

Calibração absoluta da câmera CCD/CBERS-2

Flávio Jorge Ponzoni¹
Jurandir Zullo Junior²
Rubens Augusto Camargo Lamparelli²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Divisão de Sensoriamento Remoto
Avenida dos Astronautas, 1758 - 12227-010 – São José dos Campos - SP, Brasil
flavio@ltid.inpe.br

² Centro de Pesquisas Climáticas e Meteorológicas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Cidade Universitário “Zeferino Vaz” – 13083-970 – Campinas – SP, Brasil
jurandir, rubens@cpa.unicamp.br

Abstract. The success of any remote sensing project is directly related to the knowledge of both spectral and radiometric characteristics of the sensor from which the data will be available. The Brazilian remote sensing user's community has explored that relationship since the beginning of the nineties, also using TM as the main source of data, including several scientific agencies and universities. Since the CBERS-2 has been launched and the first CCD images have been presented in the INPE's home page at the Internet, users have asked information about how to convert the DN in physical data. There are many scientific tasks that depend on this information. This paper describes the main steps that were applied to calculate the in-flight absolute calibration coefficients for CCD sensor considering the reflectance-based method.

Palavras-chave: calibração absoluta, calibração de sensores, transformações radiométricas.

1. Introdução

O sucesso de toda e qualquer missão de sensoriamento remoto é dependente do grau de conhecimento e da forma como os dados de calibração dos sensores envolvidos são disponibilizados à comunidade de usuários. Um exemplo disso são os sensores colocados a bordo dos satélites Landsat, cuja freqüente atualização de seus dados de calibração, bem como a preocupação em sua divulgação, têm permitido aos usuários estabelecer correlações entre os parâmetros radiométricos determinados mediante a aplicação desses dados de calibração, e parâmetros biofísicos e geofísicos, incluindo, portanto abordagens quantitativas em detrimento à exclusividade daquelas de cunho mais qualitativo (mapeamentos, por exemplo).

Existem vários métodos que se destinam à determinação de coeficientes de calibração. Talvez o mais conhecido seja aquele denominado no método da reflectância, o qual considera valores médios de medidas de reflectância realizados em uma superfície de referência localizada na superfície da Terra, concomitantemente à passagem do satélite sobre ela.

Desde que o satélite CBERS-2 foi lançado, foram inúmeras as solicitações da comunidade de usuários no que se refere à aquisição dos dados de calibração dos três sensores disponibilizados a bordo (IRMSS, CCD e WFI) que lhe permitisse a conversão dos números digitais (NDs) das imagens em valores físicos como radiância e/ou reflectância.

O objetivo deste trabalho é apresentar resumidamente a metodologia envolvida no cálculo dos coeficientes de calibração absoluta da câmera CCD/CBERS-2, bem como os próprios coeficientes. Adicionalmente são apresentadas ainda algumas orientações importantes para garantir a conversão em questão de forma segura.

2. Material e Métodos

2.1 Selecionando uma superfície de referência

O primeiro passo para a realização de uma missão de calibração fundamentada no método da reflectância é a seleção de uma superfície de referência que apresente as características desejadas para que assim possa ser considerada. Scott et al (1996) enumeraram pelo menos oito aspectos que consideram importantes para que uma superfície seja considerada como referência em missões de calibração de sensores. Dentre elas destacam-se: ser plana, uniforme espectralmente em termos espaciais e temporais, ser isotrópica, estar localizada preferencialmente acima de 1000m de altitude, apresentar reflectância média ao longo da amplitude espectral de interesse em torno de 30% e ainda estar localizada em regiões com pouca incidência de nebulosidade.

No caso do território brasileiro, são poucas as superfícies que atendem todos os aspectos apresentados por esses autores, porém é possível identificar algumas superfícies destinadas a diferentes plantios agrícolas no oeste do Estado da Bahia que atendem parcialmente os principais quesitos. A Figura 1 apresenta uma fração de uma composição colorida elaborada com as imagens das bandas 2 (azul), 3 (verde) e 4 (vermelho) da câmera CCD/CBERS-2, na qual encontram-se assinaladas algumas das superfícies avaliadas nesse trabalho, destacando-se a superfície 2 que foi efetivamente utilizada para a missão de calibração.



Figura 1 – Composição colorida CCD/CBERS-2 (1B, 2G e 4R) com indicação das superfícies com potencial para serem consideradas como referência.

Conforme mencionado anteriormente, a superfície 2 foi a que apresentou as melhores características para ser considerada como referência em missões de calibração. Sendo assim, os procedimentos que serão descritos a seguir estarão restritos à essa superfície.

Foram realizadas 80 medidas radiométricas (que resultaram em valores de reflectância bidirecional de superfície) ao longo da maior extensão possível dessa superfície 2 no período de tempo compreendido entre 9:30 e 10:30hs com o objetivo de avaliar a homogeneidade espacial da superfície, mediante o cálculo de coeficientes de variação das médias das 80 medições radiométricas.. Outras medidas radiométricas foram realizadas em diferentes horários com o objetivo de verificar alguma tendência nos valores de reflectância em função da alteração do posicionamento solar, o que seria um indicativo de algum comprometimento da condição isotrópica da superfície.

2.2 Da missão de calibração

A missão de coleta de dados visando a efetiva calibração absoluta da câmera CCD/CBERS-2 envolveu basicamente dois tipos de medições: uma destinada à caracterização da atmosfera no momento da passagem do satélite, a qual foi realizada mediante a utilização de um fotômetro solar CIMEL 313 atuando em 4 faixas espectrais centradas respectivamente em 1,020 μm , 0,870 μm , 0,670 μm e 0,440 μm ; e outras medições semelhantes àquelas destinadas à avaliação da homogeneidade espectral e da isotropia, mas desta vez destinadas ao cálculo de um valor médio de reflectância que foram utilizados na determinação dos coeficientes de calibração. Essas últimas medidas foram realizadas em número de 40, em torno de um ponto central do qual foram extraídas as coordenadas geográficas mediante o uso de um equipamento GPS, para posterior localização nas imagens orbitais.

As medidas radiométricas do fotômetro solar permitiram o cálculo da quantidade de vapor d'água, a profundidade óptica e a concentração de ozônio. Esses dados foram então utilizados no processo de "correção" atmosférica dos valores de reflectância direcional de superfície coletados em campo com o objetivo de determinar os valores de radiância direcional aparente (no topo da atmosfera que foram relacionados aos NDs das imagens. Esse procedimento foi conduzido mediante a adaptação do sistema SCORADIS (Zullo, 1994) desenvolvido pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas (CEPAGRI/UNICAMP), que tem como base o modelo 5S de correção atmosférica (Tanré et al, 1990)A Figura 2 ilustra o procedimento em questão.

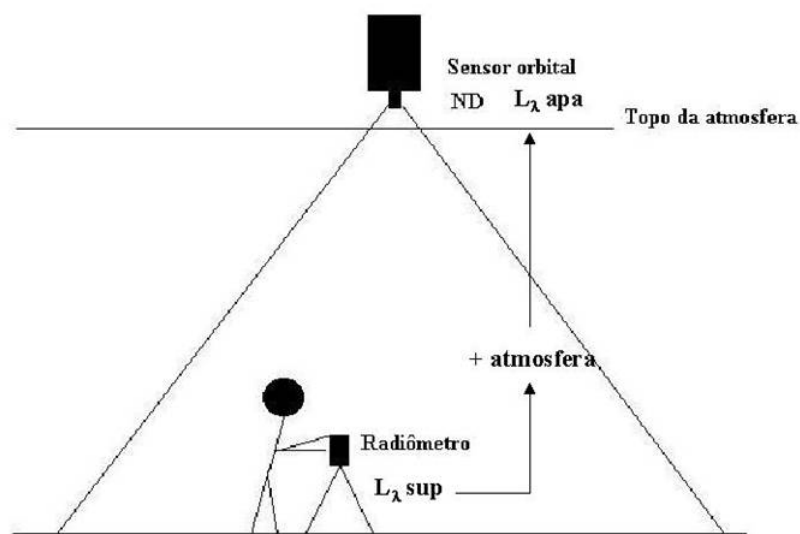


Figura 2 – Esquema ilustrativo do processo de relacionamento entre a reflectância direcional de superfície e o ND apresentada nas imagens orbitais.

2.3 Das imagens orbitais

Foram adquiridas imagens CCD/CBERS-2 no nível P2 de pré-processamento referentes à área de estudo (155/113) do dia 16/08/2004, data de passagem do satélite sobre a região. Essas imagens foram introduzidas em ambiente SPRING de duas formas: georreferenciando e não-georreferenciando. Isso se deveu ao interesse de avaliar o grau de impacto do georreferenciamento nos valores de ND originais.

O ponto central da amostragem radiométrica realizada em campo foi identificado nas imagens mediante as coordenadas geográficas conhecidas desse ponto. Esse mesmo ponto foi identificado nas imagens não georreferenciadas mediante inspeção visual. A avaliação do efeito foi então realizada analisando os valores dos NDs em torno do ponto central nas duas séries de imagens, banda a banda.

2.4 Cálculo dos coeficientes e um exemplo de aplicação

Os coeficientes de calibração foram determinados por banda espectral segundo a equação:

$$CC_{\lambda} = DN_{\lambda} / L_{\lambda} \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\text{mm}^{-1}$$

Onde: CC_{λ} = coeficiente de calibração para a banda λ ;

ND_{λ} = número digital médio em torno do pixel central na banda λ ;

L_{λ} = radiância no topo na atmosfera na banda λ .

Os coeficientes assim determinados expressam, portanto, quantos NDs são necessários para representar uma unidade de L_{λ} .

Os valores de L_{λ} foram determinados a partir dos fatores de reflectância bidirecional determinados em campo que foram submetidos ao processamento do modelo 5S de correção atmosférica.

Uma vez determinados, os coeficientes foram utilizados na caracterização espectral de alguns objetos localizados na superfície terrestre com o objetivo de avaliar, ao menos preliminarmente, a consistência dessa caracterização. A aplicação dos coeficientes deu-se então da seguinte forma: primeiramente foram calculados os valores de L_{λ} (aparente) segundo a aplicação da seguinte equação:

$$L_{\lambda} = NDn/CCn$$

Onde: L_{λ} = radiância espectral aparente;

NDn = número digital extraído da imagem na banda n ($n=1,2,3,4,pan$);

CCn = coeficiente de calibração absoluta para a banda n ($n=1,2,3,4,pan$).

O resultado é expresso então em $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$

Para a transformação dos valores de L_{λ} em valores de reflectância aparente (ρ_{apa}) foi aplicada a seguinte equação:

$$\rho_{\text{apa}} = (3,1423 * (NDn/CCn) * D^{**2}) / (\text{esunn} * \cos(\text{zen}));$$

Onde: D = distância Terra-Sol em unidades astronômicas (assume valores 0,983 em janeiro e 1,0167 em julho);

esunn = valores de Irradiância solar no topo da atmosfera na banda n ($n=1,2,3,4,pan$), apresentados na Tabela 1;

$\cos(\text{zen})$ = cosseno do ângulo zenital solar no momento de aquisição da imagem.

Tabela 1 – Valores de esun no topo da atmosfera ($\text{W.m}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}$)

esun1	esun2	esun3	esun4	esunpan
1934,03	1787,10	1548,97	1069,21	1664,33

É importante salientar que ρ_{apa} contém toda a interferência atmosférica, não servindo, portanto para caracterizar espectralmente um objeto mediante sua avaliação. Para viabilizar tal caracterização, faz-se necessário a determinação de valores de Reflectância de Superfície (ρ_{sup}) mediante a aplicação de algum modelo de correção atmosférica, seja ele fundamentado na transferência radiativa ou não, o que não constituiu o escopo desse trabalho.

Foram elaborados gráficos representativos das curvas de reflectância bidirecional aparente (extraídas das imagens orbitais) e de reflectância bidirecional de superfície (extraídas dos dados de campo) de diferentes objetos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Superfície de referência

A Figura 2 apresenta as curvas dos fatores de reflectância adquiridos sobre a superfície com vistas a avaliação da homogeneidade espectral (gráfico da esquerda) e da isotropia (gráfico da direita).

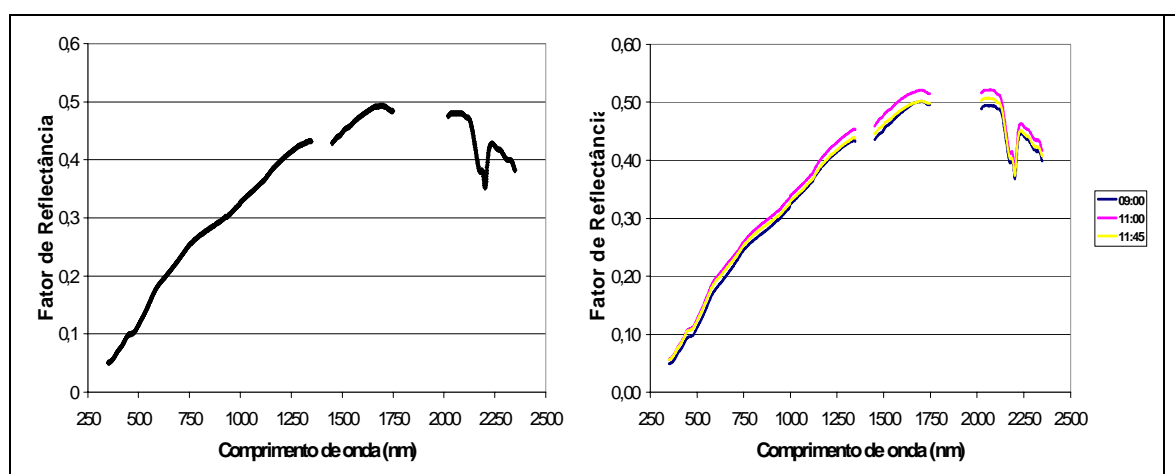


Figura 2 – Fatores de Reflectância que caracterizam a homogeneidade e a isotropia da superfície de referência.

Trata-se, portanto de um solo arenoso bastante brilhante, mas que apesar disso não apresenta reflectância superior a 30% em toda a amplitude espectral considerada, fator esse considerado importante por Scott et al (1996) na seleção de superfícies de referência. Quanto à isotropia, não foi identificada qualquer dinâmica nos valores dos fatores de reflectância que pudessem sugerir dependência entre estes e o posicionamento solar.

Os coeficientes de variação (CV) determinados para as 80 medidas radiométricas ao longo de toda a faixa espectral considerada ficou em torno de 10%. No dia da calibração, os valores dos CVs (das 40 medidas radiométricas) foi de aproximadamente 6%.

3.2 Coeficientes de calibração

A primeira dúvida que procurou-se sanar referiu-se ao efeito do georreferenciamento sobre os valores dos NDs das imagens no nível P2. Observou-se que as matrizes (5 x 5 pixels) de ND extraídas das imagens georreferenciadas e não-georreferenciadas eram exatamente as mesmas, exceto para aquelas referentes aos NDs da imagem da banda 4, que apresentou um diferença média de 1 ND. Sendo assim, decidiu-se pela consideração das imagens georreferenciadas no cálculo dos coeficientes de calibração.

A Tabela 2 apresenta os valores de ND extraídos das imagens, os valores dos fatores de reflectância bidirecional (FRB) resultantes das medidas radiométricas em campo, os valores das respectivas radiâncias aparentes resultantes do processamento do programa 5S, os coeficientes de calibração e a diferença percentual entre os coeficientes de calibração determinados nesse trabalho e aqueles determinados antes do lançamento.

Tabela 2 - Valores dos fatores de reflectância resultantes das medidas radiométricas em campo, os valores das respectivas radiâncias aparentes resultantes do processamento do programa 5S e os coeficientes de calibração determinados antes do lançamento do satélite.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4
ND	71	137	89	142
FRB	0,1182	0,1679	0,2262	0,2977
L_{λ} W.m⁻².sr⁻¹.μm⁻¹	70,34	70,97	77,11	66,77
CC pré	0,980	1,590	1,200	2,290
CC	1,009	1,930	1,154	2,127
Dif. %	2,8	17,6	-4,0	-7,70

Observa-se que os valores de CC pré-lançamento não são muito distantes daqueles determinados nesse trabalho, tendo sido encontrada maior discrepância entre os coeficientes na banda 2 (17,6%).

3.3 Aplicação dos Coeficientes de Calibração

Os coeficientes de calibração foram então aplicados sobre as imagens CCD/CBERS-2 visando a conversão dos valores de ND em valores de reflectância aparente, conforme descrito anteriormente. A Figura 3 apresenta um gráfico no qual podem ser observadas as diferenças e as semelhanças dos fatores de reflectância determinados em campo, mediante a aplicação dos coeficientes de calibração determinados aqui e através da aplicação dos coeficientes de calibração determinados antes do lançamento.

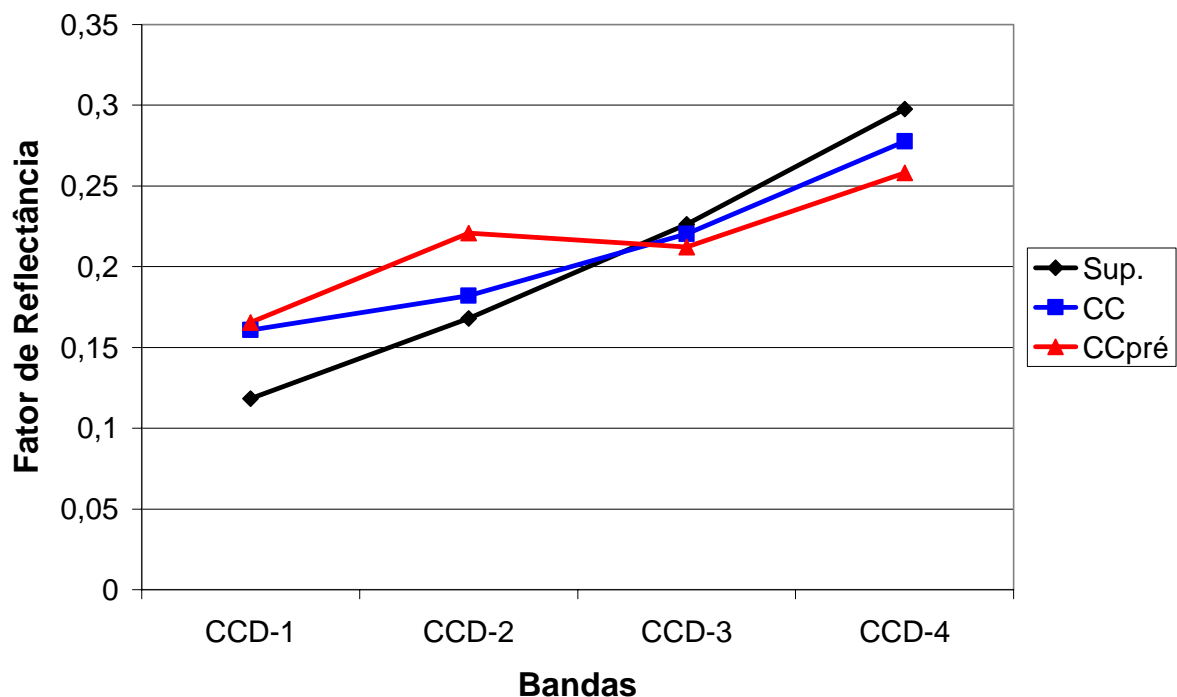


Figura 3 – Representação gráfica dos fatores de reflectância bidirecional determinados em campo, mediante a aplicação dos coeficientes de calibração determinados nesse trabalho e através da aplicação dos coeficientes de calibração determinados antes do lançamento.

Eram realmente esperados fatores de reflectância bidirecional mais elevados em relação aos mesmo fatores determinados em campo (Superfície), para aqueles determinados tanto pelos coeficientes de calibração determinados nesse trabalho, quanto por aqueles determinados no pré-lançamento, uma vez que se tratam de valores de reflectância aparente. Na região do infravermelho próximo o esperado era exatamente o contrário, o que foi efetivamente verificado.

4. Conclusões

Os coeficientes de calibração aqui determinados, uma vez aplicados às imagens, resultaram em valores de reflectância aparente consistentes. Apesar disso, estudos mais aprofundados estão sendo conduzidos visando suas validações em estudos quantitativos.

5. 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 e Sra. Angélica Giarola e à Pesquisadora Marina de Fátima Vilela do Centro de Pesquisas do Cerrado da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPAC/EMBRAPA), pelo apoio logístico e intelectual despendido.

Referências

Scott, K.P.; Thomé, K.J.; Bronwlee, M.R. Evaluation of the Railroad Valley Playa for the use in vicarious calibration. Proceedings of SPIE Conference, 2818, 158-1666, 1996.

Tanré, D.; Deroo, C.; Duhaut, P.; Herman, M.; Morcrette, J.J. Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code. International Journal of Remote Sensing . 11(4): 659-668, 1990.

Zullo Jr., J. Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações. 1994. 194p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1994.