

## Calibração Radiométrica do Subsistema Câmera Multiespectral (MUX) dos Satélites CBERS 3&4

Lucimara Cristina Nakata Scaduto  
Lucas Fugikawa Santos  
Erica Gabriela de Carvalho  
Fátima Maria Mitsue Yasuoka  
Mario Antonio Stefani

Opto Eletrônica S.A.  
Rua Joaquim A. R. de Souza, 1071 - 13563-330 – São Carlos - SP, Brasil  
{ lucimara, lucas, erica, fatima, stefani } @opto.com.br

**Abstract.** This paper is a preliminary description of the experimental procedure that will be used to achieve the absolute and relative radiometric calibration of the CBERS 3&4 Multispectral Camera (MUX) Subsystem. The experimental setup is expected to provide at least 48 radiometric levels in order to accomplish the whole dynamic range of the imaging system.

**Keywords:** imaging systems, radiometric calibration, CBERS, sistemas de imageamento, projeto óptico, calibração radiométrica.

### 1. Introdução

O Subsistema Câmera Multiespectral MUX que irá equipar os satélites CBERS 3&4 é uma câmera de imageamento remoto que tem por finalidade captar imagens da Terra em quatro bandas espectrais, com resolução no solo de 20 metros e campo de visada de 120 km. Como um dos objetivos do projeto é que o sinal captado possa ser utilizado para análise radiométrica das regiões imageadas, é preciso realizar uma rigorosa calibração radiométrica do equipamento. Neste sentido, dois tipos básicos de calibração serão realizados: calibração absoluta e calibração relativa.

A calibração relativa será realizada a fim de eliminar a não-uniformidade de resposta dos pixels do detector. Este procedimento se faz necessário pois pixels diferentes do mesmo detector podem apresentar respostas diferentes quando submetidos a uma mesma intensidade luminosa. Desta forma, a calibração relativa irá atuar no sentido de encontrar um fator multiplicador para cada pixel do detector, equalizando a resposta do mesmo quando este estiver submetido a uma fonte luminosa uniforme, com mesma potência luminosa ao longo do detector. Por outro lado, a calibração absoluta irá atuar no sentido de traduzir os sinais digitais para um determinado valor de irradiância a que um pixel está submetido. Para tal deve-se conhecer a irradiância que um determinado pixel do detector de uma banda está exposto e verificar a sua resposta e então encontrar um fator de correção entre a resposta do pixel para a irradiância que o mesmo está exposto.

Para os modelos de vôo, é prevista uma precisão de calibração absoluta melhor que 10%, ao passo que a calibração relativa (calibração entre pixels de uma banda espectral e entre diferentes bandas espectrais) deve apresentar uma precisão melhor que 3%.

### 2. Sistema Óptico

O sistema óptico proposto para a câmera MUX dos satélites CBERS 3&4 é baseado em um design refrativo composto por 11 lentes, conforme mostra a Figura 1. As principais características ópticas deste sistema de imageamento estão apresentadas na Tabela I.

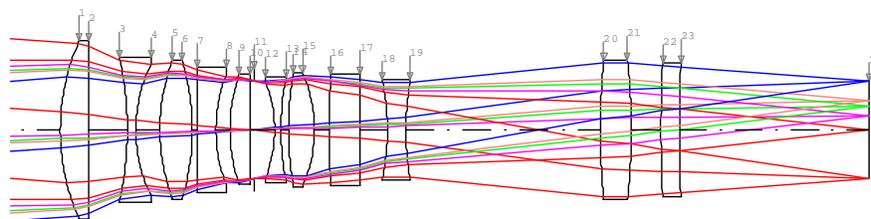


Figura 1: Design Óptico da Câmera MUX.

Tabela I: Principais características ópticas da câmera MUX.

Parâmetro	Valor
Distância Focal Efetiva (EFL)	505.80 mm
Campo Angular de Visada (FOV)	8.8 °
Número F (F#)	4.5
Número de Superfícies	22
Número de elementos	11
Transmitância Óptica (com coberturas AR)	> 76.6 % (B05); > 87.0 % (B06); > 84.5 % (B07); > 86.0 % (B08);

### 3. Procedimentos Experimentais

Para a realização dos procedimentos de calibração relativa e absoluta da câmera MUX, será utilizado o subsistema MUX completo, incluindo o sistema óptico, o conjunto do plano focal, a eletrônica de processamento de sinal e os equipamentos de suporte em terra (Ground Support Equipment –GSE). O principal equipamento do GSE utilizado nesta tarefa será uma fonte de iluminação uniforme do tipo esfera integradora (Labsphere USS-4000C).

A esfera integradora utilizada cobre toda a região espectral entre 400 nm e 1000 nm e tem por finalidade executar os testes de medição faixa radiométrica e de calibração da radiância do equipamento. Esta calibração será realizada visando uma máxima uniformidade sobre o sensor CCD bandas B05, B06, B07 e B08, de acordo com os valores descritos na Tabela II. A função da esfera integradora é integrar espacialmente o fluxo radiante, dando origem a uma fonte de luz uniforme e, conseqüentemente, proporcionando uma radiância uniforme em toda a sua saída. O diâmetro da porta de saída de uma esfera usada em aplicações de dispositivos de teste de imagem é baseado tipicamente na abertura e no campo de visada do sistema óptico testado. O tamanho da esfera integradora é então baseado no tamanho da porta de saída exigida, que deve ser de aproximadamente três vezes o diâmetro da porta de saída. Os níveis de radiância na saída são controlados por ajuste da quantidade de luz introduzida na esfera.

A esfera integradora utilizada na calibração da câmera MUX possui as seguintes características básicas [1, 2]:

- Diâmetro da janela de saída da esfera integradora compatível com o desenho óptico da câmera MUX, para poder iluminar a pupila de entrada do sistema óptico e preencher todo o

campo visual da câmera MUX. Em vista disso, o diâmetro da porta de saída deve ser de 355 mm e diâmetro da esfera integradora de 1016 mm.

- Intervalo espectral de 400 a 1000 nm.
- Temperatura da fonte de luz de 3100°C.
- Estabilidade da fonte de luz melhor que 1%.
- Uniformidade de radiância igual, ou melhor, que 98%.
- Pelo menos, 12 níveis de radiância espectral para cada uma das bandas espectrais B5, B6, B7 e B8, de acordo com as normas do certificado de rastreabilidade do National Institute of Standards and Technologies (NIST), ajustados continuamente dentro da faixa radiométrica descrita na Tabela II.

Tabela II: Intervalos de Radiância Espectral para cada Banda.

Banda ( $\mu\text{m}$ )	Mínima Radiância Espectral ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ )	Máxima Radiância Espectral ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ )
B05: 0.45 – 0.52	35.3	344.4
B05: 0.52 – 0.59	25.7	361.8
B05: 0.63 – 0.69	12.9	352.3
B05: 0.77 – 0.89	08.9	275.0

O sensor CCD será calibrado primeiramente em laboratório usando 13 níveis de irradiância (são exigidos no mínimo seis níveis), incluindo a medição da corrente de escuro, expondo o CCD diretamente na saída da esfera, permitindo, desta forma, a correção da diferença de responsividade entre os pixels e de não-uniformidade do CCD. Em seguida, o sistema completo será integrado e sua abertura de entrada será acoplado à abertura de saída da esfera para calibração. A calibração relativa será feita pixel a pixel, corrigindo possíveis efeitos de não-uniformidade de iluminação introduzidos pelo conjunto óptico. Em seguida, serão comparados os sinais obtidos em cada banda espectral, para cada um dos 12 níveis previstos, com os valores absolutos provenientes da calibração de fábrica dada pela esfera integradora. Estes procedimentos visam possibilitar a cobertura de toda a faixa dinâmica do equipamento, assim como estabelecer os fatores de ganho que serão utilizados na amplificação dos sinais na saída analógica do CCD. Os sinais obtidos pelas imagens possibilitarão ainda a determinação radiométrica absoluta das faixas de terra imageadas, provendo, desta forma, dados mais precisos dos valores reais das regiões observadas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a inestimável colaboração com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE – Brazil) no desenvolvimento do sistema óptico.

### Referências

- [1] Uniform Source Integrating Spheres: USS-4000, <http://www.labsphere.com/products.asp>, 28/10/2005, Labsphere.
- [2] Tech Guide – Integrating Sphere Uniform Light Source Applications, [http://www.labsphere.com/uploadDocs/Integrating%20Sphere%20Uniform%20Light%20Source%20Applications\\_3.pdf](http://www.labsphere.com/uploadDocs/Integrating%20Sphere%20Uniform%20Light%20Source%20Applications_3.pdf), 25/10/2005, Labsphere.