Transformações radiométricas dos dados dos sensores do satélite CBERS-2

Flávio Jorge Ponzoni¹ Jurandir Zullo Junior² Rubens Augusto Camargo Lamparelli²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil flavio@dsr.inpe.br

² Universidade de Campinas - UNICAMP Centro de Estudos Meteorológicos e Climáticos Aplicados à Agricultura - CEPAGRI Cidade Universitária "Zeferino Vaz" 13083-970 - Campinas - SP {rubens, jurandir}@cpa.unicamp.br

Resumo. Serão apresentados os detalhes principais da calibração absoluta dos dados dos sensores colocados a bordo do satélite CBERS-2 visando a conversão dos números digitais das imagens geradas em valores físicos (Radiância e Reflectância aparente e de superfície). Serão ainda fornecidas informações sobre o potencial e limitações da utilização dos dados radiométricos das imagens, bem como detalhes sobre como proceder para acessar as imagens, dentro da política atual de disseminação de dados praticada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Palavras-chave: calibração absoluta, CBERS, transformações radiométricas

Abstract. The main aspects involved in the CBERS-2 sensors absolute calibration will be presented in order to inform how the digital numbers can be converted in physical values like radiance and reflectance (top-of-atmosphere and at the surface). The potential and the constrains of the converted data will be also presented as well as details about the procedures that should be followed by the user to get the CBERS-2 images from the Internet, considering the recent data policy adopted by INPE.

Key-words: absolute calibration, CBERS, radiometric conversions.

1. Introdução

As aplicações de dados de sensores remotamente situados (orbital e aéreo) incluem a quantificação de parâmetros geofísicos e biofísicos mediante o estabelecimento de correlações entre estes dados e aqueles radiométricos registrados em imagens geradas por esses sensores. Fica evidenciada, portanto, a necessidade de que os dados radiométricos gerados devem retratar, tanto fiel quanto possível, as propriedades espectrais/ radiométricas dos objetos em estudo, sendo necessária a constante aferição das sensibilidades dos detectores mediante algum procedimento de calibração.

Dentre os procedimentos de calibração de sensores, destacam-se a calibração antes do lançamento ou do vôo, na qual o equipamento é aferido ainda em laboratório; a calibração interna, a qual geralmente conta com fontes de radiação internas ao sensor, a partir das quais são comparados os valores de resposta dos detectores; e finalmente a calibração externa ou em vôo, na qual são utilizados objetos de referência localizados na superfície terrestre que apresentam características específicas. Esta última modalidade de calibração é considerada por Thome et al (1997) como a mais confiável, uma vez que o sensor é avaliado em condições normais de uso. Dentre as características ideais de uma superfície de calibração, Thome (2001) destacou as seguintes: a) a reflectância deve ser maior do que 30%, pois superfícies mais claras minimizam erros na determinação de valores de radiância devido ao espalhamento atmosférico; b) devem se localizar em regiões com altitude superior a 1000m devido à redução da interferência atmosférica; c) uniformidade radiométrica aliada às dimensões da superfície de forma a garantir um mínimo de contaminação subpixel; d) estabilidade radiométrica ao longo do tempo, aliada a baixos índices de cobertura de nuvens; e) isotropia para extensas regiões espectrais; f) uniformidade espectral e g) facilidade de acesso. Tais características restringem as superfícies de referência a regiões desérticas do planeta, destacando-se o deserto White Sands, no Novo México (EUA), o lago seco Rogers da Base Aérea Edward na Califórnia (EUA), o Lunar Lake e o Railroad Valley em Nevada (EUA), La Crau, localizado no sudeste da França, deserto de Gobi na Ásia, além de outras regiões.

Ponzoni *et al.* (2000) avaliaram a superfície do Salar de Uyuni, localizado na Bolívia, com vistas a considerá-la como referência em trabalhos de calibração de sensores orbitais. Os autores concluíram que a superfície do Salar apresenta algumas das características mencionadas, porém estas se restringem à região do visível, havendo comprometimentos para calibrações nas regiões do infravermelho próximo e infravermelho médio.

No âmbito da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), foi lançado o satélite de sensoriamento remoto ambiental CBERS-2 (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) em novembro de 2003. Desde então, imagens geradas por três diferentes sensores vêm sendo adquiridas com qualidades relativamente boas, colocando o país em uma condição privilegiada no contexto internacional no suprimento de dados orbitais, uma vez que outros programas importantes como os satélites da série Landsat, norte-americano, foi interrompido. Nesse sentido, é fundamental que haja investimentos no aprimoramento de metodologias, até então desconhecidas no Brasil, que visem avaliar a qualidade radiométrica dos dados gerados por esses sensores e por outros que futuramente serão desenvolvidos, sob pena de manter dependência permanente de instituições estrangeiras para acesso a dados radiométricos

confiáveis de sensores desenvolvidos em programas nacionais. Nesse sentido, foram empreendidos esforços para viabilizar a calibração absoluta dos dados dos três sensores colocados a bordo desse satélite, que implicou também na identificação de superfícies de referência localizadas em território nacional.

O objetivo desta palestra é apresentar, com o máximo de detalhes possível, todos os procedimentos adotados na calibração absoluta dos sensores do satélite CBERS-2, bem como apresentar alguns resultados preliminares da aplicação dos coeficientes determinados para cada sensor. Serão fornecidas ainda informações sobre como acessar os dados CBERS-2 na Internet.

2. Principais resultados

2.1 Calibração da câmera CCD

A **Tabela 1** apresenta os dados que serviram de base para o cálculo dos coeficientes de calibração para a câmera CCD.

CCD para a camp	banna de agosto	de 2004
Condiçõ	es geométricas	
	Data	16/08/2004
Tempo	Universal - H	13,72
Ângulo Zeni	tal Solar - θ_{sun}	44,45°
Ângulo Azimu	tal Solar - φ_{sun}	54,19°
Ângulo zenital	de visada - θ_{sat}	0,00°
Ângulo azimutal o	le visada - φ_{sat}	0,00°
	Pressão – P	
Te	mperatura – T	
Umidade	relativa – UR	
Descrição do	modelo atmosf	érico
Conteúd	o de água - U_w	$2,440 \text{ g/cm}^2$
Conteúdo de	e Ozônio - <i>Uoz</i>	248 Dobson
Ti	po de aerossol	Continental
Espessura ópti	ca a 550nm- $ au$	0.02693

Tabela 1.	Dados que foram	utilizados na de	eterminação do	os Coeficientes d	e Calibração da cân	nera
		CCD para a can	npanha de ago	osto de 2004		

Bandas da câmera CCD	CCD_1	CCD_2	CCD_3	CCD_4	CCD_Pan
Menores comprimentos de onda (µm)	0,450	0,520	0,630	0,770	0,510
Maiores comprimentos de onda (µm)	0,520	0,590	0,690	0,890	0,730
Transmitância total de gases - t_g	0,984	0,935	0,940	0,921	0,927
Irradiância no topo da atmosfera (W/m ² /µm)	1934,03	1787,10	1548,97	1069,21	1664,33
Irradiância na superfície (W/m ² /µm)	1215,29	1145,90	1021,67	702,97	1068,06
Reflectância de superfície - $ ho$	0,118	0,168	0,226	0,298	0,204
Reflectância aparente - ρ_{apa}	0,160	0,175	0,219	0,275	0,201
Radiância aparente - L_{sat} (W/m ² /sr/µm)	70,34	70,97	77,11	66,77	76,18
Número digital médio - ND _{med}	71	137	89	142	112
Coeficientes de calibração – CC	1,009	1,930	1,154	2,127	1,483

A **Tabela 2** apresenta os coeficientes de calibração determinados em missões de calibração pré-lançamento e aqueles determinados nesse trabalho.

Tabela 2. Coeficientes de calibração determinados nas campanhas de junho e de agosto, comparados com aqueles determinados em missões de calibração antes do lançamento.

	<i>CCD_1</i>	CCD_2	CCD_3	CCD_4	CCD_Pan
Pré	0,98	1,59	1,20	2,29	1,25
Agosto	1,009	1,930	1,154	2,127	1,483

Observa-se, portanto, que os coeficientes determinados em agosto apresentaram-se próximos àqueles determinados no pré-lançamento, indicando, ao menos preliminarmente, que estes coeficientes deveriam estar bem próximos de valores esperados.

Um segundo critério de avaliação adotado foi comparar os resultados aqui alcançados com aqueles alcançados por pesquisadores chineses que conduziram duas missões de calibração também em agosto de 2004 (nos dias 19 e 25). Segundo seus cálculos, os coeficientes de calibração determinados para a câmera CCD foram aqueles apresentados na **Tabela 3**.

Tabela 3. Coeficientes de calibração determinados por pesquisadores chineses em agosto de 2004.

	CCD_1	CCD_2	CCD_3	CCD_4
19 de agosto	0,9917	1,6761	1,0096	2,0613
25 de agosto	1,0292	1,7254	1,0356	2,1515

Obs.: não foram determinados coeficientes de calibração para a banda CCD_pan

Comparando-se então os coeficientes determinados aqui com aqueles determinados pelos chineses, observa-se que os valores estão relativamente próximos entre si, fortalecendo a hipótese de serem confiáveis.

Como terceiro critério de avaliação, optou-se por comparar as curvas espectrais das superfícies utilizadas na calibração obtidas a partir dos dados radiométricos coletados na superfície com aqueles oriundos da aplicação dos coeficientes sobre as imagens. A **Figura 1** apresenta curvas de FRB referentes à superfície de referência da Fazenda Santo Antonio (7) definidas a partir dos dados de campo (linha preta) e dos coeficientes de calibração de prélançamento (linha vermelha) e deste trabalho (linha azul).



Figura 1. Curvas espectrais referentes à campanha de agosto de um ponto da superfície de referência da Fazenda Santo Antonio (7).

Observa-se que a linha azul aproxima-se mais da linha preta, indicando que os valores de reflectância estimados pela aplicação dos coeficientes aqui determinados estão representando melhor o objeto em questão, quando comparado com a curva determinada mediante a aplicação dos coeficientes da missão de pré-lançamento. Atendo-se à linha azul, percebe-se que esta se encontra melhor representando a superfície em questão, uma vez que há quase que uma superposição entre elas. Um aspecto interessante dessa quase superposição é a aparente consistência na diferença entre os valores de FRB das duas curvas (preta e azul). Na região do visível, principalmente nas bandas CCD_1 e CCD_2, eram realmente esperados valores de FRB superiores em relação à verdade de campo (preta), uma vez que a linha azul representa valores de FRB aparentes, ou seja, ainda não descontado o efeito do espalhamento atmosférico. Para a região do infravermelho próximo (CCD_4), o inverso seria o esperado, ou seja, os valores de FRB aparente deveriam ser inferires aos FRB obtidos em campo devido ao efeito de absorção da radiação eletromagnética decorrente da influência atmosférica, o que de fato foi observado.

O modelo de correção atmosférica 5S foi adaptado para o processamento das imagens CCD, de forma a permitir a conversão das imagens originais (nível P2 disponibilizadas pelo INPE) em imagens de reflectância de superfície (sem o efeito da atmosfera). A **Figura 2** apresenta um gráfico representativo das mesmas curvas apresentadas na **Figura 1**, tendo sido adicionada mais uma curva agora referente aos valores de FRB corrigidos pelo modelo 5S.



Figura 2. Curvas espectrais referentes à campanha de agosto de um ponto da superfície de referência da Fazenda Santo Antonio (7), acrescentando a curva referente aos FRBs corrigidos pelo modelo 5S.

Observa-se, portanto, que os valores de FRB corrigidos do efeito da atmosfera (linha verde) tornaram-se muito similares àqueles determinados em campo (verdade de campo), o que é um indicativo que tanto os coeficientes de calibração quanto o modelo 5S permitem caracterizações espectrais fiéis de objetos.

2.2 Calibração da câmera IRMSS

A **Tabela 4** apresenta os dados que foram utilizados na determinação dos coeficientes de calibração da câmera IRMSS.

1 1 0				
Condições geométricas				
Data	16/08/2004			
Tempo Universal - <i>H</i>	12,75			
Ângulo Zenital Solar - θ_{sun}	44,45°			
Ângulo Azimutal Solar - φ_{sun}	54,19°			
Ângulo zenital de visada - θ_{sat}	0,00°			
Ângulo azimutal de visada - φ_{sat}	0,00°			
Pressão – P				
Temperatura – T				
Umidade relativa – UR				
Descrição do modelo atmosférico				
Conteúdo de água - U_w	$2,440 \text{ g/cm}^2$			
Conteúdo de Ozônio - U _{Oz}	248 Dobson			
Tipo de aerossol	Continental			
Espessura óptica a 550nm- $ au$	0,02693			

Tabela 4. Dados que foram utilizados na determinação dos Coeficientes de Calibração da câmen	ra
IRMSS para a campanha de agosto de 2004	

Bandas da câmera IRMSS	IRMSS_pan	IRMSS_2	IRMSS_3
Menores comprimentos de onda (µm)	0,400	1,440	1,965
Maiores comprimentos de onda (µm)	1,200	1,815	2,350
Transmitância total de gases - t_g	0,894	0,928	0,913
Irradiância no topo da atmosfera ($W/m^2/\mu m$)	1347,75	222,32	83,46
Irradiância na superfície (W/m ² /µm)	866,07	150,46	56,12
Reflectância de superfície - $ ho$	0,276	0,510	0,451
Reflectância aparente - ρ_{apa}	0,252	0,471	0,411
Radiância aparente - L_{sat} (W/m ² /sr/µm)	77,59	23,90	7,821
Número digital médio - ND _{med}	136	181	140
Coeficientes de calibração – CC	1,753	7,573	17,888

Infelizmente, para esta câmera não há qualquer dado pré-lançamento que possa ser comparado. Sendo assim, procurou-se aplicar tais coeficientes sobre as imagens aproveitando os dados de calibração da câmera CCD, imaginando a caracterização contínua da superfície de referência (realizada então pelas duas câmeras). A **Figura 3** apresenta um gráfico com dados das câmeras CCD e IRMSS conjuntamente referentes à superfície de referência caracterizada a partir das imagens de ambas. Nesta **Figura 3** encontram-se as curvas de FRB obtidas mediante dados de campo (Sup. Campo), mediante aplicação dos coeficientes de calibração resultando em FRBs aparentes (Aparente) e mediante a correção do efeito da atmosfera através da aplicação do modelo 5S (Sup. 5S).

Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro 2006, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.912-921.



Figura 3. Caracterização espectral da superfície de referência mediante imagens das câmeras CCD e IRMSS

Em uma primeira observação geral desse gráfico da **Figura 3**, é possível verificar que a forma típica da curva assemelha-se a de um solo arenoso. É possível ainda verificar que os valores de FRB aparente (Aparente) apresentam diferenciação coerente dos FRBs adquiridos em campo (Sup.Campo) em relação aos efeitos esperados da atmosfera (espelhamento na região do visível e absorção no infravermelho médio e próximo). A correção desses efeitos atmosféricos parece ter sido bem feita, uma vez que a aplicação do modelo 5S resultou na quase superposição com a curva de FRB obtidos mediante dados de campo (Sup.Campo).

Optando agora pela caracterização espectral de um ponto com cobertura vegetal, foram obtidas as curvas apresentadas na **Figura 4**.



Figura 4. Caracterização espectral mediante utilização dos dados das câmeras CCD e IRMSS.

Considerando que se trata de vegetação de cerrado e cujos dados foram extraídos de imagens do período seco do ano, a caracterização em questão parece consistente. Observa-se

que o efeito atmosférico aparentemente foi corrigido coerentemente nas três regiões espectrais, restando ainda estudos de avaliação e de validação desses dados para uma conclusão mais definitiva.

2.3 Calibração da câmera WFI

Os procedimentos aplicados nos cálculos dos coeficientes de calibração dos dados da câmera WFI foram idênticos aos já descritos para as demais câmeras, porém há de se considerar que a resolução espacial desta câmera WFI é de 260m e que a largura da faixa imageada é de 890 km, o que implica em limitações na correção atmosférica de suas imagens. Além desse limitante, há também de ser considerada a heterogeneidade de objetos existentes dentro de um pixel (260m), o que dificulta a correlação entre o ND e o valor de reflectância coletado em campo.

A **Tabela 5** apresenta os dados utilizados nos cálculos dos coeficientes de calibração dos dados da câmera WFI.

Condições geométricas		
Data	16/08/2004	
Tempo Universal - H	12,75	
Ângulo Zenital Solar - θ_{sun}	44,45°	
Ângulo Azimutal Solar - φ_{sun}	54,19°	
Ângulo zenital de visada - θ_{sat}	0,00°	
Ângulo azimutal de visada - φ_{sat}	0,00°	
Pressão – P		
Temperatura – T		
Umidade relativa – UR		
Descrição do modelo atmos	férico	
Conteúdo de água - U_w	$2,440 \text{ g/cm}^2$	
Conteúdo de Ozônio - Uoz	248 Dobson	
Tipo de aerossol	Continental	
Espessura óptica a 550nm- $ au$	0,02693	

Tabela 5. Dados que foram utilizados na determinação dos Coeficientes de Calibração da câmera WFIpara a campanha de agosto de 2004

Bandas da câmera WFI	WFI_1	WFI_2
Menores comprimentos de onda (µm)	0,600	0,730
Maiores comprimentos de onda (µm)	1,730	1,000
Transmitância total de gases - t_g	0,947	0,936
Irradiância no topo da atmosfera (W/m ² /µm)	1563,95	1068,25
Irradiância na superfície (W/m ² /µm)	1054,07	720,48
Reflectância de superfície - ρ	0,226	0,298
Reflectância aparente - ρ_{apa}	0,221	0,280
Radiância aparente - L_{sat} (W/m ² /sr/µm)	78,88	68,13
Número digital médio - ND _{med}	166	119
Coeficientes de calibração – CC	2,106	1,742

Também para essa câmera não foi possível a comparação desses coeficientes com aqueles determinados em missões de calibração antes do lançamento. A **Figura 5** apresenta um gráfico no qual podem ser observadas as linhas dos FRBs aparente (Aparente), de superfície

mediante dados de campo (Sup.Campo) e de superfície mediante aplicação do modelo de correção atmosférica 5S (Sup.5S).



Figura 5. Valores de FRB para a câmera WFI.

Devido à relativa pobreza de dados espectrais, é difícil concluir sobre a confiabilidade dos coeficientes determinados para essa câmera sem a condução de outros estudos de avaliação. Aparentemente os resultados parecem satisfatórios, mas necessitam de constante preocupação e acompanhamento.

3. Considerações finais

Os coeficientes de calibração calculados e apresentados aqui devem ser periodicamente revistos, uma vez que são previstas alterações nas sensibilidades dos detectores de todas as câmeras e consequentemente nos critérios atualmente adotados na calibração relativa que gera as imagens no nível P2 disponibilizadas para os usuários no Brasil.

De qualquer forma, os coeficientes aqui apresentados permitem a toda a comunidade de usuários brasileira a conversão dos NDs das imagens em valores físicos como reflectância (aparente ou de superfície) e radiância (aparente ou de superfície). Consideramos um grande avanço em se tratando de sensores pouco conhecidos e que as equipes responsáveis por esses procedimentos de calibração estarem ainda adquirindo conhecimento sobre como otimizar tais procedimentos.

4 Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar seus mais sinceros agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro ao trabalho, aos então alunos de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP), Sr. Júlio César Dalla Mora Esquerdo, Srta. Gláucia Ramirez, Sra. Liane Weber, à Pesquisadora Dra. Marina de Fátima Vilela do Centro de Pesquisas do Cerrado da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPAC/EMBRAPA) e à Dra. Angélica Giarolla, pesquisadora do CPTEC/INPE pelo apoio logístico e intelectual despendido.

Referências

Ponzoni, F.J.; Lamparelli, R.; Pellegrino, G.P; Zullo Junior, J. Evaluation of the Salar de Uyuni as radiometric calibration test site for satellite sensors. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol XXXIII, Part B1. XIXth ISPRS Congress Amsterdan 2000. 16-23/06/2000. p. 231-238.

Thome, K.J.; Crowther, B.G.; Biggar, S.F. Reflectance and irradiance-based calibration of Landsat 5 Thematic Mapper. Canadial Journal of Remote Sensing, 23(4): 309-317, 1997.

Thome, K.J. Absolute radiometric calibration of Landsat 7 ETM+ using the reflectance-based method. *Remote Sensing of Environment*, 78:27-38, 2001.