



Calibração de Sensores Orbitais

Flávio Jorge Ponzoni

Cibele Teixeira Pinto

Rubens Augusto Camargo Lamparelli

Jurandir Zullo Junior

Mauro Antonio Homem Antunes

Calibração de Sensores Orbitais

Flávio Jorge Ponzoni

Cibele Teixeira Pinto

Rubens Augusto Camargo Lamparelli

Jurandir Zullo Junior

Mauro Antonio Homem Antunes

Copyright © 2015 Oficina de Textos

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

CONSELHO EDITORIAL Cylon Gonçalves da Silva; Doris C. C. K. Kowaltowski;
José Galizia Tundisi; Luis Enrique Sánchez;
Paulo Helene; Rozely Ferreira dos Santos;
Teresa Gallotti Florenzano

Capa MALU VALLIM

Projeto gráfico MALU VALLIM E MARIA LÚCIA RIGON

Preparação de figuras e diagramação MARIA LÚCIA RIGON

Preparação de texto HÉLIO HIDEKI IRAHA

Revisão de texto CAROLINA A. MESSIAS

Impressão e acabamento VIDA & CONSCIÊNCIA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Calibração de sensores orbitais / Flávio Jorge
Ponzoni...[et al.]. -- São Paulo : Oficina de Textos, 2015.

Outros autores: Cibele Teixeira Pinto, Rubens Augusto Camargo
Lamparelli, Jurandir Zullo Junior, Mauro Antonio Homem Antunes

Bibliografia
ISBN 978-85-7975-167-7

1. Calibração 2. Engenharia - Instrumentos
3. Pesquisa geográfica 4. Satélites artificiais em sensoriamento remoto
5. Sensoriamento remoto - Imagens I. Ponzoni, Flávio Jorge. II. Pinto,
Cibele Teixeira. III. Lamparelli, Rubens Augusto Camargo. IV. Zullo
Junior, Jurandir. V. Antunes, Mauro Antonio Homem.

15-01011

CDD-621.3678

Índices para catálogo sistemático:

1. Sensoriamento remoto : Tecnologia 621.3678

Todos os direitos reservados à OFICINA DE TEXTOS
Rua Cubatão, 959 CEP 04013-043 São Paulo-SP – Brasil
tel. (11) 3085 7933 fax (11) 3083 0849
site: www.ofitexto.com.br
e-mail: atend@ofitexto.com.br



SUMÁRIO

	Introdução	5
1	Conceitos radiométricos.....	9
2	Funcionamento de um sensor	20
3	A radiometria em uma imagem orbital	26
4	Calibração: conceito e como é realizada	31
	4.1 Identificação de uma superfície de referência	37
	4.2 Escolha do radiômetro ou espectrorradiômetro	39
	4.3 Correção atmosférica	41
	4.4 Pré-processamento das imagens geradas pelo sensor a ser calibrado.....	45
5	As etapas de uma missão de calibração absoluta de um sensor orbital em voo.....	49
6	Estimativas de incertezas	56
	6.1 Avaliação do tipo A da incerteza	57
	6.2 Avaliação do tipo B da incerteza	58
	6.3 Incerteza final.....	58
	6.4 Propagação das incertezas	59
	6.5 Procedimentos para a avaliação das incertezas.....	61

Calibração do sensor Thematic Mapper, do satélite Landsat 5.....	63
7.1 O Salar de Uyuni	63
7.2 Escolha dos radiômetros a serem utilizados em campo.....	69
7.3 Imagens orbitais TM/Landsat 5 utilizadas para identificação de pontos amostrais	70
7.4 Trabalho de campo	76
7.5 Processamento dos dados de campo	80
7.6 Principais resultados alcançados.....	82
7.7 Calibração absoluta do sensor TM utilizando dados do Salar de Uyuni	86
7.8 Considerações finais.....	93
Referências bibliográficas	94



INTRODUÇÃO

As técnicas de Sensoriamento Remoto se fundamentam no processo de interação entre a radiação eletromagnética (REM) e os diferentes objetos dos quais se pretende extrair alguma informação. Esse processo se caracteriza por três diferentes fenômenos, sendo um de absorção, outro de transmissão e finalmente outro de reflexão da REM incidente sobre o objeto. Pensando no estudo dos recursos naturais existentes na superfície terrestre, o fenômeno de reflexão é o mais explorado, uma vez que as intensidades de radiação refletida pela superfície terrestre podem ser registradas por sensores remotamente situados (isto é, localizados a uma determinada distância do objeto a ser estudado, que pode ser de alguns poucos metros até milhares de quilômetros), e desses registros as informações sobre os recursos naturais podem ser extraídas e disponibilizadas no atendimento de diferentes aplicações.

O registro dessas intensidades de radiação refletida pode ser feito de diferentes formas e em diferentes níveis de coleta de dados, incluindo em laboratório, em campo, a bordo de aeronaves (aero-transportado) e a bordo de satélites (orbital).

É muito comum, quando da divulgação pública, por qualquer meio de comunicação, de alguma informação oriunda da interpretação/processamento de dados coletados por sensores orbitais, a utilização do termo *fotografias de satélites* para se referir aos produtos dos quais a tal informação foi extraída. É possível, de fato, obter fotografias orbitais quando são utilizados sensores fotográficos específicos para esse fim. Porém, os produtos mais corriqueiramente gerados em nível orbital não são fotografias, mas coleções

de medidas da intensidade de REM refletida pelos diferentes objetos existentes na superfície terrestre, que, uma vez organizadas convenientemente, permitem a observação visual de feições dessa superfície, analogamente ao que seria feito em uma fotografia convencional. Essas coleções são denominadas *imagens pictóricas* ou simplesmente *imagens*.

Essas imagens são similares àquelas observadas na televisão, constituídas por milhares de pontinhos iluminados na tela do aparelho que, juntos, geram um conjunto único que permite observar formas, cores, texturas, movimentos e todos os demais elementos que formam uma paisagem, o rosto de uma pessoa, um objeto etc. No caso das imagens orbitais ou mesmo daquelas geradas por sensores similares colocados a bordo de aeronaves, cada pontinho luminoso contido na imagem é fruto de uma medida radiométrica, termo este usado para representar a intensidade da REM que é refletida pelos objetos observados ou imageados.

Os sensores (não fotográficos) realizam então medidas radiométricas da REM refletida ou emitida por objetos. Eles apresentam características específicas que os qualificam para determinadas aplicações. O sucesso das iniciativas de desenvolvimento de sensores orbitais ou aerotransportados está intimamente ligado ao conhecimento sobre essas suas características e também à manutenção destas ao longo do seu período de vida útil. O programa norte-americano Landsat é um bom exemplo disso, uma vez que a constante preocupação com a divulgação da “saúde” de dados radiométricos coletados por seus sensores permitiu à comunidade de usuários a sua utilização em estudos mais sofisticados que incluíssem abordagens qualitativas, como estimativas de produtividade de algumas culturas agrícolas e a quantificação de parâmetros biofísicos de formações florestais. Essa “saúde” pode ser avaliada ou monitorada por meio de missões de calibração, que podem ser conduzidas mediante a análise de dados enviados pelo próprio sensor ou por outros sensores (calibração cruzada), ou com base em

dados coletados em campo, por meio do estabelecimento de superfícies de referência que podem ser caracterizadas espectralmente. A calibração radiométrica tem, portanto, o objetivo de assegurar a atualização da qualidade dos dados gerados por um sensor remotamente situado, bem como assegurar a possibilidade de converter os dados registrados pelos sensores em quantidades físicas passíveis de serem correlacionadas a parâmetros geofísicos, químicos ou biofísicos de objetos.

O Brasil tem feito investimentos no desenvolvimento e na aquisição de sensores orbitais e aerotransportados no âmbito de programas como o Sistema de Vigilância da Amazônia (Sivam) e a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). Assim como tem acontecido em todo o mundo, o sucesso das iniciativas nacionais de disponibilizar dados remotamente coletados a diferentes usuários também dependerá da concretização de esforços que visem viabilizar a atualização do conhecimento sobre as suas propriedades radiométricas.

Antevendo essas necessidades, profissionais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas (Cepagri/Unicamp) lançaram, por volta de 1998, iniciativas que buscaram viabilizar a realização de missões de calibração radiométrica em território nacional.

Os resultados alcançados obtiveram reconhecimento internacional, e em 2009 o Brasil passou a fazer parte do Committee on Earth Observation Satellites (Ceos), por meio da participação em um grupo específico dedicado à calibração radiométrica absoluta de sensores orbitais, denominado Working Group on Calibration and Validation (WGCV). O objetivo principal desse grupo é definir metodologias e procedimentos de calibração radiométrica e de validação que sejam adotados pelos países proprietários de sensores de observação da Terra (de Sensoriamento Remoto), permitindo assim a comparação universal dos dados.

Do esforço empreendido até o momento, além dos trabalhos científicos gerados, considera-se que houve significativo avanço no conhecimento sobre o tema, permitindo que o País alcance, em curto espaço de tempo, a autonomia tão desejada para realizar suas próprias missões de calibração radiométrica dos sensores orbitais e aerotransportados, cujos dados serão distribuídos nacional e internacionalmente.

O objetivo deste livro é apresentar, de forma objetiva e simples, a conceituação sobre os principais procedimentos de calibração de sensores remotamente situados, incluindo os que são atualmente adotados no Brasil.



CONCEITOS RADIOMÉTRICOS

Para que se possa compreender plenamente em que consiste o processo de calibração radiométrica de um sensor, é fundamental conhecer alguns conceitos radiométricos relevantes e pertinentes a esse processo.

Sabe-se que o Sol é a principal fonte de REM utilizada no estudo dos recursos naturais realizado mediante a aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto. A radiação emitida por esse astro trafega no espaço na forma de um fluxo que contém diferentes “qualidades” de REM. Essa diferenciação se dá por um critério fundamentado no modelo ondulatório que discrimina a REM em diferentes comprimentos de onda (λ). Cada “qualidade” de REM, que doravante será denominada simplesmente *comprimento de onda*, é emitida pelo Sol com intensidade específica. A Fig. 1.1 apresenta um gráfico que descreve a intensidade do fluxo radiante emitido pelo Sol para cada comprimento de onda, na amplitude espectral compreendida entre as regiões do visível (0,4 μm -0,72 μm), infravermelho próximo (0,72 μm -1,1 μm) e infravermelho médio (1,1 μm -3,2 μm).

A linha tracejada no gráfico da Fig. 1.1 representa a intensidade do fluxo radiante em cada comprimento de onda, que seria determinada pela Lei de Planck para um corpo negro à temperatura de 5.900 K, no topo da atmosfera. A linha cheia mais escura representa a mesma intensidade, mas agora determinada na superfície da Terra. Percebe-se, portanto, que a intensidade da REM emitida pelo Sol sofre atenuação em virtude da interferência de diferentes componentes contidos na atmosfera. As características dessa interferência serão tratadas mais adiante.

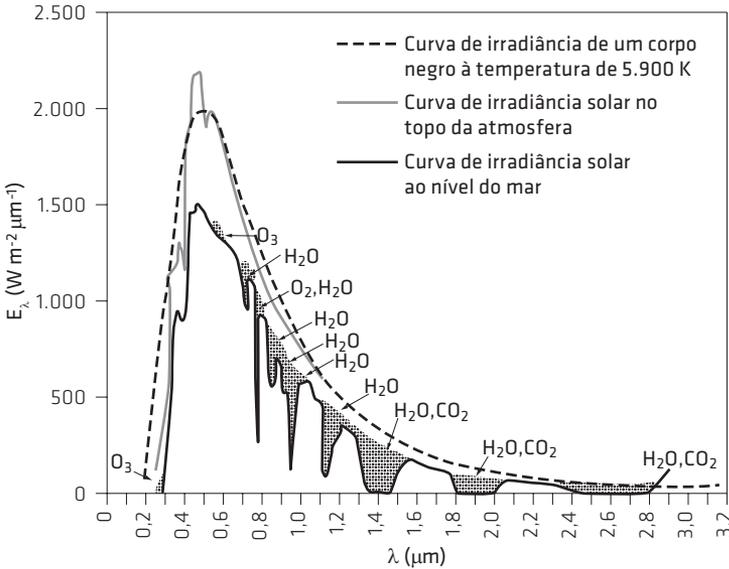


Fig. 1.1 Intensidade do fluxo radiante emitido pelo Sol
 Fonte: adaptado de Swain e Davis (1978).

Essa intensidade do fluxo radiante por área é denominada *irradiância* (E), e, como pode ser determinada para cada comprimento de onda ou para regiões espectrais específicas, recebe o símbolo λ , sendo então representada por E_{λ} .

Analisando ainda o gráfico apresentado na Fig. 1.1, nota-se que as maiores intensidades do fluxo radiante ocorrem na região do visível, mesmo para a radiação que atinge a superfície terrestre. Assim, imaginando um ponto localizado na superfície da Terra, geometricamente a incidência do fluxo radiante sobre esse ponto poderia ser representada conforme ilustra a Fig. 1.2.

Observa-se que o fluxo incide de todas as direções sobre o ponto e, como foi mencionado, a REM contida nesse fluxo não se refere a uma única qualidade ou a um único comprimento de onda, senão a vários. Cada “tipo” (qualidade) de REM atinge esse ponto com certa intensidade, ou seja, com específicos valores de E_{λ} . No momento



FUNCIONAMENTO DE UM SENSOR

Para melhor compreender a aplicação de toda a conceituação apresentada anteriormente no âmbito das técnicas de Sensoriamento Remoto, faz-se necessário compreender primeiramente o funcionamento de um sensor. Aqui serão considerados somente os sensores que registram a intensidade da REM refletida por um dado objeto ou superfície, sejam eles imageadores ou não, ou seja, os radiômetros, os espectrorradiômetros e os sensores eletro-ópticos, estes frequentemente colocados a bordo de aeronaves e/ou de plataformas orbitais.

A distinção entre os instrumentos mencionados não se refere tanto ao funcionamento, mas principalmente às amplitudes espectrais exploradas e ao número de faixas espectrais disponíveis dentro dessa amplitude. Um radiômetro, por exemplo, difere de um espectrorradiômetro pelo número reduzido de faixas espectrais (faixas mais largas), considerando uma mesma amplitude espectral. Assim, na caracterização espectral de um objeto, os dados coletados por um espectrorradiômetro oferecerão nível de detalhamento espectral superior em relação ao que seria permitido pelos dados coletados por um radiômetro. A Fig. 2.1 apresenta um exemplo da caracterização espectral de um objeto mediante o emprego de um radiômetro e de um espectrorradiômetro.

Nessa figura, os traços horizontais dispersos no gráfico representam os valores dos fatores de reflectância determinados com a utilização de um radiômetro atuando em seis faixas espectrais contidas no mesmo domínio espectral do espectrorradiômetro (300 nm a 2.500 nm). Por sua vez, a linha cheia preta representa os valores

O giro do espelho permite então que o fluxo radiante refletido em cada elemento de resolução espacial seja deslocado no sentido ortogonal ao de deslocamento da plataforma na qual todo o sistema foi colocado. Da mesma forma como acontecia com o espectrorradiômetro, as medidas em cada elemento de resolução espacial são discretizadas em diferentes faixas do espectro eletromagnético, o que resulta em tantas imagens quantas forem as faixas discretizadas.

Alguns sensores não possuem um espelho giratório e a “varredura espacial” é feita por meio de uma matriz de detectores convenientemente posicionados no interior do instrumento de modo a cobrir uma dada superfície do terreno à medida que a plataforma se desloca no espaço. São as chamadas câmeras CCD (*charge coupled device*, dispositivo de carga acoplada), denominadas também sensores *push broom*. Exemplos desse tipo de sensor são o *high resolution visible* (HRV), dos satélites da série SPOT, e o CCD, dos satélites da série CBERS. Uma nova tecnologia é a dos senso-

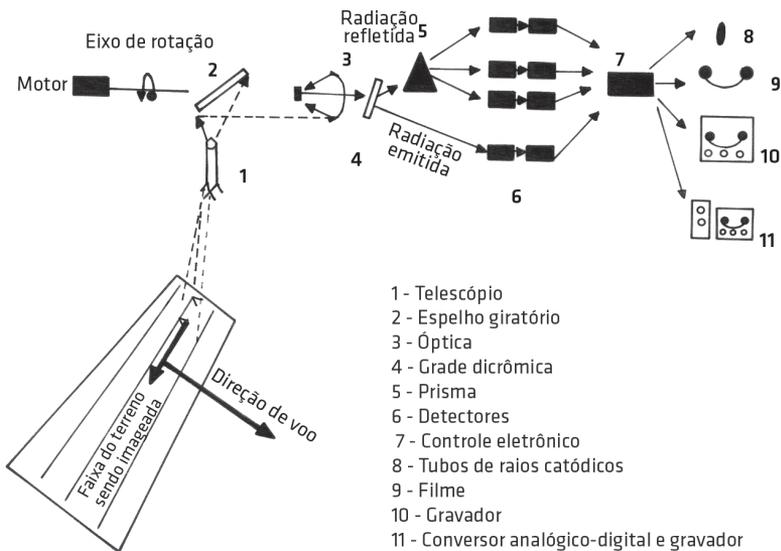


Fig. 2.3 Esquema de funcionamento de um sensor eletro-óptico



A RADIOMETRIA EM UMA IMAGEM ORBITAL

A grandeza radiométrica à qual os números digitais estão relacionados é a radiância, que representa um fluxo de radiação por área e por ângulo sólido. O que se imagina é que essa radiância efetivamente medida seja representativa, o mais especificamente possível, do(s) objeto(s) contido(s) dentro do campo de visada instantâneo na superfície (Gifov, no termo em inglês). Esse campo de visada define as dimensões de um *pixel* na superfície de acordo com as características da engenharia do sensor. Na realidade, essa especificidade não ocorre e a radiância efetivamente medida por um sensor orbital pode ser representada esquematicamente como na Fig. 3.1.

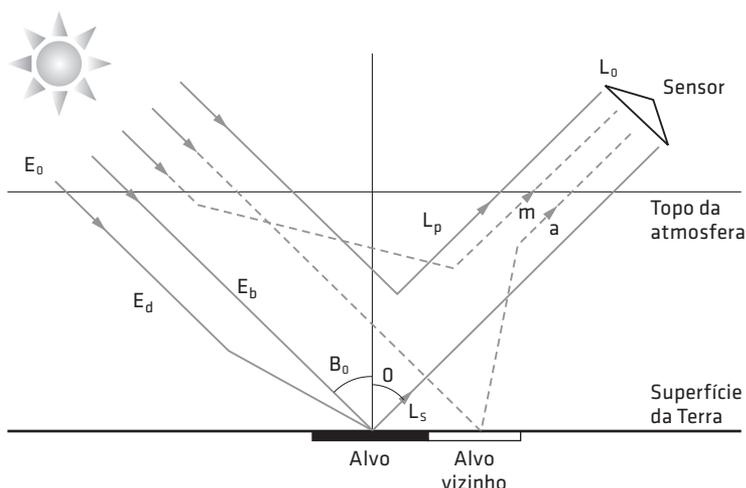


Fig. 3.1 Fatores influentes sobre a radiância efetivamente medida por um sensor orbital

Fonte: adaptado de Gilabert, Conese e Maselli (1994).

CALIBRAÇÃO: CONCEITO E COMO É REALIZADA



Qualquer procedimento de calibração tem como objetivo estabelecer a relação mais precisa e fiel possível entre uma dimensão real e sua estimativa realizada com um instrumento qualquer. Para melhor compreender esse conceito, basta imaginar uma situação na qual se pretende estimar o comprimento de uma barra de ferro por meio de uma fita métrica. Imagine-se que, ao aferir o comprimento com essa fita, o resultado foi de 0,56 m. Utilizando agora outra fita métrica, a mesma dimensão foi estimada em 0,54 m. Qual das estimativas estaria correta? Para chegar a uma decisão, faz-se necessário o uso de um padrão reconhecido cientificamente. Em Metrologia, existem padrões fisicamente materializados e disponibilizados no mercado. Então, considerando, por exemplo, o uso de um padrão com 1 m de comprimento, seriam utilizadas as duas fitas métricas para aferir a dimensão desse padrão. Cada uma das fitas resultaria em valores diferentes para o mesmo 1 m de comprimento. O procedimento de calibração seria determinar um fator numérico resultante da divisão entre o valor estimado pela fita métrica e o valor assumido como padrão, nesse caso, 1 m. Para cada uma das fitas seria determinado então um fator específico. Para determinar o comprimento da barra de ferro em relação ao padrão estabelecido, bastaria multiplicar o fator encontrado para cada uma das fitas pelos respectivos valores determinados por meio de seu uso. Esse fator é denominado *fator de calibração* ou, mais frequentemente, *coeficiente de calibração*.

Em Sensoriamento Remoto, esse conceito pode ser diretamente empregado, uma vez que o interesse é estabelecer relações precisas

Nevada, e Roach Lake Playa, na Califórnia, todas nos Estados Unidos, além de outras áreas, como o deserto de Gobi, na Ásia, e La Crau, na França. A Fig. 4.3 apresenta paisagens de algumas das superfícies mencionadas. Observa-se que são áreas relativamente planas com pouca ou nenhuma vegetação, o que lhes deve conferir estabilidade radiométrica ao longo do tempo e as demais características desejadas de uniformidade radiométrica e isotropia.

Price (1987) mencionou, em uma revisão que apresentou sobre calibração de sensores, adotando uma visão predominantemente de usuário das técnicas de Sensoriamento Remoto, a necessidade de avaliar o Salar de Uyuni, na Bolívia (Fig. 4.4), como uma alternativa de superfície de referência para o hemisfério sul, uma vez que todas as demais superfícies até então exploradas localizavam-se no hemisfério norte.

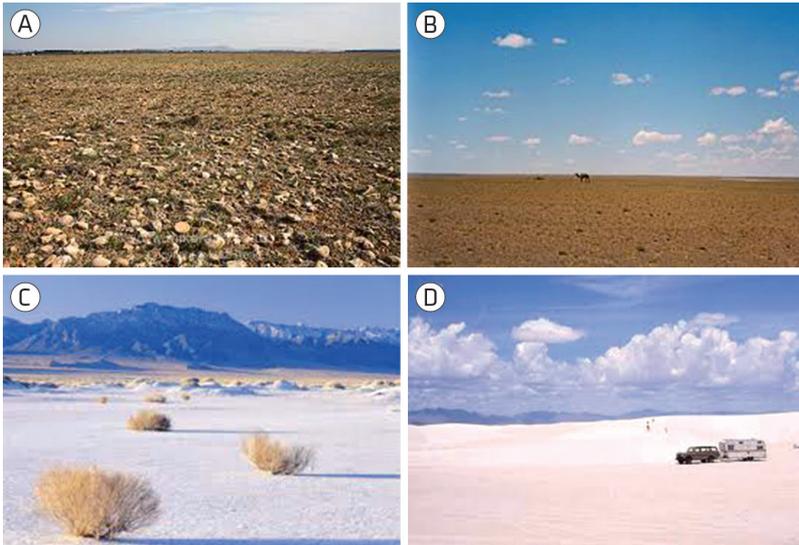


Fig. 4.3 Algumas superfícies de referência utilizadas em missões de calibração de sensores remotamente situados: (A) La Crau, (B) Deserto de Gobi, (C) Raibroad Valley Playa e (D) White Sands Missile Range



Fig. 4.6 Fotômetro solar Cimel CE 317, utilizado em medições da irradiância solar direta

Para que a correção atmosférica seja conduzida, faz-se necessário primeiramente caracterizar a atmosfera de modo concomitante à realização das medidas radiométricas sobre a superfície de referência em campo e à passagem do sensor sobre essa mesma superfície. Essa caracterização é baseada em medições da irradiância solar direta realizadas com a utilização de um radiômetro denominado *fotômetro solar* (Fig. 4.6).

Esse equipamento possui um dispositivo constituído basicamente por um tubo metálico dotado de um sistema simples de mira que permite seu apontamento direto para o disco solar. A REM incidente penetra pelo tubo, seguindo diretamente para o interior do instrumento, sem receber a componente de REM difusa pela atmosfera. O cálculo dessas medidas é expresso por:

$$V = V_0 D_s t_g e^{-\tau m} \quad (4.4)$$

Em que V é a medida realizada pelo fotômetro solar; V_0 , um coeficiente; D_s , a distância Terra-Sol em unidades astronômicas (UA); t_g , a transmitância de gases; τ , a profundidade óptica da atmosfera; e m , o número de massa de ar.

Por meio de um fotômetro solar, determina-se o valor de V . Os demais parâmetros da Eq. 4.4 são então determinados como descrito a seguir.

A distância Terra-Sol D_s é determinada por:

AS ETAPAS DE UMA MISSÃO DE CALIBRAÇÃO ABSOLUTA DE UM SENSOR ORBITAL EM VOO



A conceituação apresentada anteriormente tem sido explorada por diferentes agências ao redor do mundo segundo diferentes critérios e procedimentos. É fácil imaginar que, nas diferentes etapas inerentes a uma missão de calibração radiométrica absoluta, metodologias e procedimentos podem variar nesta ou naquela etapa em função do grau de conhecimento da equipe, do instrumental à disposição, dos custos envolvidos e da logística disponível. Essas diferenças foram consideradas fonte de dificuldades na comparação entre dados obtidos por diferentes sensores, gerenciados por diferentes países e/ou grupos de engenharia, considerando que atualmente existem vários sensores dedicados à observação da Terra. Assim, o Committee on Earth Observation Satellites (Ceos), composto por cientistas e engenheiros de diferentes nações, vem desenvolvendo atividades visando estabelecer alguma uniformidade entre as metodologias de calibração absoluta de sensores em voo adotadas por esses diferentes grupos e países.

No Ceos atuam vários grupos de trabalho, dentro dos quais ainda é possível encontrar subgrupos com atribuições específicas. É o caso do Working Group of Calibration and Validation (WGCV), que tem como principal objetivo definir procedimentos e metodologias especificamente na área de calibração absoluta em laboratório ou em voo e de validação dessa calibração. Dentro do WGCV atua o Infrared and Visible Optical Sensors Subgroup (Ivos), cuja missão é fazer cumprir as diretrizes do WGCV especificamente para sensores atuantes na região óptica do espectro eletromagnético.

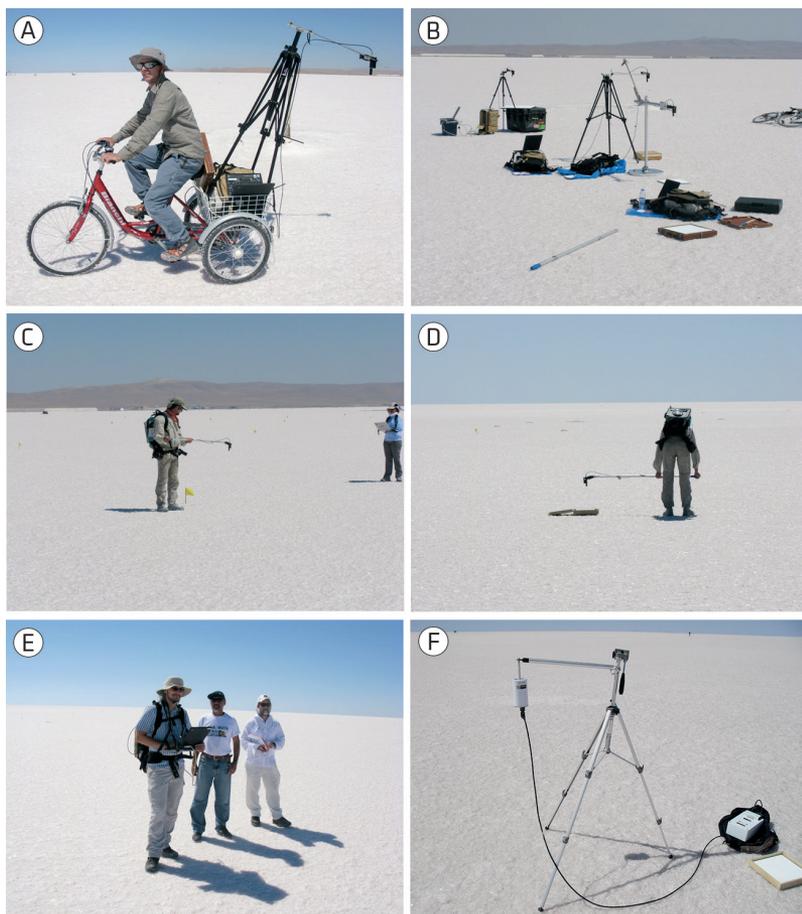


Fig. 5.5 Experimentos conduzidos por diferentes equipes visando ao estabelecimento de critérios na realização de medidas radiométricas sobre a superfície de referência

dos os resultados das calibrações dos diferentes sensores, quando foi possível identificar metodologias e critérios que poderiam ser adotados pelas diferentes agências em missões de calibração absoluta de sensores orbitais.

Atualmente, todas as agências que administram sensores orbitais dedicados à observação da Terra e atuantes no espectro óptico procuram seguir os critérios preconizados pelo Ivos.



ESTIMATIVAS DE INCERTEZAS

Qualquer medição, por mais bem feita que seja, é sempre aproximada, porque apresenta incerteza intrínseca nas suas avaliações. Desse modo, quando se realiza uma medição, é importante representar o resultado corretamente, ou seja, é preciso relatar o resultado de maneira quantitativa (ABNT; Inmetro, 2003). Para tanto, são estimadas as incertezas de medição, que provêm de combinações de várias fontes, uma vez que as medições são influenciadas por agentes metro-lógicos, tais como método de medição, operador, condições ambientais, amostra e equipamento (Mendes; Rosário, 2005). Na Fig. 6.1, pode-se visualizar o diagrama de causa e efeito das fontes de incerteza associadas ao processo de medição.

Com isso, a incerteza deve levar em consideração, além da flutu- ação estatística dos dados, os aspectos experimentais da medição. Essas incertezas são agrupadas em duas categorias, em função do método utilizado para estimar seu valor: tipo A, que são as incertezas avaliadas por processos estatísticos, e tipo B, que são as avaliadas por processos não estatísticos.

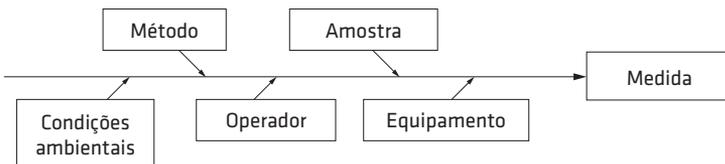


Fig. 6.1 Agentes metro-lógicos que influenciam o processo de medição
Fonte: Mendes e Rosário (2005).

CALIBRAÇÃO DO SENSOR THEMATIC MAPPER, DO SATÉLITE LANDSAT 5



Agora que foram compreendidos os princípios do processo de calibração de um sensor remotamente situado, todos os aspectos apresentados serão revistos por meio de um exemplo real, conduzido por pesquisadores do Inpe e do Cepagri/Unicamp quando da calibração do sensor Thematic Mapper, do satélite Landsat 5, tendo como superfície de referência o Salar de Uyuni, localizado na Bolívia.

Vale salientar que naquela oportunidade não foi possível incluir todas as etapas necessárias para o desenvolvimento ideal da missão como um todo, incluindo o cálculo das incertezas associadas a todas essas etapas. A inclusão da descrição dessa missão de calibração radiométrica absoluta tem caráter ilustrativo.

Como se viu, o primeiro aspecto a ser considerado é a escolha da superfície de referência. Assim, seguindo a sugestão de Price (1987), que havia salientado o possível potencial da superfície do Salar de Uyuni para missões de calibração radiométrica de sensores orbitais, o primeiro passo foi caracterizar essa superfície, o que foi feito segundo os procedimentos descritos a seguir.

7.1 O SALAR DE UYUNI

A Fig. 7.1 apresenta a localização geográfica do Salar de Uyuni no contexto da América Latina.

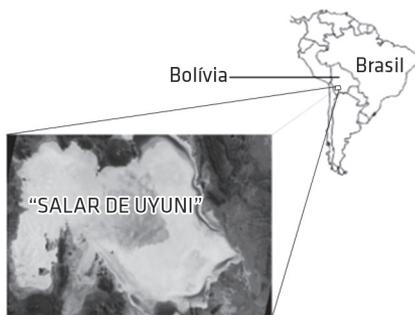


Fig. 7.1 Localização do Salar de Uyuni no contexto da América Latina

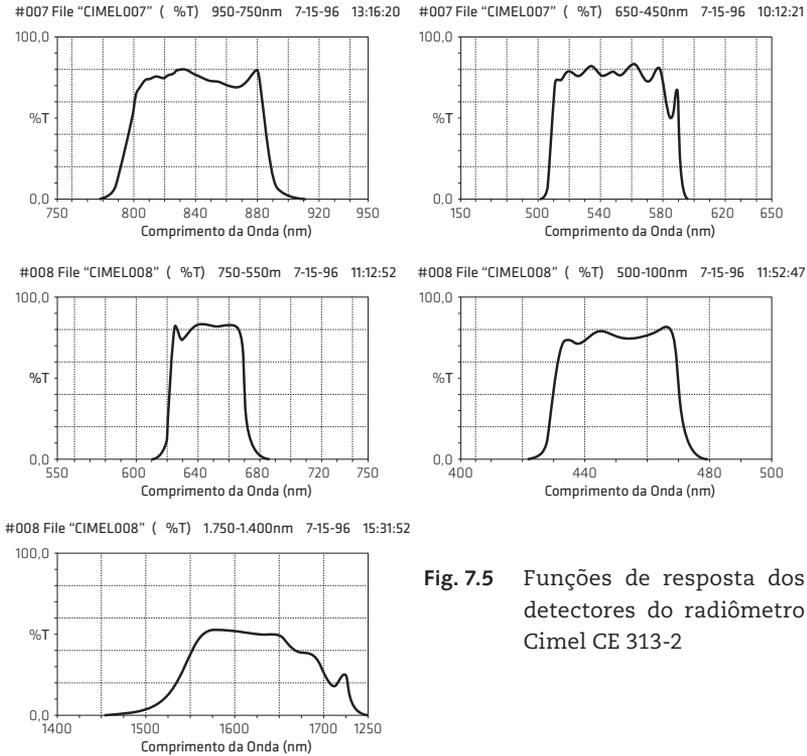


Fig. 7.5 Funções de resposta dos detectores do radiômetro Cimel CE 313-2

Observa-se na Fig. 7.6 que as funções de resposta dos dois sensores nessas três bandas espectrais não são totalmente coincidentes. De qualquer forma, mesmo entendendo ser essa mais uma fonte de erro no processo de calibração como um todo, decidiu-se por levar adiante o procedimento para uma posterior comparação com dados coletados com outros sensores em uma futura missão de calibração desse sensor TM/Landsat 5.

7.3 IMAGENS ORBITAIS TM/LANDSAT 5 UTILIZADAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS AMOSTRAIS

Inicialmente, foram adquiridas imagens TM/Landsat 5 referentes à órbita/ponto 233/74 do período compreendido entre os meses de março a julho dos anos de 1988 a 1997, totalizan-

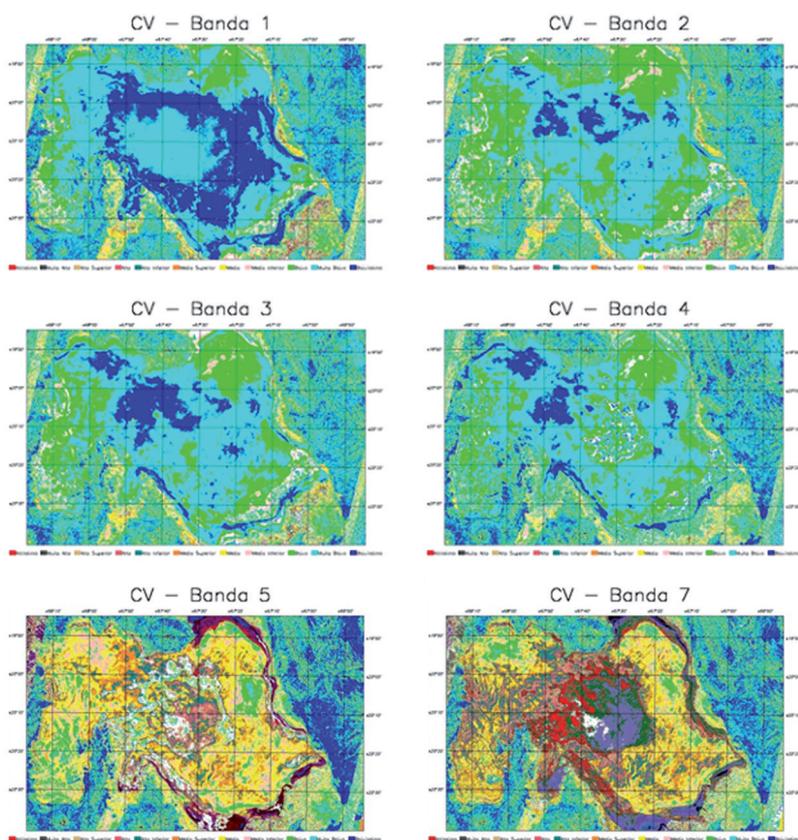


Fig. 7.7 Imagens-CV utilizadas na identificação de pontos de amostragem em campo

tricamente ocorreram nas regiões do visível e do infravermelho próximo (bandas 1, 2, 3 e 4), e para o infravermelho médio (bandas 5 e 7) as áreas mais estáveis ocorreram fora da superfície do Salar de Uyuni, indicando que o fator umidade da superfície acarreta interferências indesejáveis que a tornam não muito atraente para ser considerada como referência na calibração de sensores atuantes nessa faixa espectral.