

## O canal termal do sensor IRMSS-CBERS-2: avaliação do potencial para estimar a temperatura de superfície ( $T_s$ )

Enner Herenio de Alcântara<sup>1</sup>  
Ramon Morais de Freitas<sup>1</sup>  
Evelyn Marcia Leão de Moraes Novo<sup>1</sup>  
João Antonio Lorenzetti<sup>1</sup>  
Arcilan Trevenzoli Assireu<sup>1</sup>  
José Luiz Stech<sup>1</sup>  
Arley Ferreira de Souza<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{enner,ramon,evlyn,loren,arcilan,stech,arley}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> CETEC-EITEP Faculdades  
Caixa Postal 12242-800 - São José dos Campos - SP, Brasil  
arley.souza@etep.edu.br

**Abstract.** The aim of this paper is to evaluate the Infrared Multispectral Scanner (IRMSS) on board China–Brazil Earth Resources Satellite (CBERS-2) thermal channel to estimate the surface temperature ( $T_s$ ). To do this the Amazon and Tapajos rivers were selected as test sites. The digital numbers of the IRMSS images were transformed into calibrated radiance and then into brightness temperatures ( $T_b$ ). Correction for atmospheric water vapor absorption was carried out using Qin et al. (2001) methodology. IRMSS  $T_s$  accuracy was assessed against the  $T_s$  MODIS/Terra product (MOD11A1). The result shows a mean  $T_s$  difference between IRMSS and MODIS/Terra about 11.40 and 11.44°C in the Amazon and Tapajos rivers, respectively. These poor results probably are mainly due to the value of the calibration constant and noises present in the data.

**Palavras-chave:** water surface temperature, thermal channel, atmospheric correction, calibration; temperatura de superfície da água, canal termal, correção atmosférica, calibração.

### 1. Introdução

Dados coletados pelo satélite CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) têm sido amplamente utilizado desde o lançamento do primeiro satélite da série em 1999. Este uso é feito nas mais diversas áreas do conhecimento, tais como vegetação, agricultura, meio ambiente, cartografia, água, geologia, educação, dentre outros (Epiphanyo et al., 2007). No entanto, essas aplicações estão limitadas aos sensores que operam no visível (câmera CCD), devido à melhor resolução espectral e melhor razão sinal-ruído. O sensor IRMSS (Imageador por Varredura de Média Resolução) é um dos três sensores a bordo do CBERS-2 operando em quatro bandas espectrais e razão sinal - ruído (RSR) ou diferença de temperatura equivalente ao ruído (NE $\Delta$ T): banda 1 (0,50-1,10  $\mu$ m; RSR 300), banda 2 (1,55-1,75  $\mu$ m; RSR 100), banda 3 (2,08-2,35  $\mu$ m; RSR 50) e banda 4 (10,40-12,50  $\mu$ m; NE $\Delta$ T 1,2K). Possui um campo de visada de 120 km, resolução espacial de 80 (bandas refletivas) e 160 m (banda termal) e resolução temporal de 26 dias (Ponzoni et al., 2006).

A habilidade de detectar e quantificar mudanças na superfície terrestre e seu balanço de energia por sensoriamento remoto depende de sensores a bordo de satélites que devem ser calibrados para oferecer medidas consistentes de feições na superfície terrestre (Chander e Markham, 2003), como a temperatura da superfície ( $T_s$ ). Com esse objetivo, Ponzoni et al. (2006) realizaram a calibração radiométrica do sensor IRMSS-CBERS-2 para os canais do infravermelho com exceção ao infravermelho termal. Apenas recentemente Zhang et al.

(2005) realizaram a calibração radiométrica (em órbita) do canal termal do sensor IRMSS-CBERS-2 obtendo a constante de calibração, a qual possibilita, teoricamente, a estimativa da temperatura de brilho ( $T_b$ ) no sensor.

A temperatura de brilho ( $T_b$ ) é uma variável essencial no sensoriamento remoto termal, especialmente na estimativa da temperatura da superfície da terra e do mar, e detecção de fogo (Hao et al., 2007). Para se obter a temperatura de superfície, além do cálculo adequado da constante de calibração, é essencial que a cena seja submetida à rigorosa correção atmosférica, devido à atenuação da radiação devido ao conteúdo de vapor de água na atmosfera (Jiménez-Muñoz e Sobrino, 2003). Muitos algoritmos foram propostos para estimar a temperatura de superfície e podem ser enquadrados nas seguintes categorias: (i) algoritmos de uma única banda (Qin et al., 2001; Jiménez-Muñoz e Sobrino, 2003); (ii) algoritmos que utilizam duas bandas do canal termal (Sobrino et al., 1996) e (iii) algoritmos que utilizam 3 bandas, sendo duas do termal e uma do infravermelho médio (Sun e Pinker, 2003). Assim os algoritmos da categoria (i) são os indicados para realização da correção atmosférica do canal termal do sensor IRMSS-CBERS-2.

O algoritmo de Qin et al. (2001) para estimativa da temperatura de superfície ( $T_s$ ) utiliza o conteúdo de vapor de água na atmosfera e a temperatura do ar próximo à superfície; enquanto que o algoritmo de Jiménez-Muñoz e Sobrino (2003) utiliza apenas o conteúdo de vapor de água na atmosfera. Sobrino et al., (2004) aplicaram estes algoritmos para o canal termal do sensor TM-Landsat-5 em Valença na Espanha e os resultados mostraram erros na estimativa da temperatura de superfície de 2K (algoritmo de Qin et al., 2001) e 0,9K (algoritmo de Jiménez-Muñoz e Sobrino, 2003). Mao et al. (2004) utilizaram o algoritmo de Qin et al. (2001) e compararam com os dados de  $T_s$  do sensor MODIS e os resultados mostraram uma acurácia de 0,37 °C. Souza e Silva (2005) aplicaram o algoritmo de Qin et al. (2001) na estimativa da  $T_s$  no nordeste brasileiro com erro médio de 1,35°C. Neste trabalho será utilizado o método de ‘Qin’ para a estimativa da  $T_s$ , por este algoritmo já ter sido aplicado ao Brasil com relativo sucesso.

A obtenção da  $T_s$  por meio de sensores como o IRMSS-CBERS-2 se torna de grande importância para o Brasil devido sua distribuição ser gratuita, apresentar resolução espacial e temporal adequada para a maioria dos processos na superfície terrestre; além de permitir sua integração com dados da região do visível por meio da câmera CCD-CBERS-2. No entanto, o potencial do canal termal do IRMSS-CBERS-2 deve ser mais bem estudado para que o seu uso possa se tornar operacional.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial do sensor IRMSS-CBERS-2 em estimar a temperatura de superfície ( $T_s$ ) da água dos rios Amazonas e Tapajós.

**1.1 Área de Teste** – A área piloto selecionada para o desenvolvimento e validação da metodologia proposta neste estudo, está localizada ao Sul da cidade de Óbidos no Estado do Pará, a 900 km da foz do rio Amazonas (Figura 1). Esta área foi selecionada por possuir rios com tipos de água distintos (águas turbidas e águas claras). O rio Amazonas possui maior quantidade de partículas em suspensão e o rio Tapajós é mais rico em matéria orgânica dissolvida (Junk, 1997).

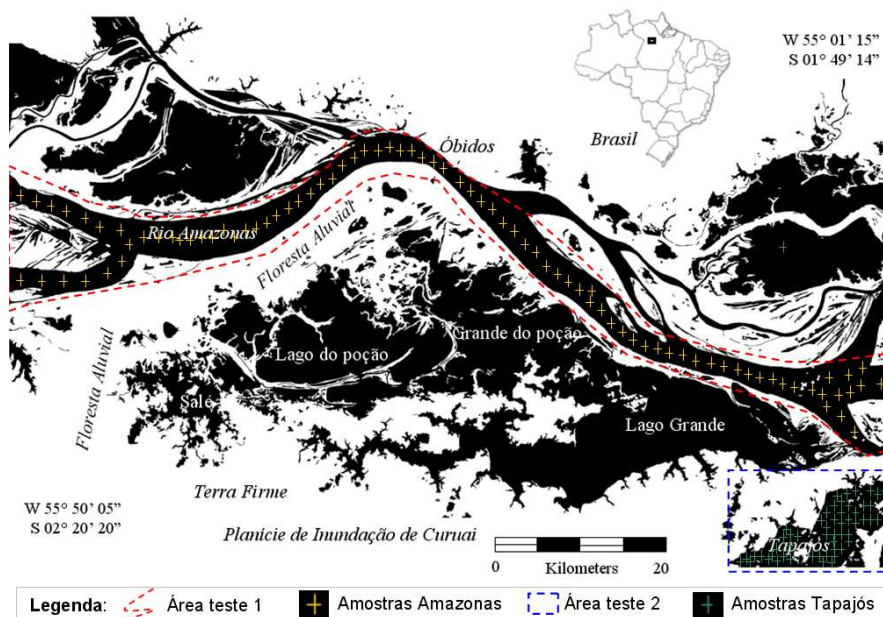


Figura 1. Localização da área de estudo com as áreas testes e amostras selecionadas, modificado de Alcântara et al. (2008).

A seguir serão apresentados os dados e os métodos utilizados para alcançar o objetivo proposto neste trabalho.

## 2. Material e Métodos

**2.1 Dados de Sensoriamento Remoto** – A cena do IRMSS-CBERS-2 canal do termal (10,40-12,50  $\mu m$ ) foi adquirida em 18-11-2004 (órbita/ponto 168/102). Foram obtidos também os produtos MODIS/Terra de temperatura de superfície (MOD11A1) e conteúdo de vapor de água na atmosfera (MOD05) referente à mesma data para proceder à correção atmosférica e para a validação dos dados de temperatura. O sensor MODIS tem três bandas no infravermelho termal com resolução espacial de 1 Km e NE $\Delta$ T de 0,020K (Banda 29; 8,4-8,7  $\mu m$ ), NE $\Delta$ T 0,024K (Banda 31; 10,78-11,28  $\mu m$ ) e NE $\Delta$ T 0,040K (Banda 32; 11,77-12,27  $\mu m$ ) a 300K (Wan et al., 2002).

**2.2 Dados Meteorológicos e Limnológicos** – Foram utilizados dados de temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ) coletados por meio do Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental – SIMA (Stech et al., 2006) do dia e horário da passagem do IRMSS-CBERS-2 sobre a área de estudo. Este dado será utilizado pelo algoritmo de correção atmosférica de Qin et al. (2001).

**2.3 Correção Geométrica** - A imagem IRMSS-CBERS-2 foi georreferenciada para o sistema WGS84 tendo como base uma cena ETM+-Landsat-7 coletada no *Global Land Cover Facility* (<http://glcf.umd.edu/index.shtml>). Após a correção geométrica da cena foi realizada o cálculo da temperatura de brilho da cena IRMSS.

**2.4 Estimativa da Temperatura de Brilho** – A temperatura de brilho ( $T_b$ ) para o comprimento de onda central do canal termal do IRMSS foi calculada por meio da inversão da equação de Planck (Hao et al., 2007):

$$T_b = \frac{hc}{\lambda_c k \ln \left( 1 + \frac{2hc^2}{\lambda_c^5 L_{sensor}} \right)} \quad (1)$$

Onde:  $h$  é a constante de Planck ( $6.6256 \times 10^{-34} \text{ W s}^2$ ),  $k$  é a constante de Boltzmann ( $1.38054 \times 10^{-23} \text{ W s K}^{-1}$ ),  $c$  é a velocidade da luz ( $2.9979 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ),  $\lambda_c$  é o comprimento de onda central do IRMSS CBERS-2 ( $11,45 \mu\text{m}$ ),  $L_{sensor}$  ( $\text{W} / \text{m}^2 \text{sr}^1 \mu\text{m}^1$ ) é a radiância espectral no sensor.

**2.5 Radiância espectral registrada no sensor:** A transformação do nível digital (ND) da cena IRMSS-CBERS-2 para radiância espectral ( $L_{sensor}$ ) foi realizada por meio do coeficiente de calibração obtido por Zhang et al. (2005) como segue:

$$L_{sensor} = C_i DN_i \quad (2)$$

Onde  $C_i = 0.068566 \text{ (W} / (\text{m}^2 \text{sr}^1 \mu\text{m}^1) / \text{DN})$  é a constante de calibração para o canal termal do IRMSS-CBERS-2 obtida por Zhang et al. (2005) e  $DN_i$  é o número digital.

Tendo estimado a temperatura de brilho no sensor é necessário a sua transformação para temperatura de superfície. Para tanto, é necessário ser realizada uma correção atmosférica que corrija o valor da radiância observada pelo satélite dos efeitos da absorção da radiação pelo conteúdo de vapor de água presente na atmosfera (Jiménez-Muñuz e Sobrino, 2003). O efeito desta correção é estimar o valor da radiância de superfície, ou seja, a radiância efetivamente emitida pelo pixel em análise. Como indicado por Sobrino et al. (2004), a correção atmosférica é necessária para a geração da  $T_s$  pois a radiância emitida pela superfície além de ser atenuada pelo vapor d'água, sofre também um incremento por incorporar emissão de radiação infravermelho emitida para cima pela própria atmosfera.

Com o conhecimento apropriado da estrutura vertical da atmosfera, um modelo de transferência radiativa pode ser utilizado para estimar a transmitância, e as radiâncias ascendente e descendente. No entanto, esses parâmetros atmosféricos para serem estimados necessitam de radiossondagens em concomitância com a passagem do satélite. Assim no sentido de contornar a dependência de radiossondagens Qin et al. (2001) desenvolveram um algoritmo que realiza este procedimento para sensores que tenham apenas um canal no termal.

**2.6 Transformando a Temperatura de Brilho ( $T_b$ ) em Superfície ( $T_s$ )** – A  $T_s$  pode ser estimada por meio do seguinte algoritmo, desenvolvido por Qin et al. (2001):

$$T_s = \frac{1}{C} [a(1 - C - D) + b(1 - C - D) + C + D] T_b - \frac{DT_a}{a} \quad (3)$$

Onde  $C = \varepsilon \tau$ ,  $D = (1 - \tau)[1 + (1 - \varepsilon)\tau]$ ,  $a = -67,3553$ ,  $b = 0,4586$ , e onde  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície,  $\tau$  é a transmissividade atmosférica,  $T_b$  é a temperatura de brilho e  $T_a$  representa a temperatura média da atmosfera dada, em clima tropical, por:

$$T_a = 17.9769 + 0,91715 T_0 \quad (4)$$

Sendo  $T_0$  a temperatura do ar próximo à superfície. A transmissividade ( $\tau$ ) atmosférica pode ser estimada por meio do conteúdo médio de vapor de água na atmosfera ( $w$ ) de acordo com,  $\tau = 1,031412 - 0,11536w$ . Para esse trabalho, o conteúdo de vapor de água ( $\text{g cm}^{-2}$ ) foi estimado por meio do produto MOD05-MODIS/Terra.

**2.7 Avaliação da Temperatura de Superfície do IRMSS** – A imagem de temperatura de superfície do IRMSS foi reamostrada utilizando o interpolador vizinho mais próximo para a mesma resolução da imagem MODIS (1 km). Este procedimento foi necessário para que as amostras de temperatura fossem realizadas no mesmo pixel das duas imagens. Assim, pixels das cenas IRMSS-CBERS-2 e MODIS/Terra dos rios Amazonas e Tapajós foram selecionados para as amostragens de temperatura de superfície. Essas temperaturas foram amostradas de forma aleatória ao longo e no centro dos rios (86 pixels amostrados no rio Amazonas e 60 no rio Tapajós) para evitar amostragem de pixels contaminados com pelo efeito de borda. Foi então realizada uma análise de correlação linear de Pearson entre a temperatura de superfície do canal termal IRMSS-CBERS-2 e a temperatura obtida por meio do MODIS/Terra.

### 3. Resultados e Discussão

No processo de estimativa da temperatura de superfície ( $T_s$ ) por meio do IRMSS conforme equação 3, ocorre uma subtração da radiância devido a absorção do vapor d'água na atmosfera (Figura 2). O dado de vapor d'água para o dia da passagem do satélite na área em estudo obtido por meio do MODIS/Terra (produto MOD05) mostrou um valor de  $4,1 \text{ g cm}^{-2}$  na atmosfera.

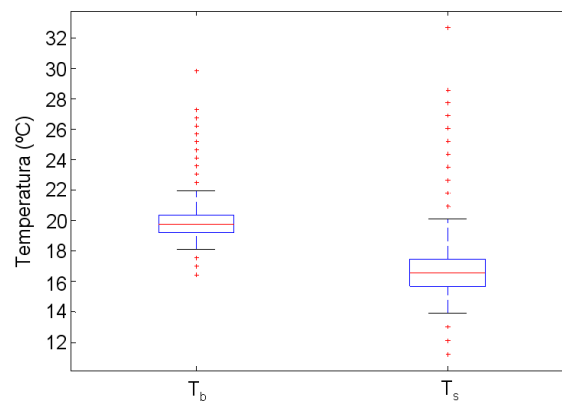


Figura 2: Box-plot da temperatura de brilho ( $T_b$ ) e temperatura de superfície ( $T_s$ ).

A temperatura de brilho na água dos rios em análise apresentou uma mediana de  $20^\circ\text{C}$ , valor mínimo de  $18^\circ\text{C}$  e máximo de  $22^\circ\text{C}$ ; já a temperatura de superfície apresentou uma mediana de  $16^\circ\text{C}$ , com mínimo e máximo de  $14$  e  $20^\circ\text{C}$ , respectivamente. A figura 2 mostra a presença de *outliers*, causados por presença de ruídos na cena IRMSS. A aplicação do método proposto para estimar a temperatura de superfície por meio de cenas IRMSS-CBERS-2 mostrou que estas possuem problemas radiométricos que dificultam até mesmo a análise qualitativa. A figura 3(a) mostra a imagem temperatura de superfície para o IRMSS e a 3(b) mostra a do MODIS. A imagem IRMSS mostra uma variação horizontal de temperatura com mudanças bruscas de temperatura de uma localidade para outra próxima. Já a cena MODIS mostra que esta variação de temperatura é suave, sem mudanças bruscas. De acordo com Henderson-Sellers (1986) devido ao alto calor específico da água ocorrem mudanças apenas gradativas da temperatura, salvo em caso de regiões frontais ou de eventos atmosféricos importantes, como a passagem de frentes frias, o que não é o caso da Amazônia.

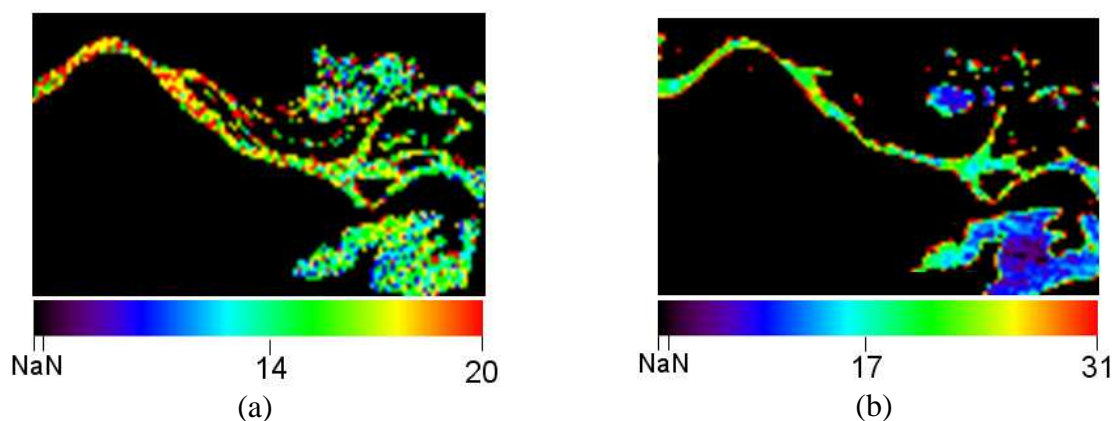


Figura 3: Temperatura de superfície (°C) estimada pelo IRMSS-CBERS-2 (a) e pelo MODIS/Terra (b).

Teoricamente a variação de temperatura apresentada na imagem MODIS é mais coerente, pois o rio Amazonas possui maior quantidade de partículas em suspensão o que segundo Henderson-Sellers (1986) aumentaria o poder de absorção da radiação solar, acumulando calor. Ao contrário, o rio Tapajós considerado como um rio de águas claras, com baixa concentração de partículas em suspensão absorveria menor quantidade de radiação, conseqüentemente menor quantidade de calor seria dissipada, sendo sua água pouco mais fria que a do Amazonas. Na imagem temperatura do IRMSS foi observado o rio Amazonas mais quente do que o Tapajós, entretanto, ocorrem variações bruscas de um pixel para outro nos dois rios. A análise de correlação confirma a hipótese de que devido aos problemas radiométricos do canal termal do IRMSS a análise quantitativa também fica prejudicada. A figura 4(a) mostra a correlação entre a temperatura estimada pelo IRMSS e o MODIS para o rio Amazonas e a 4(b) para o rio Tapajós.

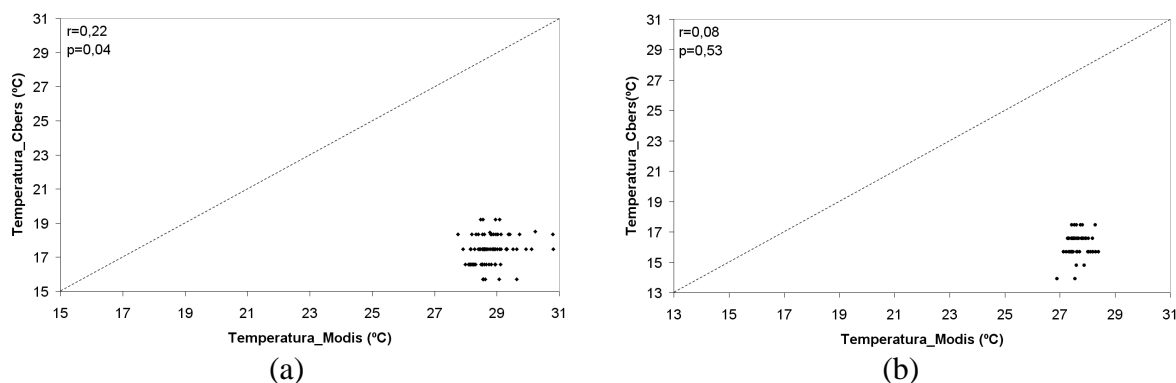


Figura 4: Análise de correlação entre a temperatura de superfície ( $T_s$ ) estimada pelo IRMSS-CBERS-2 e o sensor MODIS/Terra: (a) Rio Amazonas e (b) Rio Tapajós.

Os resultados mostram que não houve correlação significativa entre a temperatura de superfície do CBERS e do MODIS. Para o rio Amazonas a correlação foi de  $r=0,22$  ( $\rho=0,04$ ) com erro médio de  $11,40^\circ\text{C}$ . Para o Tapajós o  $r=0,08$  ( $\rho=0,53$ ) com erro médio de  $11,44^\circ\text{C}$ . A figura 5 mostra que para o MODIS a mediana foi de  $\sim 24^\circ\text{C}$  e para o IRMSS de  $\sim 17^\circ\text{C}$  para o rio Amazonas; para o rio Tapajós foi de  $\sim 27,6^\circ\text{C}$  e  $\sim 16,3^\circ\text{C}$  para o MODIS e IRMSS, respectivamente. Apesar do resultado apresentado, alguns pontos devem ser ponderados: (i) o coeficiente de calibração utilizado foi aquele preliminar, obtido no lago Qinghai (China) por Zhang et al. (2005), o qual é determinante para a obtenção da  $T_b$  e da  $T_s$ ; (ii) resta saber qual o papel da atmosfera na estimativa do coeficiente de calibração realizado

por Zhang et al. (2005) uma vez que a transmitância da atmosfera naquela localidade se espera ser sensivelmente diferente da presente na Amazônia; (iii) a presença de ruídos em toda a cena IRMSS também contribui para os erros apresentados na figura 4 e destacados na figura 5.

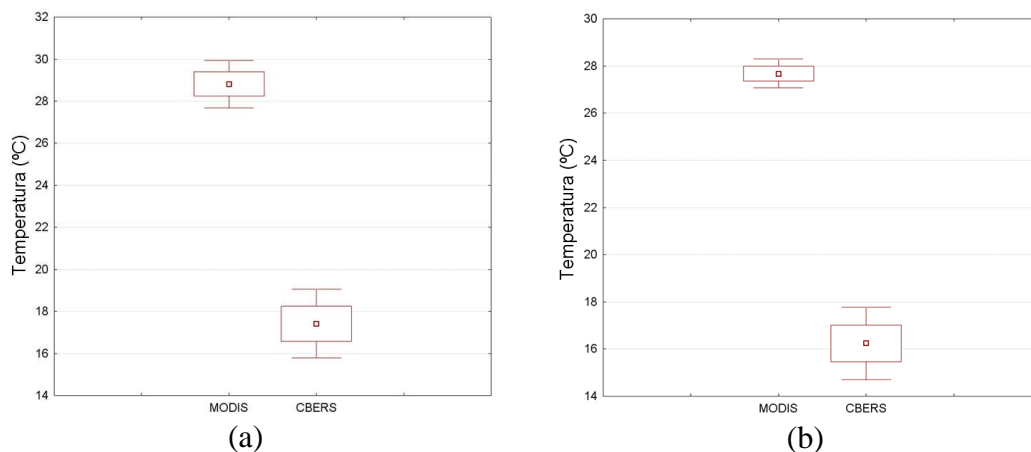


Figura 5: Box-plot das temperaturas de superfície (°C) entre o IRMSS e o MODIS: (a) rio Amazonas e (b) rio Tapajós.

Uma análise de sensibilidade realizada com os resultados obtidos neste estudo mostrou que o ganho do coeficiente de calibração proposto por Zhang et al. (2005) deveria ser pelo menos 10% maior para atender as  $T_s$  encontradas no sensor MODIS. Talvez uma saída para o problema fosse a realização de uma calibração cruzada (Chander et al., 2004) com o sensor ETM+-Landsat-7, pois este possui a mesma largura de banda do canal termal do IRMSS-CBERS-2 (10,40-12,50  $\mu m$ ).

Mesmo sendo esta uma avaliação preliminar, os resultados obtidos indicam que muito ainda precisa ser realizado para o uso dos dados IRMSS-CBERS-2 operacionalmente para a geração da  $T_b$  ou da  $T_s$ . O CBERS-2B, satélite sucessor do CBERS-2, não possui o canal termal, pois este foi substituído pela câmera de alta resolução HRC (Câmera Pancromática de Alta Resolução). No entanto o CBERS-3 voltará a ter o canal termal. Este trabalho então chama a atenção para a necessidade de o canal termal do CBERS-3 possuir uma melhor calibração radiométrica além de enfatizar a importância dos parâmetros de calibração (a serem obtidos antes do lançamento do satélite) deste canal para seu uso operacional.

Sabendo da importância da calibração antes do lançamento Ponzoni e Albuquerque (2008) realizaram a calibração absoluta da câmara CCD-CBERS-2B, demonstrando a disposição e a possibilidade de que o canal termal do CBERS-3 também tenha a calibração antes do lançamento.

#### 4. Conclusão

O presente artigo teve como objetivo avaliar o potencial do canal termal do IRMSS-CBERS-2 em estimar a temperatura de superfície ( $T_s$ ). Os resultados obtidos indicam que atenção especial deva ser dada nas etapas de calibração para que este produto possa se tornar operacional. Apesar dos resultados apresentados não serem satisfatórios, se o canal IRMSS for devidamente calibrado e as cenas forem processadas de forma a minimizar a presença de ruídos, este sensor pode vir a ter potencial no estudo da temperatura de superfície.

## Referências

- Alcântara, E.H.; Stech, J.L.; Novo, E.M.L.M.; Shimabukuro, Y.E.; Barbosa, C.C.F. Turbidity in the Amazon Floodplain Assessed Through a Spatial Regression Model Applied to Fraction Images Derived From MODIS/Terra. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46, n. 10, p. 2895-2905. 2008.
- Chander, G.; Markham, B. 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. 2003.
- Chander, G.; Meyer, D.J.; Helder, D.L. Cross calibration of the Landsat-7 ETM+ and EO-1 ALI sensor. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 42, n. 12, p. 2821-2831. 2004.
- Epiphanyo, J. C. N. ; Soares, J. V. ; Ferreira, H. ; Câmara, G. CBERS - The Chinese-Brazilian Earth Resources Satellite Programme. In: Nicklin, S.; Cornwell, B.; Griffiths, J.. (Org.). **The Full Picture**. Geneva: GEO Secretariat, p. 116-117. 2007.
- Hao, X.; Qu, J.J.; Hauss, B.; Wang, C. A high-performance approach for brightness temperature inversion. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 21-22, p. 4733-4743. 2007.
- Henderson-Sellers, B. Calculating the Surface Energy Balance for Lake and Reservoir Modeling: A Review. **Reviews of Geophysics**, v. 24, n. 3, p. 625-649. 1986.
- Jiménez-Muñoz, J.C.; Sobrino, J.A. A Generalized Single-Channel Method for Retrieving Land Surface Temperature from Remote Sensing Data. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. D22, p. 1-9. 2003.
- Junk, W.J. **The Central Amazon Floodplain: ecology of a pulsing system**. Ecological Studies, v. 126. Springer Verlag, Berlin, Germany. p. 525, 1997.
- Mao, K.B.; Qin, Z.H.; Shi, J.C.; Gong, P. A practical split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from MODIS data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 15, p. 3181-3204. 2004.
- Ponzoni, F.J.; Zullo-Junior, J.; Lamparelli, R.A.C. In-flight absolute calibration of the CBERS-2 IRMSS sensor data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 4, p. 799-804. 2006.
- Ponzoni, F.J.; Albuquerque, B.F. Pre-Launch Absolute Calibration of CCD/CBERS-2B Sensor. **Sensors**, v. 8, n. 10, p. 6557-6565. 2008.
- Qin, Z., Karnieli, A.; Berliner, P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel–Egypt border region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 18, p. 3719–3746. 2001.
- Sobrino, J.A.; Li, Z.L.; Stoll, M.P.; Becker, F. Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 11, p. 2089-2114. 1996.
- Sobrino, J.A.; Jiménez-Muñoz, J.C; Paolini, L. Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 4, p. 434–440. 2004.
- Souza, J.D; Silva, B.B. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM-Landsat 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 349-358. 2005.
- Stech, J. L. ; Lima, I. B. T.; Novo, E. M. L.; Assireu, A. T. ; Lorenzetti, J. A. Telemetric monitoring system for ecohydrology applications in aquatic environments. **Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 29, p. 1747-1750, 2006.
- Sun, D.; Pinker, R.T. Estimation of land surface temperature from Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES-8). **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. D11. 2003
- Wan Z.; Zhang Y.; Zhang Q.; Li Z.-L. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 163-180, 2002.
- Zhang, Y.; Gu, X.; Yu, T.; Li, X.; Li, X. In-flight method for CBERS-2 IRMSS thermal channel absolute radiometric calibration at Lake Qinghai (China). **Proceedings...IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**, July 25-29 Seoul, Korea. 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10226/32597/01526463.pdf?arnumber=1526463>>. Acesso em: 01 jun. 2007.