.395-406, 2007b.
- ANDERSON, M. C., NEALE, C. M. U., LI, F., NORMAN, J. M., KUSTAS, W. P., JAYANTHI, H.; CHAVEZ, J. Upscaling ground observations of vegetation water content, canopy height, and leaf area index during SMEX02 using aircraft and Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.92, p.447-464, 2004.
- BADECK, F. W., BOPNDEAU, A., BÖTTCHER, K., DOKTOR, D., LUCHT, W., SCHABER, J., STICH, S. Responses of spring phenology to climate change. **New Phytologist**, v.162, p.295-309, 2004.
- BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v.212-213, p.198-212, 1998a.
- BASTIAANSEN, W.G.M., PELGRUN, H., WANG, J., MA, Y., MORENO, J.F., ROERINK, G.J., VAN DER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v.212-213, p.213-229, 1998b.
- BEZERRA, B. G., SILVA, B. B., FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração diária utilizando-se imagens digitais TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, p.305-317, 2008.
- BORGES, V. P., OLIVEIRA, A. S., SILVA, B. B. Mapeamento e quantificação de parâmetros biofísicos e radiação líquida em áreas de algodoeiro irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.2, p.485-493, 2010.
- CHOUDHURY, B. J., AHMED, N. U., IDSON, S. B., REGINATO, R. J., DAUGHTRY, C. S. T. Relation between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. **Remote Sensing of Environment**, v.50, p.1-17, 1994
- FOLHES, M. T., RENNÓ, C. D., SOARES, J. V. Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil. **Agricultural Water Management**, v.96, p.1398-1408, 2009
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Disponível em <http://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em 11 de fevereiro de 2010.
- KUSTAS, W. P., NORMAN, J. M., ANDERSON, M. C., FRENCH, A. N. Estimating subpixel surface temperature and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. **Remote Sensing of Environment**, v.85, p.429-440, 2003.
- LOMBARDO, V., BUONGIORNO, M.F. Lava flow thermal analysis using three infrared bands of remote-sensing imagery: A study case from Mount Etna 2001 eruption. **Remote Sensing of environment**, v.101, p.141-149, 2006.

- PIERI, D., ABRAMS, M. ASTER observation of thermal anomalies preceding the April 2003 eruption of Chikurachki volcano, Kurile Islands, Russia. **Remote Sensing of Environment**, n.99, p.84-94, 2005.
- QUATTROCHI, D. A.; LUVALL, J. Thermal remote sensing in land surface process: CRC, CRC Press, Boca Raton, FL, 2004.
- ROERINK, G. J.; SU, Z.; MENENTI, M. A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance. **Physics and Chemistry of the Earth (B)**, v. 25, p. 147-157, 2000.
- RUNNING, S.W., LOVELAND, T. R., PIERCE, L. L., NEMANI, R. R., HUNT JR., E. R. A remote sensing based vegetation classification logic for global land cover analysis. **Remote Sensing of Environment**, v.51, p.39-48, 1995.
- SANTOS, C.A. C., SILVA, B. B. Estimativa da evapotranspiração da bananeira em região semi-árida através do algoritmo S-SEBI. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.16, p.9-20, 2008.
- SANTOS, C. A. C., SILVA, B. B., RAO, T. V. R. Estimativa da ET diária utilizando os algoritmos SEBAL e S-SEBI. **Ciência e Natura**, v.29, p.71-74, 2007.
- SANTOS, C. A. C., BEZERRA, B. G., SILVA, B. B., RAO, T.V.R. Assessment of daily actual evapotranspiração with SEBAL and S-SEBI algorithms in cotton crop. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, 383-392, 2010.
- SCHWARZ, N., LAUTENBACH, S., SEPPELT, R. Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperature. **Remote Sensing of Environment**, doi:10.1016/j.rse.2011.07.003, 2011.
- STATHOPOULOS, M.; CARTALIS, C. Daytime urban heat islands form Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. **Solar Energy**, v.81, p.358-368, 2007.
- TREZZA, R.; ALLEN, R.G.; ROBINSON, C.W.; KRAMBER, W.J.; KJAERGAARD, J.; TASUMI, M.; GARCIA, M. Enhanced resolutions of evapotranspiration from riparian systems and field edges by sharpening the Landsat thermal band. In Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress, Ahupua'a, USA, 2008.
- TUCKER, C. J., SLAYBACK, D. A., PINZON, J. E., LOS, S. O., MYNENI, R. B., TAYLOR, M. G. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. **International Journal of Biometeorology**, v.45, 184-190, 2001.
- VOOGT, J. A., OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, v.86, p.184-190, 2003.
- WHITE, M. A., THORNTON, P. E., RUNNING, S. W. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. **Global Biogeochemical Cycles**, v.11, p.217-234, 1997.
- YUAN, F.; BAUER, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.106, p.375-386, 2007.
- ZHANG, Y., ODEH, I. O. A., HAN, C. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.11, p.256-264, 2009.