

## Comparação temporal de medidas radiométricas: uma abordagem metodológica

Gabriel Pereira<sup>1</sup>  
Luís Gonçalves Longo de Oliveira<sup>1</sup>  
Flávio Jorge Ponzoni<sup>1</sup>  
Marcos Adami<sup>1</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>  
Gustavo Felipe Balué Arcoverde<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{gabriel, luis, flavio, adami, bete, gustavo}@dsr.inpe.br

**Abstract.** The main objective of the present work was to compare temporally reflectance (visible and infrared spectral regions) and albedo in the shortwave region determined by two different strategies: considering radiometric normalization method and applying the Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S) atmospheric correction code. Images of the TM/Landsat 5 sensor from Passo do Lontra – Corumbá (MS) region were acquired in three different dates (12/09/1999-reference, 28/09/1999 and 30/09/2000). The albedo and reflectance values were calculated from the equation proposed by Liang (2000). Ground measurements using a piranometer CM5 and a net radiometer CNR1 of the Kipp&Zonen and quantum LI-190SA of the Licor Incorporation were performed and considered as ground truth. The adoption of these two strategies in the temporal comparison of radiometric data will achieve different results.

**Palavras-chave:** Radiometric rectification, radiative transfer, multitemporal images, retificação radiométrica, transferência radiativa, imagens multitemporais.

### 1. Introdução

A comparação temporal de dados de séries radiométricas, quando do interesse da caracterização espectral de diferentes alvos, fundamenta-se na compatibilidade radiométrica dos dados coletados ao longo do tempo. Essa compatibilidade pode ser promovida por procedimentos que envolvem a chamada normalização radiométrica, assim como idealizado por Hall et al. (1991) ou por Canty et al. (2004). Nesses procedimentos, recomenda-se que a imagem eleita como referência seja submetida à correção atmosférica, preferencialmente mediante a aplicação de modelos de transferência radiativa e as demais imagens defasadas temporalmente desta referência são então normalizadas em relação a ela.

Como alternativa à realização de procedimentos de normalização radiométrica está a comparação dos dados de toda a série temporal de imagens, corrigidas individualmente através dos modelos de transferência radiativa para se eliminar os efeitos da atmosfera.

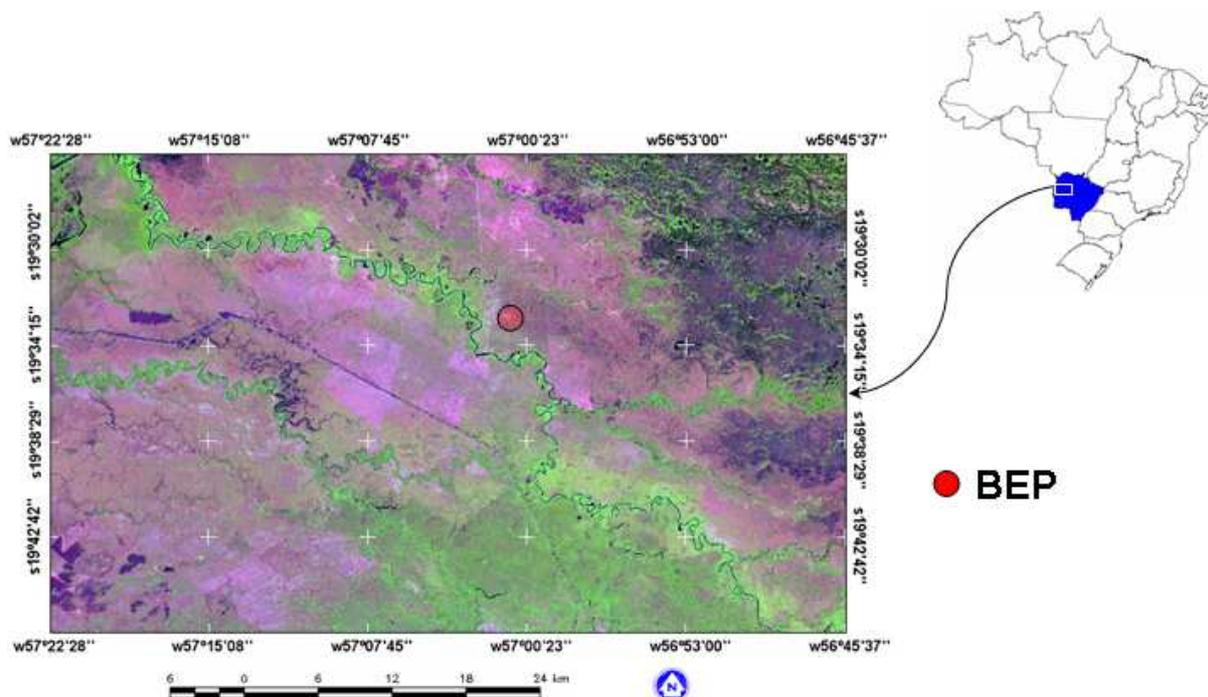
Têm-se, portanto, duas alternativas metodológicas cujas diferenças de procedimentos e de critérios podem implicar em diferenças nos resultados e nas interpretações.

O objetivo deste trabalho é comparar dados radiométricos de duas diferentes datas, obtidos a partir de imagens TM/Landsat 5 e de medidas realizadas em campo na região de Passo do Lontra (Mato Grosso do Sul), fundamentando-se nas duas metodologias descritas acima.

### 2. Área de Estudo

A área de estudo compreende a região de Passo do Lontra, pertencente ao município de Corumbá – Mato Grosso do Sul (MS). Na região predomina o ecossistema pantaneiro, com vegetação tipicamente de cerrado. Este bioma é caracterizado pela diversidade de formações vegetais ali presentes, que podem variar de campos abertos até florestas densas que atingem

30 metros (Eiten, 2001). A coleta de dados foi realizada na Base de Estudo do Pantanal (BEP), pertencente à Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) e assinalada em vermelho na **Figura 1**.



**Figura 1** – Área de Estudo em Passo do Lontra, Corumbá, MS (imagem TM/Landsat 5 3B, 4G, 5R do dia 30.09.2000).

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1 Imagens e georreferenciamento

Utilizou-se o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para o processamento das imagens do TM/Landsat 5, nas datas 12/09/1999, 28/09/1999 e 30/09/2000. O registro foi realizado tomando-se como base uma imagem do sensor *Enhanced Thematic Mapper plus* (ETM+) do Landsat 7 ortorretificada, na projeção UTM, *datum* WGS 84, com acurácia média de 75 m (GLCF, 2004).

#### 3.2. Parâmetros radiométricos

O trabalho foi fundamentado na comparação de valores de albedo de superfície e de valores de reflectância de superfície nas faixas do visível e do infravermelho, dados esses obtidos por medições realizadas em campo e a partir de imagens TM/Landsat 5, após aplicação das duas metodologias já citadas, que serão minuciosamente descritas a seguir.

##### 3.2.1 Metodologia 1: Normalização radiométrica

Para converter os números digitais das imagens do TM/Landsat 5 em valores de reflectância da superfície, aplicou-se o modelo de transferência radiativa *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S) (Vermote, 1997). Foram adotados como condições iniciais o modelo de aerossóis continental e a atmosfera tropical com 70 km de visibilidade.

A normalização radiométrica dos dados orbitais fundamentou-se nos procedimentos descritos por Hall et al. (1991), tendo sido definida como referência à imagem do dia

12/09/1999 que, portanto, foi corrigida atmosféricamente, gerando as imagens de referência.

As demais (de 28/09/1999 e de 30/09/2000) foram normalizadas radiometricamente, sendo inicialmente convertidas para valores de reflectância aparente, mediante aplicação da formulação preconizada por Chander e Markham (2003).

De posse das imagens normalizadas para as duas datas, o próximo passo consistiu no cálculo dos valores de albedo de superfície, reflectância no visível e reflectância no infravermelho. Para tanto, utilizaram-se as fórmulas deduzidas por Liang (2000) para o sensor TM/Landsat 5. Os coeficientes existentes nessas fórmulas foram ajustados e validados para a região de estudo por Pereira et al.(2006), a partir de dados de verdade terrestre. As fórmulas ajustadas são:

$$Albedo = 0.420\alpha_1 + 0.153\alpha_3 + 0.440\alpha_4 + 0.100\alpha_5 + 0.084\alpha_7 - 0.0018 \quad (1)$$

$$Reflectância_{visível} = 0.564\alpha_1 + 0.417\alpha_2 + 0.306\alpha_3 \quad (2)$$

$$Reflectância_{IV} = 0.755\alpha_4 + 0.231\alpha_5 + 0.126\alpha_7 - 0.003 \quad (3)$$

Onde “ $\alpha_n$ ” representa o valor de reflectância obtido para uma banda “n” do sensor TM/Landsat 5.

### 3.2.2 Metodologia 2: Correção atmosférica de cada passagem

Novamente, aplicou-se o modelo de transferência radiativa 6S (Vermote, 1997) para converter os números digitais das imagens do TM/Landsat 5 das duas datas (28/09/1999 e 30/09/2000) em valores de reflectância de superfície. Adotou-se como parametrizações atmosféricas o modelo de aerossóis continental, com atmosfera tropical e 70 km de visibilidade, mesmas configurações assumidas na correção atmosférica da imagem eleita como referência, na metodologia 1.

De posse das imagens corrigidas atmosféricamente para as duas datas, o passo seguinte foi o do cálculo dos valores de albedo de superfície, reflectância no visível e reflectância no infravermelho de maneira similar à empregada na metodologia 1, também se empregando as fórmulas deduzidas por Liang (2000) para o sensor TM/Landsat 5, ajustadas e validadas para a região de estudo por Pereira et al. (2006).

### 3.2.3 Dados coletados em campo

Dados radiométricos, de albedo e de reflectância nas faixas do visível e do infravermelho, foram coletados em uma torre micrometeorológica existente na BEP, nos dias 12/09/1999, 28/09/1999 e 30/09/2000, sendo utilizados como verdade terrestre na comparação com as estimativas obtidas pelas duas metodologias descritas anteriormente. As medições foram realizadas utilizando-se um radiômetro Quantum LI-190SA da Licor Inc. (medidas da radiação fotossinteticamente ativa - PAR), um piranômetro CM5 da Kipp & Zonen (medidas de radiação solar incidente e refletida) e saldo radiômetro CNR1 da Kipp&Zonen (saldo de radiação).

### 3.3 Métodos comparativos

De posse dos valores de albedo de superfície e das reflectâncias no visível e infravermelho obtidos para as duas datas estudadas, foram calculados os desvios percentuais existentes entre os valores medidos em campo e os valores obtidos por cada metodologia.

Calcularam-se também os desvios percentuais existentes entre os resultados das duas metodologias. Gráficos de dispersão analisando a concordância entre as duas metodologias foram confeccionados para todos os parâmetros radiométricos em questão.

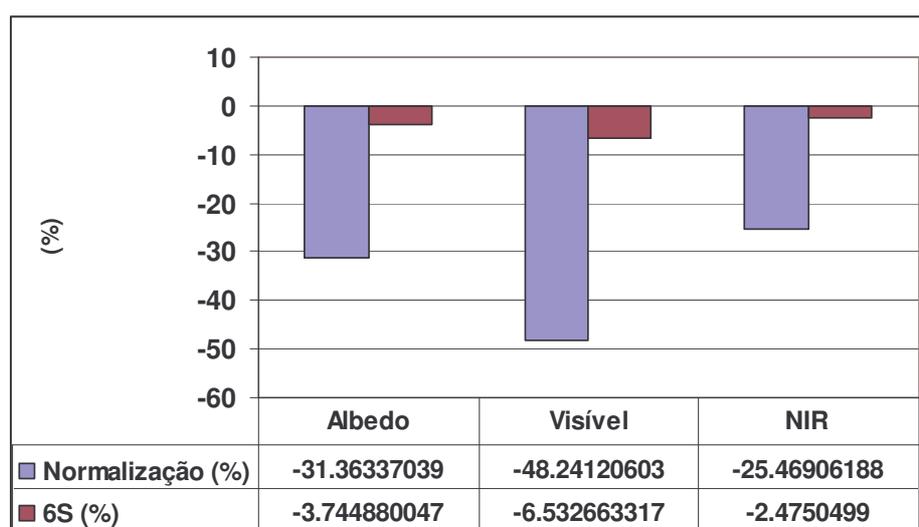
#### 4. Resultados e Discussão

O emprego das duas metodologias acima descritas, para a minimização dos efeitos da interferência atmosférica na composição do sinal pelo sensor, apresenta valores distintos entre si. A **Tabela 1** mostra os valores dos dados coletados em campo e os valores estimados pelos métodos de correção atmosférica (6S) e pela normalização radiométrica dos dados com base na imagem de referência de 12/09/1999.

**Tabela 1** – Valores dos dados obtidos e estimados para Passo do Lontra (MS).

Data	Variável	Dados de campo	Dados obtidos através do 6S	Dados obtidos através da Normalização radiométrica de dados
28/09/1999	Albedo	0.1709	0.1645	0.1173
	$\rho$ visível	0.0796	0.0744	0.0412
	$\rho$ NIR	0.2505	0.2443	0.1867
30/09/2000	Albedo	0.1618	0.1570	0.2022
	$\rho$ visível	0.0733	0.0686	0.1358
	$\rho$ NIR	0.2351	0.2362	0.0620

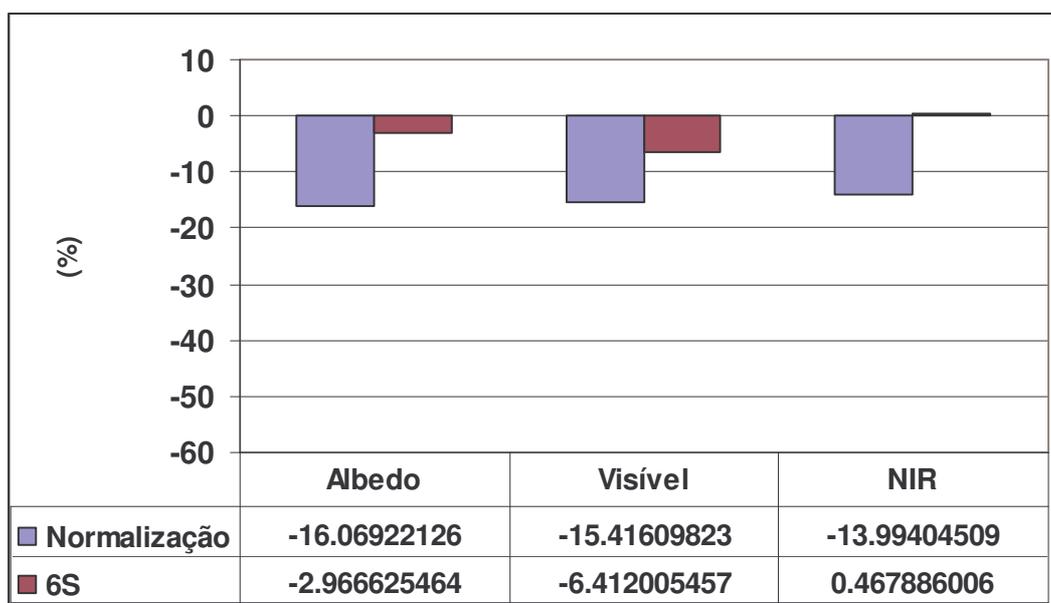
Na **Tabela 1** percebe-se que os valores estimados que mais se aproximaram dos valores coletados em campo foram gerados através da correção atmosférica individual para cada imagem utilizando o 6S. Os desvios relativos entre as duas metodologias e os valores coletados em campo para os dias 28/09/1999 e 30/09/2000 estão expressos na **Figura 2** e **Figura 3**, respectivamente.



**Figura 2** – Desvios relativos em relação aos dados de campo para 28/09/1999.

Para a data de 28/09/1999 os desvios relativos referentes às estimativas através da correção atmosférica utilizando o 6S apresentaram desvios relativos de -3.74% no albedo,

-6.53% na reflectância do visível e -2.74% na reflectância do infravermelho próximo e médio. Os valores estimados pela normalização radiométrica dos dados apresentaram discrepâncias maiores que os valores estimados pelo outro método. Os valores de albedo apresentaram um desvio relativo de -31.36%, a reflectância no visível de -48.24% e a reflectância no infravermelho próximo e médio de -25.46%. Em ambos os métodos para 28/09/1999 houve subestimativas em relação aos dados coletados em campo.



**Figura 3** – Desvios relativos em relação aos dados de campo para 30/09/2000.

A **Figura 3** mostra os desvios relativos para o dia 30/09/2000. Percebe-se uma diminuição dos erros no método de normalização radiométrica, porém, estes apresentam subestimativas de até 16.07% em relação aos dados de albedo coletados em campo, 15.41% em relação aos dados de reflectância no visível e -13.99% em relação aos dados de reflectância no infravermelho próximo e médio. A correção atmosférica de cada passagem obteve os melhores resultados, com erros de -2.96% para o albedo, -6.41% para a reflectância no visível e 0.4678% para a reflectância no infravermelho próximo e médio.

A **Tabela 2** mostra a diferença absoluta entre estimativas de albedo, reflectância no visível e reflectância no infravermelho próximo e médio, entre as duas metodologias utilizadas neste trabalho: normalização radiométrica e correção atmosférica a cada passagem.

**Tabela 2** – Diferença absoluta entre os métodos utilizados (correção atmosférica – normalização radiométrica)

Data	Albedo	$\rho$ visível	$\rho$ NIR
28/09/1999	0.0472	0.0332	0.0576
30/09/2000	0.02	0.006	0.03

Percebe-se que a normalização radiométrica obteve um melhor ajuste no dia 30/09/2000, obtendo valores absolutos 2%, 0.6% e 3% menores que os valores de albedo, reflectância no visível e reflectância no infravermelho próximo e médio estimado através da correção atmosférica de cada passagem, respectivamente. Para a data de 28/09/1999 estes valores mostram-se, absolutamente, mais discrepantes, com 4.7%, 3.3% e 5.7% menores que os

valores de albedo, reflectância no visível e reflectância no infravermelho próximo e médio estimado através da correção atmosférica de cada passagem, respectivamente.

## 5. Considerações Finais

A comparação entre os dados radiométricos de duas diferentes datas, obtidos a partir de imagens TM/Landsat 5 e de medidas realizadas em campo na região de Passo do Lontra (Mato Grosso do Sul), fundamentando-se na normalização radiométrica e na correção atmosférica de cada passagem mostrou que as diferentes metodologias apresentam resultados distintos.

A estimativa dos valores de albedo, reflectância no visível e reflectância no infravermelho próximo e médio através da correção atmosférica de cada passagem apresentou valores muito próximos a aqueles coletados em campo. É necessário salientar que os resultados aqui obtidos estão intrinsecamente ligados às condições específicas de aquisição das imagens utilizadas.

## Agradecimentos

Nós agradecemos ao Dr. Yosio Edemir Shimabukuro pela colaboração e ajuda prestada.

## Referências

- Canty, M. J.; Nielsen, A. A.; Schmidt, M. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 441-451, 2004.
- Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.
- Chavez, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.
- Crist, E. P.; Laurin, R.; Cicone, R. C. Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data. In **Proceedings of IGARSS' 86 Symposium**, 1465-70. Ref. ESA SP-254. Paris: European Space Agency., 1986. Disponível em: <http://www.ciesin.org/docs/005-419/005-419.html>, acesso em: 07/11/2006.
- Eiten, George. **Vegetação natural do Distrito Federal**. Brasília: SEBRAE/DF, 2001.
- GLCF (Global Land Cover Facility). Geocover Technical Guide. Produced by University of Maryland/USA. Disponível em: <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/guide/>. Acesso em: 10/09/2006.
- Hall, F. G.; Strebel, D. E.; Nickeson, J. E.; Goetz, S. J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 11-27, 1991.
- Liang, S., Narrowband to broadband conversions of land surface albedo algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 213-238, 2000.
- Pereira, G.; Moraes, E.C.; Arai, E.; Oliveira, L.G.L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. In: **1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Campo Grande, MS, 11 a 15 de novembro de 2006.
- Röder, A.; Kuemmerle, T.; Hill, J. Extension of retrospective datasets using multiple sensors. An approach to radiometric intercalibration of LANDSAT TM and MSS data. **Remote Sensing of Environment**, v.95, n.2, p.195-210, Mar. 2005.
- Spring. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. versão 4.3**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005.
- Teillet, P. M. A status overview of earth observation calibration/validation for terrestrial applications. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 4, p. 291-298, Dec. 1997.
- 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, n.1-2, p.39-54, Oct. 2001.

Vermote, E. F; Tanre, D.; Deuze, J. L.; Herman, M.; Morcrette J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens.**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.