

Calibração do sensor CCD-CBERS II com dados do ASTER¹

Mauro Antonio Homem Antunes²
João Batista Tavares Júnior^{2,3}

¹ Apoio para este Projeto através da FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ
IT/Departamento de Engenharia
Br 465, km 7, 23890-000 - Seropédica - RJ, Brasil
mantunes@ufrj.br

³ Bolsista de Iniciação Científica do CNPq, curso de Engenharia de Agrimensura

Abstract. Remote sensor calibration provides the means to obtain physical measurements of the surface as reflectance, important for surface parameter retrieval from satellite images. Cross calibration is a method of obtaining calibration coefficients of remote sensors from other calibrated sensor. The objective of this paper is to calibrate the bands two, three and four of the CCD onboard of CBERS II satellite through surface radiances obtained from ASTER. Two images from CCD and three from ASTER collected 61 days apart at most were used in this research. CCD DN images were corrected for atmospheric effects and recorded as ground DNs. Small areas of ASTER atmospherically corrected surface radiance images were transformed into ground reflectance. These reflectances were used to calculate CCD radiances at satellite level using the 6S code. VVD simulated radiance values were plotted against DNs in order to obtain the calibration coefficients for bands 2, 3 and 4 of CCD. The chosen areas are from large roofs of buildings, deep water, vegetation and airport pavement. The results of this research are the calibration coefficients for three of the 5 bands of CCD-CBERS. It is recommended that these coefficients be used to calculate apparent reflectance and ground reflectance of the sensor. Further studies are needed to improve sensor performance and validation.

Palavras-chave: Sensor calibration, radiance, surface reflectance, calibração de sensor, radiância, reflectância da superfície.

1. Introdução

O sensoriamento remoto tem sido utilizado para a caracterização de mudanças na superfície, para a comparação do estado de alvos em diferentes épocas e em diferentes localizações e para a determinação de parâmetros da superfície com base em modelos que usam as medidas de radiação refletida pela superfície. Entretanto, esta utilização é limitada pela correta calibração e validação dos sensores. Assim, calibração e a validação têm sido os primordiais para as medidas obtidas de satélites e as determinações de parâmetros da superfície através das imagens de satélites (Teillet et al., 2001b).

A utilização de níveis de cinza sem significado físico está sujeita aos efeitos das características do sensor e às características dos alvos e da atmosfera. A utilização da radiância não é aconselhável por estar sujeita às condições da iluminação no momento da tomada da imagem, como por exemplo distância sol-terra, ângulo de iluminação, atmosfera e ângulo sólido do sensor. Reflectância planetária (ou aparente) é limitada pelas características da atmosfera. Para a comparação entre alvos imageados em diferentes épocas e localidades e mesmo para comparar alvos imageados por diferentes sensores, estes devem ter suas imagens transformadas para reflectância da superfície, uma vez que esta é uma propriedade do alvo e que pode ser comparada para a verificação de diferenças e para a modelagem de parâmetros da superfície. A reflectância tem variações em resposta a diferentes condições de iluminação, a diferenças na umidade da superfície e na distribuição dos elementos da superfície.

Sensores imageadores são calibrados em laboratório antes de serem lançados (Slater et al, 2001), a fim de definir os coeficientes a serem utilizados nas transformações para obter números digitais proporcionais a grandezas físicas por ocasião da transformação analógico-digital. No entanto, esta calibração vai perdendo validade à medida que o tempo passa, havendo assim a necessidade de se calibrar o sensor em órbita.

2. Objetivo

O objetivo desta pesquisa é gerar os coeficientes de calibração do sensor CCD-CBERS II através de dados de reflectância da superfície obtidos do sensor ASTER e avaliar a calibração existente.

3. Teoria

Para a calibração de sensores remotos podem ser utilizados os seguintes métodos (Dingirard e Slater, 1999):

- Em superfície antes do lançamento;
- Pós-lançamento, a bordo do satélite;
- Métodos indiretos utilizando imagens da superfície obtidos por outros sensores.

A primeira calibração de sensores imageadores ocorre em laboratório antes mesmo de seu lançamento. Estes dados são inseridos no sistema de transformação analógico-digital e são também utilizados pelos usuários para transformar as imagens em grandezas físicas. Depois do lançamento do sensor, na fase de validação dos dados são feitas avaliações para verificar se as imagens obtidas através dos coeficientes da calibração de laboratório se mantêm. Caso sejam encontrados erros na calibração, é realizada uma nova calibração com o sensor em órbita. A calibração em órbita pode ser feita através de lâmpadas padrão, através de medidas de radiação solar (Slater et al, 2001) ou através de medidas de reflectância na superfície. A calibração através de outros sensores tem sido utilizada na literatura para a calibração de vários sensores (Thome, 2001, Hu et al, 2001, Teillet et al, 2001a).

Embora os erros possam chegar até a $\pm 6\%$ (Teillet et al, 2001b), este método é de fácil implementação e permite a utilização de imagens já coletadas pelo sensor a ser calibrado e pelo sensor em que a calibração vai se basear. Uma desvantagem do método é a dificuldade de se obter imagens em um curto espaço de tempo e sob as mesmas condições da superfície, de iluminação e de atmosfera.

A calibração consiste em achar os coeficientes que determinarão a transformação dos níveis de cinza (NC) da imagem em radiância. Esta transformação de níveis de cinza em radiância para uma dada banda (L_λ) de uma imagem é dada por:

$$L_\lambda = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{NC_{\max} - NC_{\min}} (NC - NC_{\min}) + L_{\min}, \quad (1)$$

onde L_{\max} e L_{\min} são a radiância máxima e mínima expressas em $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ para o sensor e banda em questão e NC_{\max} e NC_{\min} são o nível de cinza máximo e mínimo utilizados na conversão analógico-digital. Para imagens de 8 bits estes são geralmente 255 e 0.

A reflectância planetária ou reflectância aparente (no satélite) é calculada a partir da radiância utilizando a seguinte fórmula:

$$\rho_\lambda = \frac{\pi L_\lambda d^2}{ESol_\lambda \cos \theta_s}, \quad (2)$$

onde:

π = Ângulo sólido do hemisfério projetado (sr);

ρ_λ = Reflectância planetária ao nível do satélite;

L_λ = Radiância espectral na abertura do sensor em $W\ sr^{-1}\ m^{-2}\ \mu m^{-1}$;

d = Distância do sol à terra em unidades astronômicas;

$ESol_\lambda$ = Irradiância solar média espectral fora da atmosfera em $W\ m^{-2}\ \mu m^{-1}$;

θ_S = Zênite solar no pixel da imagem em questão. Para simplificação em geral utiliza-se o zênite solar do centro da imagem.

Se L_{min} é considerado igual a zero e NC_{min} é zero, a radiância se reduz a:

$$L_\lambda = \frac{L_{max}}{NC_{max}} NC \quad (3)$$

Para o CCD-CBERS II os coeficientes de calibração publicados (CCn) e que serão avaliados no cálculo da reflectância, representam a razão entre NC_{max} e L_{max} , sendo então a radiância calculada por:

$$L_\lambda = \frac{NC}{CCn} \quad (4)$$

A equação acima assume que L_{min} é igual a zero e que a radiância zero equivale ao nível de cinza zero.

4. Sensores CCD-CBERS II e ASTER

O programa CBERS (China Brazil Earth Resources Satellite) é uma parceria entre China e Brasil com a proposta de lançar uma série de satélites. Este programa tem uma função estratégica para o país uma vez que o programa Landsat pode se tornar parcialmente ou inteiramente comercial no futuro. Lançado em 2003, o satélite CBERS II tem uma câmara CCD multiespectral, uma câmara infravermelha de varredura (IRMSS) e uma câmara de ângulo de visada largo (WFI).

O sensor ASTER foi desenvolvido no Japão e lançado em dezembro de 1999 a bordo do satélite Terra da NASA. Este sensor contém uma câmara no visível e infravermelho próximo com possibilidade de estereoscopia ao longo da órbita e outras câmaras com aplicações específicas.

As características do sensor CCD-CBERS II e do ASTER VNIR (visível e infravermelho próximo) estão na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Características do sensor CCD-CBERS II e do ASTER. As bandas em destaque são as utilizadas neste trabalho

Região do espectro	CCD-CBERS			ASTER VNIR		
	Banda	Faixa	Resolução espacial	Banda	Faixa	Resolução espacial
Azul	1	0,45 - 0,52 μm	20 m			
Verde	2	0,52 - 0,59 μm	20 m	1	0,52 – 0,60 μm	~15 m
Vermelho	3	0,63 - 0,69 μm	20 m	2	0,63 – 0,69 μm	~15 m
IVP	4	0,77 - 0,89 μm	20 m	3N	0,78 – 0,86 μm	~15 m
Pan	Pan	0,51 - 0,73 μm	20 m			
IVP				3B	0,78 – 0,86 μm	~15 m

Na **Tabela 1** as bandas em destaque são aquelas utilizadas no trabalho. Neste caso não foi possível fazer uma avaliação da calibração da Banda 1 do CCD-CBERS II porque não existe banda equivalente na região do azul do espectro no sensor ASTER.

5. Área de Estudo

A área de estudo está localizada no estado do Rio de Janeiro entre as coordenadas O 43° 45' e O 43° 10' e S 22° 40' e S 23° 10'. Esta área foi escolhida por ter imagens do CCD-CBERS II e do ASTER com pequena diferença entre as datas de coleta, e também por conterem áreas urbanas onde grandes áreas construídas podem ser encontradas. Estas áreas têm uma baixa variação de reflectância e em um curto período podem ser consideradas de reflectância constante e por isso foram escolhidas para este trabalho. As características das cenas utilizadas são mostradas na **Tabela 2**.

Tabela 2– Imagens utilizadas na pesquisa.

	CCD-CBERS II		ASTER		
Cena	151_125	151_126	(1)*	(2)*	(3)*
Data	10-07-2004	10-07-2004	02-09-2004	09-09-2004	09-09-2004
Hora GMT	13:02:22	13:02:37	13:08:45	13:14:47	13:14:57
Lat. (centro)	-22,3737°	-23,2662°	-22,9933°	-22,0388°	-23,3778°
Lon. (centro)	-43,4288°	-43,6480°	-43,3978°	-43,9952°	-43,9220°
Zênite solar	52,84°	53,69°	40,06°	36,65°	36,95°
Azim. solar	33,95°	34,21°	42,85°	43,86°	43,45°

*Número de cena arbitrário usado neste trabalho.

Foram selecionadas 9 áreas em ambas imagens contendo um número de pixels que fossem uniformes em ambas imagens. A seleção destas áreas considerou a uniformidade das mesmas em ambas imagens e a dimensão desta área uniforme. Apenas áreas uniformes em ambas cenas foram utilizadas e uma borda foi deixada para evitar a contaminação destas por pixels vizinhos. Estas áreas correspondem a áreas uniformes de eucalipto, água de lagoa, água marítima, pavimento de pista de aeroporto, telhado de área industrial, telhado de aeroporto e área alagadiça.

6. Metodologia

As imagens CCD-CBERS foram transformadas de número digital (ND) para radiância e depois para reflectância, depois foram corrigidas para os efeitos da atmosfera com o modelo 6S (Vermote et al, 1997, Antunes et al, 2003) e finalmente retornadas para ND da superfície, ou seja número digital corrigido para a atmosfera. Para a correção atmosférica foi utilizado o modelo tropical de atmosfera gasosa e continental para os aerossóis. A concentração de aerossóis foi obtida através de uma visibilidade de 16 km.

As imagens ASTER em radiância da superfície em 16 bits foram processadas para reflectância da superfície ($\rho_\lambda(\text{superfície})$) através da seguinte equação:

$$\rho_\lambda(\text{superfície}) = \frac{\pi L_\lambda(\text{superfície})}{E_\lambda(\text{superfície})} \quad (5)$$

onde $L_\lambda(\text{superfície})$ é a radiância na superfície para o ASTER e $E_\lambda(\text{superfície})$ a irradiância na superfície para as bandas do sensor ASTER. A irradiância da superfície foi calculada através do 6S adaptado para o ASTER utilizando a mesma atmosfera utilizada para o CCD-CBERS,

com um modelo tropical de atmosfera gasosa e continental para os aerossóis, sendo a visibilidade de 16 km.

Os valores de reflectância da superfície calculados através das imagens ASTER foram então utilizados para calcular a reflectância planetária ($\rho_{\lambda}(\text{sat.})$) ao nível de satélite nas bandas do CCD para a data da imagem CCD. A atmosfera foi adicionada aos valores de reflectância através do código 6S (Vermote et al., 1997). A radiância ao nível de satélite foi calculada através da seguinte equação:

$$L_{\lambda}(\text{sat.})(\text{CCD}) = \frac{\rho_{\lambda}(\text{sat.}) E_{\lambda}(\text{CCD})}{\pi} \quad (6)$$

Onde E_{λ} é a irradiância no topo da atmosfera para as bandas do CCD-CBERS. Os dados de radiância ($L_{\lambda}(\text{sat.})(\text{CCD})$) foram utilizados juntamente com os dados de níveis de cinza (NC) da imagem CCD para a obtenção de L_{max} e L_{min} , assumindo NC_{max} e NC_{min} serem iguais a 255 e 0 respectivamente. Esta transformação consiste na obtenção de valores de radiância e reflectância planetária aparente (reflectância da superfície mais atmosfera) e escalonada em níveis de cinza de acordo com o número de bits da imagem.

7. Resultados e Discussão

A **Tabela 3** abaixo mostra os coeficientes obtidos através da calibração do sensor CCD em comparação com aqueles fornecidos para as imagens CCD CBERS e a **Figura 1** mostra o resultado da calibração do sensor CCD com imagens do sensor ASTER, para as bandas 2, 3 e 4. Analisando-se a **Tabela 3** e os gráficos da **Figura 1** observa-se que existe uma alta correlação entre os dados de radiância e os dados de NC, excepcionalmente para a Banda 2. Esta correlação mostra que apesar da diferença de data, os alvos escolhidos tiveram pouca variação na reflectância ao longo dos dias que separam as imagens dos dois sensores.

Tabela 3 – Resultado da calibração do sensor CCD-CBERS com dados do ASTER e calibração fornecida para o sensor.

Banda	L_{max}	L_{min}	NC_{max}	NC_{min}
Resultado deste trabalho:				
Banda 2	225,32	-3,42	255	0
Banda 3	471,75	-0,54	255	0
Banda 4	177,83	2,55	255	0
Calibração fornecida:				
Banda 2	132,12	0,00		
Banda 3	220,90	0,00		
Banda 4	119,89	0,00		

A faixa de valores de radiância a que o sensor é sensível é bem maior do que aquela que aparenta nos dados publicados. Isto pode ser devido a uma expectativa de que o sensor fosse ter respostas a uma larga faixa valores de radiância mas que pode comprometer o desempenho deste se esta faixa não corresponde a valores físicos possíveis nas condições em que o sensor opera. Isso significa que o sensor pode estar calibrado para operar em uma faixa ampla demais sem necessidade. A consequência disso é que as imagens produzidas podem ter uma distribuição muito estreita dos valores de níveis de cinza e portanto com baixo contraste.

A solução para este problema é uma simulação dos valores possíveis de radiância para o sensor com base na abertura do sistema ótico, na função de filtro do mesmo e em simulações da resposta de diferentes superfícies refletoras. Uma outra solução é a utilização

de ganhos diferentes para diferentes regiões do globo e para diferentes ângulos solares como usado pelo sistema de geração de imagens do ETM+ Landsat 7 (NASA, 2003).

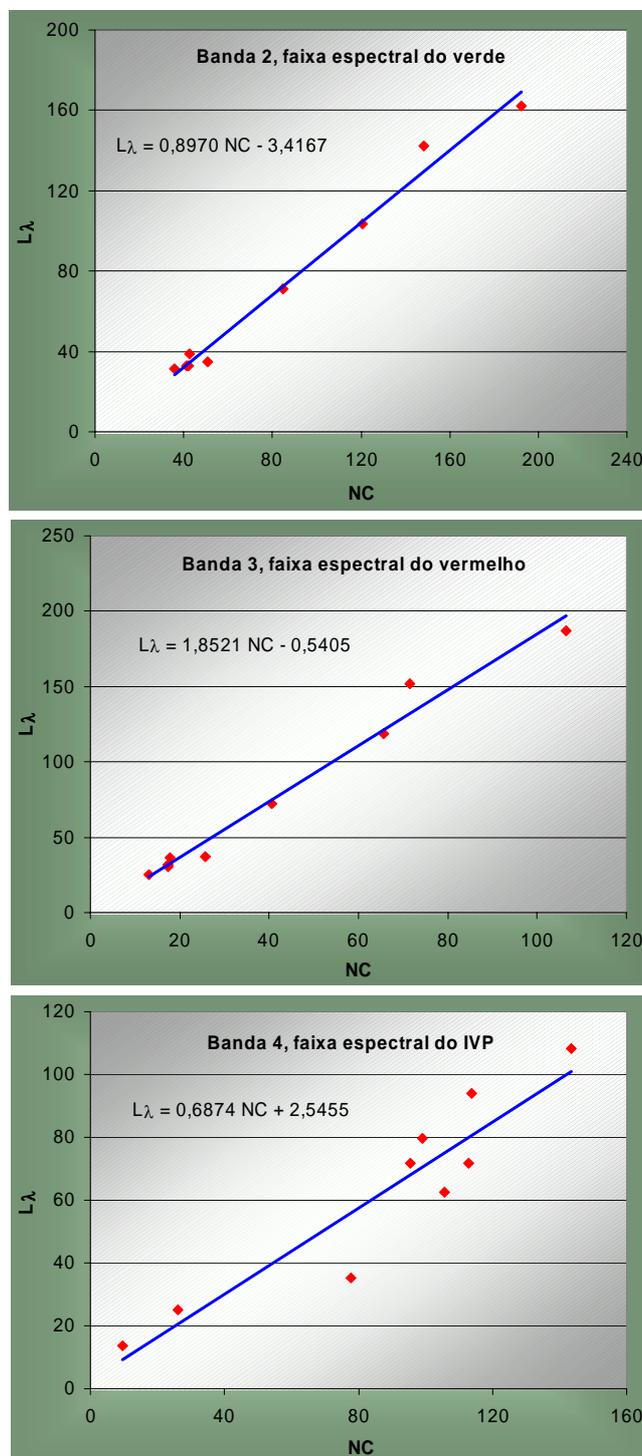


Figura 1 – Calibração para determinação da radiância do sensor CCD-CBERS com dados do ASTER.

A estratégia a ser adotada para a definição da radiância mínima e máxima a que o sensor vai responder deve ser feita na fase de engenharia do satélite. No entanto, se o sensor já foi lançado devem ser feitos estudos de calibração para a determinação de meios para melhorar o

desempenho do sistema mesmo depois de lançado. Uma opção é a alteração dos valores de ganho e de *offset* aplicados aos dados na transformação analógico-digital.

8. Conclusões e Recomendações

Os dados de calibração obtidos neste trabalho permitem uma utilização dos valores de nível de cinza obtidos com o sensor CCD-CBERS para o cálculo de radiância e conseqüentemente reflectância ao nível do satélite. Isso permite não somente o trabalho com dados transformados em grandezas físicas ao nível de satélite mas também abre caminho para a aplicação de métodos para a correção atmosférica.

Recomenda-se que sejam feitos mais estudos para a determinação dos coeficientes de calibração com um número mais amplo de tipos de superfícies e com um número mais amplo de situações de iluminação. É preferível que a calibração seja realizada com dados de reflectância aparente. Na falta de imagens de sensores calibrados com uma diferença mínima de dias na tomada das imagens, a solução é o trabalho com dados corrigidos para a superfície (sem efeitos da atmosfera) e que sejam de alvos com pouca variabilidade de reflectância ao longo dos dias que separam as imagens.

Referências

- Antunes, M.A.H.; Freire, R.M.B.; Botelho, A.S.; Toniolli, L.H. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o Modelo 6S. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Belo Horizonte, 2003. **Anais...** XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. 2003.
- Dinguirard, M., Slater, P. N. Calibration of space-multispectral imaging sensors: a review. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, n. 3, p. 194-205, 1999.
- Hu, C., Muller-Karger, F. E., Andrefouet, S., Carder, K. L. Atmospheric correction and cross-calibration of LANDSAT-7/ETM+ imagery over aquatic environments: A multiplatform approach using SeaWiFS/MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 78, p. 99– 107, 2001.
- NASA. **Landsat 7 Science Data Users Handbook**. Online. Disponível em <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html>. Acesso em 4 de julho de 2003.
- Slater, P. N., Biggar S. F., Palmer, J. M., Thome, K. J., 2001, Unified approach to absolute radiometric calibration in the solar-reflective range. **Remote Sensing of Environment**, 77, p. 293– 303, 2001.
- Teillet, P. M., Barker, J. L., Markham, B. L., Irish, R. R., Fedosejevs, G., Storey, J. C. Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets. **Remote Sensing of Environment**, v. 78, p. 39– 54, 2001a.
- Teillet, P. M., Fedosejevs, G., Gauthier, R. P., O'Neill, N. T., Thome, K. J., Biggar, S. F., Ripley, H., Meygret, A. A generalized approach to the vicarious calibration of multiple Earth observation sensors using hyperspectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, p. 304– 327, 2001b.
- Thome, K. J., Absolute radiometric calibration of Landsat 7 ETM+ using the reflectance-based method. **Remote Sensing of Environment**, v. 78, p. 27– 38, 2001.
- Vermote, E.F.; Tanré, D., Deuzé, J. L., Herman, M., Morcrette, J.-J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 35, n. 3, p. 675– 686, 1997.