

CONVERSÃO DE NÚMEROS DIGITAIS DE IMAGENS ORBITAIS EM VALORES DE FRB DE SUPERFÍCIE

Orbital images digital number conversion to surface BRF values

FLÁVIO JORGE PONZONI¹
SANDRA BENFICA DOS SANTOS¹

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

RESUMO

Imagens TM/Landsat 5 de quatro diferentes datas tiveram seus números digitais (ND) convertidos para Fatores de Reflectância Bidirecional de superfície (FRB de superfície) mediante a aplicação de duas diferentes alternativas. A primeira incluiu a aplicação do modelo de correção atmosférica 6S e a segunda a normalização radiométrica aplicada sobre a série temporal de imagens. Dados radiométricos coletados sobre uma área de pastagem concomitantemente a uma das passagens do satélite Landsat 5 foram utilizados na comparação entre os FRB de superfície gerados a partir das duas alternativas de conversão mencionadas. Os resultados indicaram que as caracterizações espectrais de objetos realizadas a partir dos valores de FRB de superfície, determinados através das duas alternativas, seriam consistentes, principalmente para objetos não escuros como a água. Nesse aspecto, as caracterizações espectrais realizadas com valores de FRB de superfície calculados a partir do modelo 6S apresentam ligeira maior consistência. A comparação estatística entre os FRB de superfície de campo com aqueles convertidos pelas duas alternativas indicou maior similaridade entre os dados de campo e aqueles oriundos do modelo 6S.

Palavras-chave: Conversão radiométrica, Fator de Reflectância, normalização radiométrica

ABSTRACT

TM/Landsat 5 images from four different dates have been converted to surface Bidirectional Reflectance Factors (BRF surface) through two alternatives. The first one has included the 6S atmospheric correction code and the second one has been

based on the radiometric normalization of the TM/Landsat 5 images. Radiometric data from a pasture during the Landsat 5 flight over the study area (one specific date) were compared to the BRDF surface determined from the two conversion alternatives. Results have indicated that the spectral characterizations of different targets, independent from the conversion alternative, would be consistent, mainly for targets no so dark as water, for instance. The spectral characterization carried out by BRDF surface values calculated by the 6S code presented higher consistency. The statistical comparison between the BRDF surface from the field and those determined by the two alternatives has indicated higher similarity between BRDF surface from the pasture and those originated from the 6S code application.

Key-words: Radiometric conversion, Reflectance Factor, radiometric normalization

1. INTRODUÇÃO

Prática comum entre os profissionais envolvidos com a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto na avaliação quantitativa dos recursos naturais é a conversão dos números digitais (ND) presentes em imagens orbitais em valores de parâmetros físicos, principalmente em Fatores de Reflectância Bidirecional (FRB).

Em realidade, segundo Schaeppman-Strub et al. (2006), essa conversão nem sempre resulta em valores de FRB, pois dependendo da metodologia empregada é possível a conversão para valores de Fatores de Reflectância Hemisférico-Direcional, quando é incluída a fração difusa da radiação incidente, além de outros fatores dependentes também da geometria de visada. Apesar dessas considerações, o termo FRB será tratado aqui como referente aos fatores de reflectância resultantes tanto da aplicação de coeficientes de calibração dos sensores orbitais, quanto de modelos de transferência radiativa, por ser essa uma terminologia ainda relativamente bem disseminada entre a comunidade de usuários das técnicas de sensoriamento remoto.

O principal objetivo da conversão em questão é a caracterização espectral de objetos presentes na cena, quer seja em um determinado momento do tempo (em uma única passagem), em diferentes momentos (em diferentes passagens) ou ainda mediante a utilização de dados de diferentes sensores igualmente defasados no tempo. Para tanto, frequentemente duas etapas principais são consideradas. A primeira refere-se à conversão dos NDs das imagens em valores de FRB aparente mediante a aplicação de coeficientes de calibração dos sensores que as geraram. O termo “aparente” aqui se refere ao fato de que no cálculo dos FRBs não foi desconsiderada a interferência atmosférica, não sendo possível ainda sua utilização na caracterização espectral mencionada. A segunda se refere à conversão dos FRBs aparente em FRB de superfície mediante a aplicação de algum método de correção atmosférica, frequentemente aqueles fundamentados na transferência radiativa (Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

Após a conversão para FRB de superfície é prudente a avaliação da consistência dos resultados, o que é feito através da inspeção visual de espectros de

objetos conhecidos presentes na cena, procurando observar nestes espectros as formas típicas daqueles objetos em refletir a radiação incidente; ou ainda mediante a comparação entre esses espectros e aqueles obtidos através de medidas radiométricas realizadas em campo, concomitantemente à passagem do satélite. Esta última possibilidade é raramente explorada uma vez que em muitos estudos as conversões são baseadas em dados adquiridos no passado, frequentemente defasados em meses ou anos.

Quando a caracterização espectral deve ser feita ao longo do tempo, e mediante a aplicação de dados de um mesmo sensor, (a normalização radiométrica torna-se obrigatória quando do emprego de dados provenientes de diferentes sensores, sejam estes defasados ou não no tempo). Surgem duas possibilidades as quais têm sido exploradas sem que uma avaliação mais minuciosa dos resultados e de suas conseqüências sobre as conclusões de muitos trabalhos tenha sido feita. Uma das possibilidades inclui a conversão de toda a série temporal de imagens (em todas as diferentes passagens) em valores de FRB de superfície, individualmente e independentemente. A outra possibilidade inclui a aplicação de algum método de normalização radiométrica, como aquele sugerido por Hall et al. (1991), no qual se busca alguma compatibilidade radiométrica entre as imagens das diferentes datas, elegendo imagens de uma data específica e já convertida para FRB de superfície como referência, seguindo-se a conversão de valores de FRB aparente das demais imagens da série temporal para valores de FRB de superfície via normalização.

Uma vez que existem duas possibilidades de conversão, caberiam os questionamentos sobre o grau de similaridade entre caracterizações espectrais de um mesmo objeto geradas a partir da aplicação das duas metodologias e ainda sobre o grau de similaridade entre essas caracterizações e aquela realizada em campo (“verdade”).

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a similaridade entre caracterizações espectrais de diferentes objetos realizadas mediante série temporal de imagens TM/Landsat 5 e comparar dados de FRB de superfície calculados através das duas metodologias mencionadas de uma data específica com dados de FRB coletados em campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo e Coleta de Dados Radiométricos

A área de estudo está situada no município de Pirassununga, SP, entre as coordenadas 22° 3'S, 47° 21'W e 22° 5'S, 47° 19'W, a uma altitude aproximada de 610 m e referiu-se a uma pastagem (pasto) com dimensões aproximadas de 360 m x 290 m (104.400 m²) e com relevo plano. Essa superfície apresentava cobertura vegetal homogênea (graminóide), permitindo pouca participação do solo nas medidas radiométricas, as quais foram efetuadas entre 09:30h e 10:30h do dia 20 de Junho de 2007, data coincidente com a passagem do satélite Landsat-5. Essas

medidas foram efetuadas em 67 pontos específicos da superfície, distanciados entre si de 30 m (aproximadamente), cujas coordenadas individuais de cada medida foram determinadas com um receptor GPS. O espectrorradiômetro FieldSpec PRO, que atua na faixa espectral compreendida de 350 a 2500 nm., foi o equipamento utilizado nesta etapa do trabalho, cujas medidas foram disponibilizadas em valores de Fatores de Reflectância Bidirecional (FRB) que serão denominados aqui por FRB campo.

Os dados GPS serviram para a identificação dos pixels correspondentes nas imagens do sensor TM/Landsat-5, após a realização das correções atmosféricas e da aplicação de um método de normalização radiométrica.

2.2. Imagens TM/Landsat e Conversão para FRB Aparente

Uma série temporal de imagens nas 6 bandas espectrais do espectro óptico do sensor TM/Landsat 5 foi constituída por imagens de 24.06.1997, de 03.06.2001, de 14.06.2005 e de 20.06.2007, esta última coincidente com a data de coleta de dados em campo.

As imagens foram recortadas de forma a compor um quadrilátero compreendido entre as coordenadas 22° 7' 31,23" S, 47° 29' 7,90" O e 21° 55' 40,81"S, 47° 12' 12,44" O.

Todas as imagens foram convertidas para FRB aparente mediante a aplicação da equação 1 (Markham e Barker, 1986). O termo aparente refere-se ao fato de que o valor de FRB não é explicado apenas pelas propriedades espectrais do alvo ou alvos contidos em um determinado pixel, mas também pelas características espectrais dos seus vizinhos e da atmosfera.

$$FRB_{apa_{\lambda}} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{E_{sun_{\lambda}} \cdot \cos \theta_s} \quad (1)$$

Onde: $FRB_{apa_{\lambda}}$ é FRB aparente na banda espectral λ ;

L_{λ} é a radiância no topo da atmosfera na banda espectral λ ;

$E_{sun_{\lambda}}$ é a irradiância solar no topo da atmosfera na banda espectral λ ;

$\cos \theta_s$ é o cosseno do ângulo de elevação solar, e;

d é a distância Terra-Sol em unidades astronômicas no dia de ocorrência de L_{λ} e de $E_{sun_{\lambda}}$.

Os valores de L_{λ} foram determinados mediante a aplicação da equação 2 (Markham e Barker, 1986).

$$L_{\lambda} = L_{\min_{\lambda}} + \frac{L_{\max_{\lambda}} - L_{\min_{\lambda}}}{255} ND_{\lambda} \quad (2)$$

Onde: $L_{\min_{\lambda}}$ e $L_{\max_{\lambda}}$ referem-se às radiâncias mínimas e máximas que o sensor é apto a medir em cada banda espectral λ ; e

ND_{λ} é o valor do número digital da imagem na banda espectral λ

Os valores de L_{\min} , e de L_{\max} foram adotados segundo proposto por Chander e Markham (2003) em cada uma das diferentes datas, levando em consideração as sucessivas atualizações de calibração absoluta dos dados do sensor TM/Landsat 5, que vêm sendo conduzidas ao longo de sua vida útil. A Tabela 1 apresenta os valores adotados, segundo esses autores. Os valores de ρ_s foram extraídos dos dados apresentados no Catálogo de Imagens TM/Landsat, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais na Internet. Os valores de d foram determinados mediante consulta ao Anuário Astronômico do Instituto Astronômico da Universidade de São Paulo.

Tabela 1 – Valores de L_{\min} , e de L_{\max} adotados para as diferentes datas (Chander e Markham, 2003).

Processamento	Radiâncias espectrais, L_{\min} and L_{\max} em $W/(m^2.sr.\mu m)$			
	De 1 de março de 1984 a 4 de maio de 2003		Apartir de 5 de maio de 2003	
Bandas	L_{\min}	L_{\max}	L_{\min}	L_{\max}
1	- 1.52	152.10	- 1.52	193.0
2	- 2.84	296.81	- 2.84	365.0
3	- 1.17	204.30	- 1.17	264.0
4	- 1.51	206.20	- 1.51	221.0
5	- 0.37	27.19	- 0.37	30.2
7	- 0.15	14.38	- 0.15	16.5

2.3. Correção Atmosférica e Normalização Radiométrica

Foram adotadas então duas estratégias na conversão dos NDs das imagens TM/Landsat 5 para valores de FRB de superfície. Na primeira delas, toda a série temporal de imagens, já convertidas para valores de FRB aparente, foi submetida ao processamento do modelo 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (Vermote et al., 1997) individualmente. Neste caso, os parâmetros de entrada referentes à caracterização da atmosfera foram igualmente particulares e específicos de cada passagem. Este modelo fundamenta-se na teoria da transferência radiativa que leva em consideração a trajetória da radiação eletromagnética e suas modificações qualitativas e quantitativas antes e depois de interagir com a superfície terrestre. Seu processamento inclui a caracterização da atmosfera da qual se pretende minimizar seu efeito sobre a reflectância dos alvos, bem como a caracterização do sensor que gerou as imagens que se pretende minimizar o efeito atmosférico. Como resultado do seu processamento, originam-se as imagens FRB de superfície, cujos valores passam a ser associados às propriedades espectrais dos alvos contidos em cada pixel da imagem, descaracterizando-se então o termo “aparente”.

Na segunda alternativa, as imagens de 24.06.1997, convertidas para FRB de superfície via modelo 6S, foram consideradas como referência no procedimento de normalização radiométrica proposto por Hall et al. (1991). As demais imagens da série temporal que haviam sido convertidas para FRB aparente foram então alteradas radiometricamente para tornarem-se compatíveis com aquelas de referência.

Essa compatibilidade é atingida mediante a aplicação de um modelo de regressão linear estabelecido tomando-se como base pixels escuros e claros (valores extremos) de objetos invariantes em cada cena (referência e daquelas a serem normalizadas) em cada banda espectral. A descrição completa da aplicação deste procedimento de normalização pode ser encontrada também em Ponzoni e Shimabukuro (2007).

Como resultados da normalização, levando em consideração que as imagens referência haviam sido convertidas para FRB de superfície, são imagens de FRB aparente, convertidas para FRB de superfície.

2.4. Critérios de Avaliação

Ao final do processamento dos dados, a série temporal de imagens passou a ser representada por imagens convertidas para FRB de superfície calculados por duas metodologias distintas. A comparação entre esses dados foi feita segundo dois critérios. No primeiro, foram selecionados arbitrariamente na cena diferentes objetos (solo exposto, floresta, reflorestamento, plantio de cana-de-açúcar e pastagem) presentes nas mesmas coordenadas em todas as datas com o objetivo de avaliar suas dinâmicas espectrais tanto nas imagens corrigidas pelo efeito da atmosfera individualmente, quanto aquelas geradas através da normalização radiométrica. Evidentemente tal dinâmica é dependente do grau de variação temporal que estes objetos sofriam.

Nesse primeiro critério, a avaliação foi fundamentada na análise visual de gráficos FRB de superfície versus banda espectral.

No segundo critério, valores médios de FRB de superfície e de FRB campo foram determinados tomando como base os 67 espectros coletados em campo e as suas coordenadas que serviram na localização destes pontos nas imagens do dia 20.06.2007. Esses valores médios e seus respectivos desvios padrões foram apresentados em um gráfico (FRB versus bandas espectrais), com o objetivo de avaliar, ao menos visualmente, as diferenças entre as curvas das três séries de dados (FRB de superfície proveniente do modelo 6S, FRB de superfície proveniente da normalização radiométrica e FRB campo). Em seguida e com o objetivo de identificar significância estatística do ordenamento dessas curvas, foi aplicado o teste Friedman (Siegel, 1977) para amostras relacionadas. Para tanto, as três fontes de valores de FRB foram consideradas como originadas de grupos diferenciados e o teste foi aplicado para os dados em cada uma das bandas espectrais do sensor

TM/Landsat 5 ao nível de 5% de significância. O resultado significativo para este teste indica que pelo menos um ordenamento entre as três curvas era significativo.

A opção pela adoção deste teste em detrimento dos tradicionais de diferenças de médias como a Análise de Variância (ANOVA), por exemplo, se justifica pelo fato de que há correlação espacial entre os pontos amostrados radiometricamente em campo e seus homólogos extraídos das imagens orbitais em cada banda. Essa correlação inviabilizou a aplicação destes testes de médias, cabendo portanto, a aplicação de testes não paramétricos que permitiram a avaliação da significância do ordenamento das curvas espectrais, o que atendia plenamente os objetivos propostos neste trabalho.

Seguiu-se a aplicação do teste de Wilcoxon (Siegel, 1977) ao nível de 5% de significância para o caso de duas amostras que se presta para indicar significância estatística do ordenamento de pares de amostras. Desta forma foi possível identificar, em cada banda espectral do sensor TM/Landsat 5, qual ordenamento foi significativo.

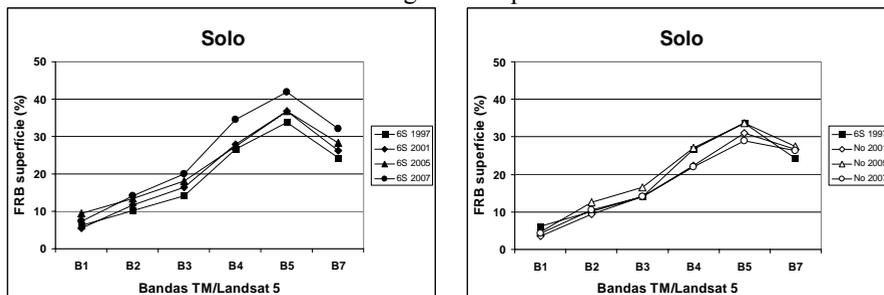
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

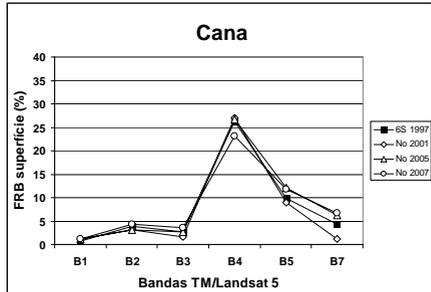
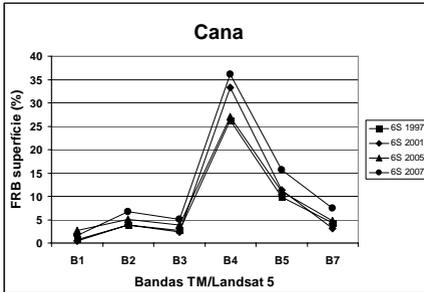
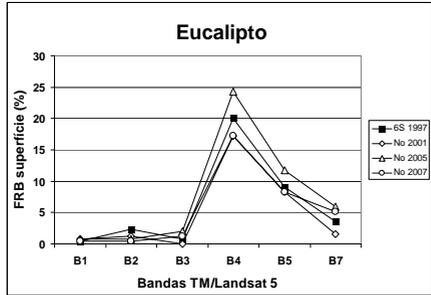
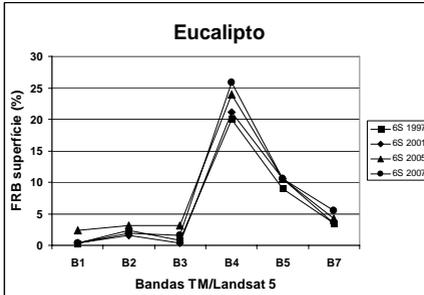
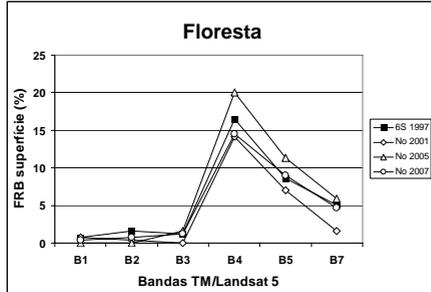
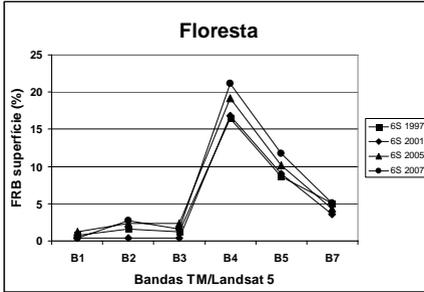
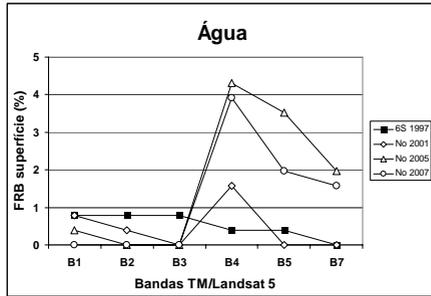
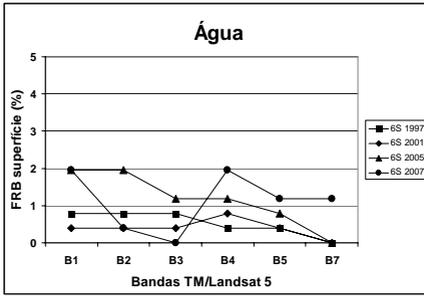
3.1. Avaliação de Espectros

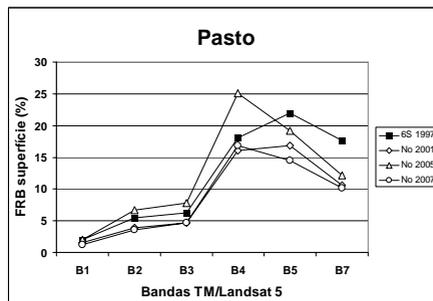
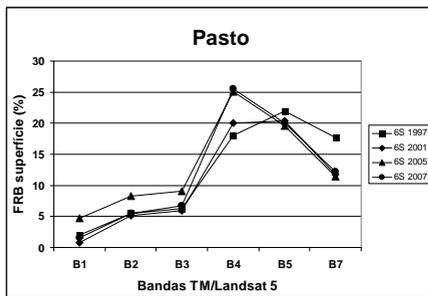
Conforme mencionado anteriormente, uma das principais análises da consistência dos resultados alcançados na conversão NDs presentes em imagens em valores físicos baseia-se na avaliação de curvas espectrais de objetos presentes na superfície terrestre. Tais curvas devem apresentar, no mínimo, alguma correspondência com as respectivas assinaturas espectrais (neste caso de reflectância).

A Figura 1 apresenta gráficos de FRB de superfície determinados para as imagens convertidas mediante a aplicação do modelo 6S e para aquelas geradas através da normalização radiométrica.

Figura 1 – Valores de FRB de superfície de diferentes objetos caracterizados ao longo do tempo.







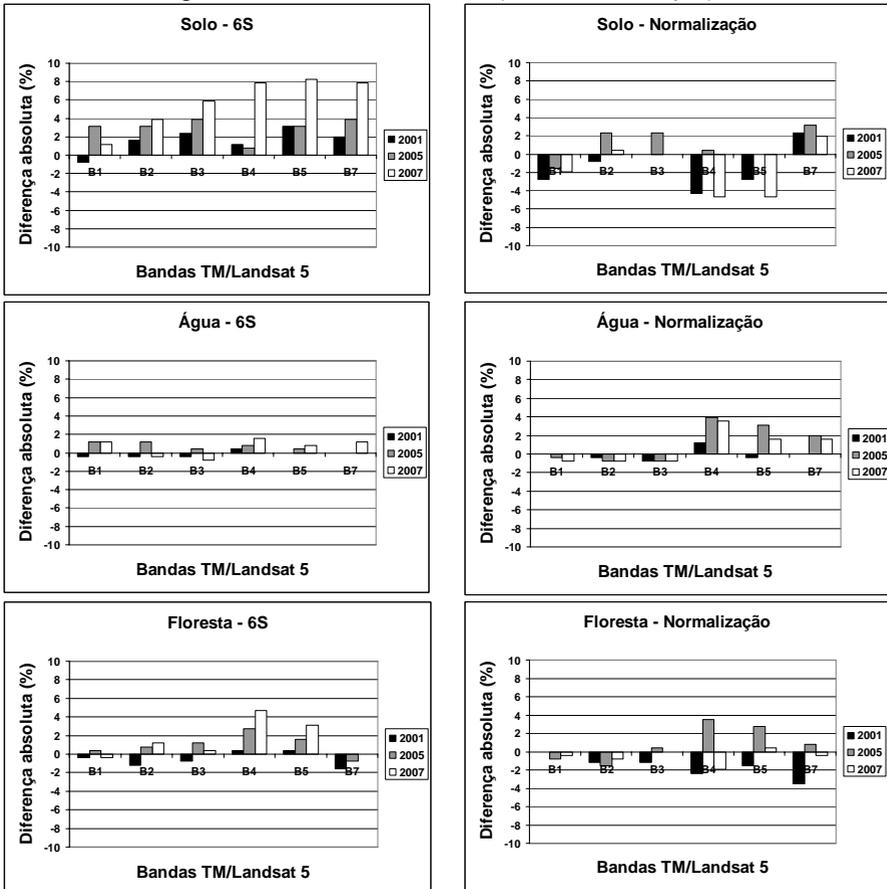
Os gráficos desta Figura 1 foram elaborados com escalas diferenciadas em “y” de forma a permitir a avaliação individual da forma típica de reflexão de radiação incidente. Com exceção do objeto Água em 20.06.2007 (FRB de superfície calculados pelo modelo 6S e pela normalização) e em 14.06.2005 (FRB de superfície calculados pela normalização), todas as demais curvas, quer seja nos valores de FRB de superfície determinados a partir da aplicação do modelo 6S ou pelo processo de normalização, apresentaram as formas típicas esperadas e específicas de reflectância. Assim, se apenas um dos critérios de conversão tivesse sido adotado, pela avaliação visual dos gráficos em questão, qualquer um dos procedimentos teria gerado valores consistentes, com alguma dúvida no objeto Água. Cujos dados convertidos via normalização apresentaram “deformações” nas curvas de 14.06.2005 e de 20.06.2007, sugerindo introdução de distorções nos valores de FRB de superfície, provavelmente causadas pelo fato da água ser um objeto escuro e considerado invariável no processo de normalização.

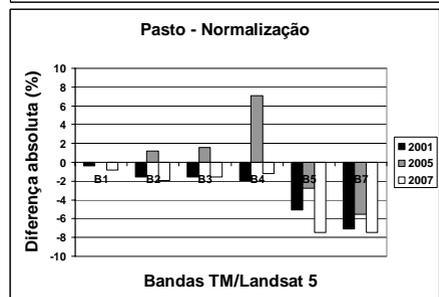
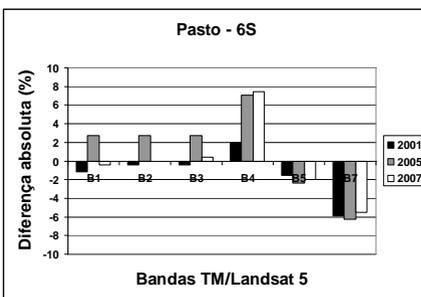
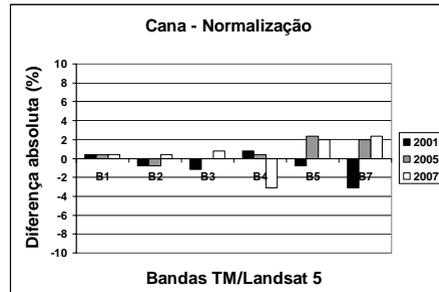
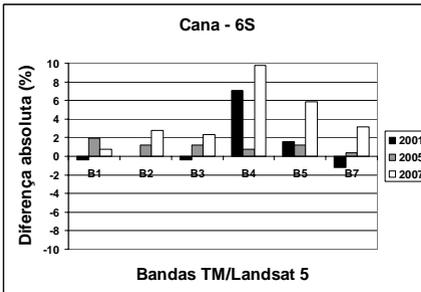
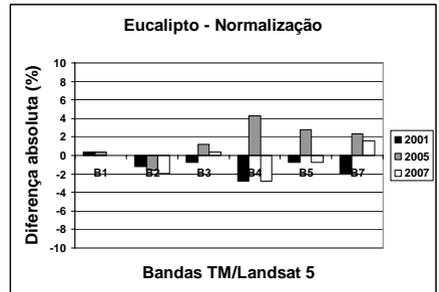
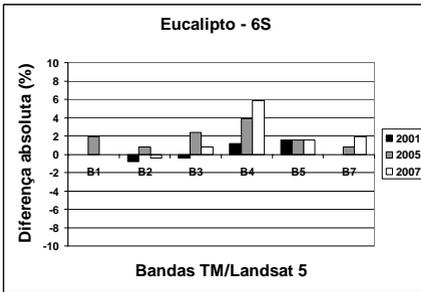
A Figura 2 apresenta gráficos das diferenças absolutas entre os valores de FRB de superfície (expressos em percentagem) calculados para a data referência (24.06.1997) e as demais datas, considerando os dois processos de conversão. Com exceção dos objetos Pastagem e Floresta, todos os demais, em praticamente todas as bandas espectrais, apresentaram menores diferenças para as imagens convertidas via normalização. Para o objeto Eucalipto, as diferenças entre as alternativas de conversão foram muito similares.

É importante destacar que a similaridade entre os valores de FRB de superfície ao longo do tempo, seria esperada para aqueles que apresentassem pouca variação espectral, ou seja, para aqueles considerados invariáveis como o Solo (desde que seus teores de umidade não tenham se alterado significativamente) e a Água (desde que esta também não apresente alterações em sua composição química ou de quantidade de sedimentos). Para objetos compostos por cobertura vegetal, modificações nos valores de FRB de superfície são esperadas devido às variações na biomassa foliar ou na arquitetura da planta em função de seus diferentes estágios fenológicos. Assim, a similaridade espectral com os dados das imagens da data assumida como de referência não pode ser considerada como um aspecto totalmente

positivo, senão pode incluir distorções indesejáveis na caracterização espectral pretendida.

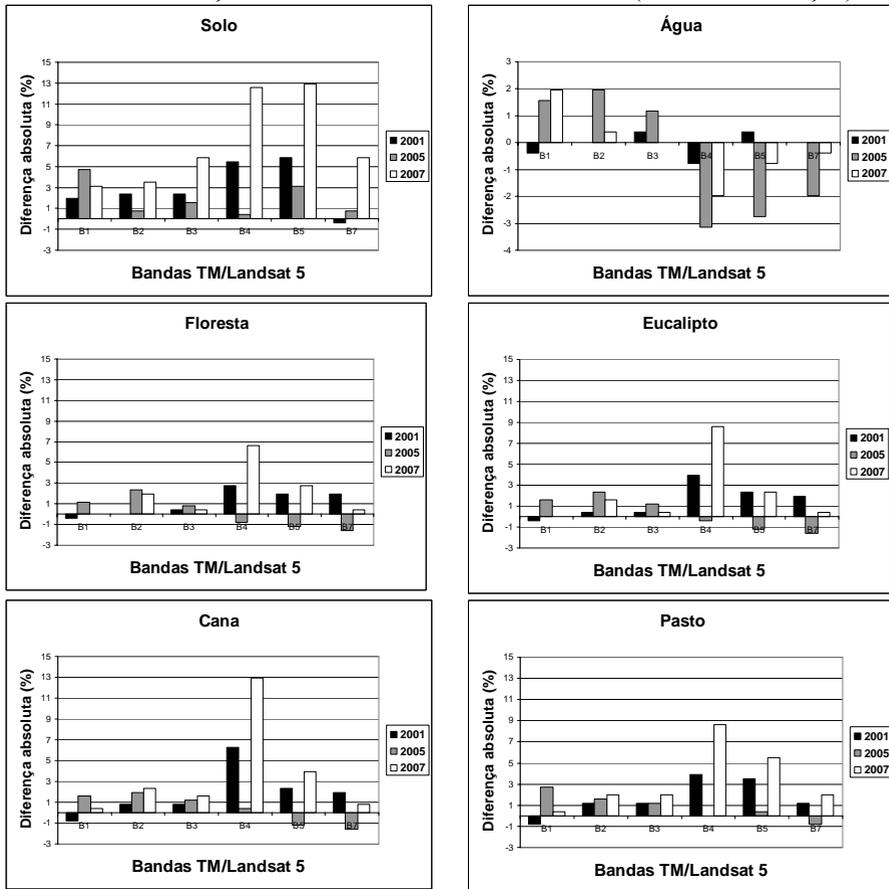
Figura 2 – Diferenças absolutas entre valores de FRB de superfície das imagens de referência (24.06.1997) e aquelas das demais datas, considerando os dois procedimentos de conversão (6S e Normalização).





Considerando agora as diferenças entre os valores de FRB de superfície calculados mediante a adoção das duas alternativas, a Figura 3 apresenta tais diferenças para cada um dos objetos, nas seis bandas espectrais do sensor TM/Landsat 5 para todas as datas, exceto, obviamente, a data considerada como referência (24.06.1997).

Figura 3 – Diferenças absolutas entre os valores de FRB de superfície calculados mediante a adoção das duas alternativas de conversão (6S e Normalização).



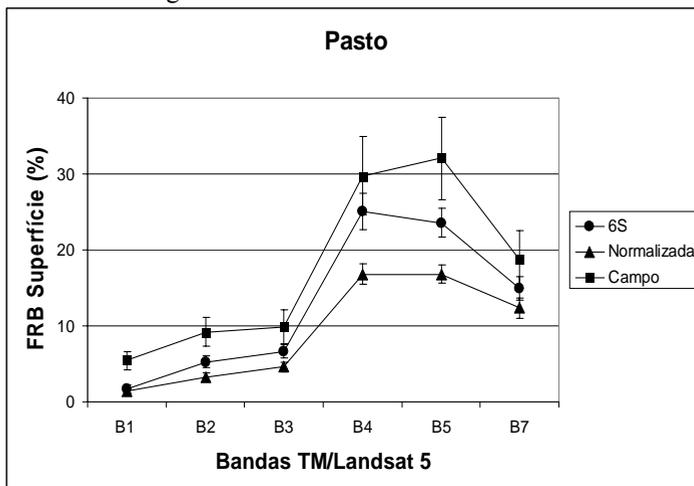
A análise das diferenças apresentadas na Figura 3 permite observar que as maiores ocorreram para os dados de 20.06.2007, principalmente nas bandas do infravermelho próximo e médio (bandas 4 e 5). O objeto Solo, apresentou as maiores diferenças. Talvez por ser ele considerado invariável no processo de normalização, “obrigando” os valores de FRB de superfície a sofrer maior alteração no processo de normalização visando forçar semelhança com os valores de FRB de superfície das imagens de referência. Os valores de FRB de superfície dos demais objetos são definidos através da regressão linear, acarretando menor variação em relação aos valores mais extremos da amplitude espectral (claro e escuro).

3.2. Análise Estatística

A Figura 4 apresenta um gráfico contendo valores de FRB de superfície e seus respectivos desvios padrões para os 67 pontos amostrados em campo e extraídos das imagens de 20.06.2007 convertidas através das duas alternativas de conversão.

Figura 4 – Valores de FRB de superfície medidos em campo e extraídos das imagens de 20.06.2007 convertidas pelas duas alternativas de conversão.

Figura 4 – Gráfico dos valores de FRB.



Observa-se que, para toda a amplitude espectral considerada, os valores de FRB campo foram sempre superiores aos demais, cujas diferenças foram maiores nas bandas 4 e 5. Se os dados de campo forem considerados como “verdade”, conclui-se que na região do visível (bandas 1-3), os dados convertidos do sensor TM/Landsat 5 parecem indicar maior absorção das gramíneas que compõem a pastagem em questão ou ainda menor interferência do solo. Na região do infravermelho (banda 4) o espalhamento da cobertura vegetal parece ter sido subestimado, enquanto que na região do infravermelho médio (bandas 5 e 7), a participação do solo foi igualmente subestimada, privilegiando a absorção da água nas folhas das gramíneas.

O resultado do teste de Friedman encontra-se apresentado na Tabela 2 através do qual procurou-se identificar significância em pelo menos um ordenamento entre os valores de FRB de superfície determinados em campo, pela aplicação do modelo 6S e pela normalização das imagens, em todas as 6 bandas espectrais do sensor TM/Landsat 5.

Tabela 2 – Resultado do teste de Friedman

B1	Média/Orden.	Soma/ Orden.	Média	Desvio	p 0,05
6S	1,805970	121,0000	1,697395	0,588782	0,00000
Normalizada	1,223881	82,0000	1,434006	0,286002	
Campo	2,970149	199,0000	5,488750	1,199583	
B2	Média/Orden.	Soma/Orden.	Média	Desvio	
6S	2,029851	136,0000	5,261926	0,763690	0,00000
Normalizada	1,014925	68,0000	3,277729	0,593957	
Campo	2,955224	198,0000	9,171864	1,917463	
B3	Média/Orden.	Soma/Orden.	Média	Desvio	
6S	2,089552	140,0000	6,690079	0,879226	0,00000
Normalizada	1,014925	68,0000	4,612233	0,637068	
Campo	2,895522	194,0000	9,890636	2,260782	
B4	Média/Orden.	Soma/Orden.	Média	Desvio	
6S	2,179104	146,0000	25,10389	2,367250	0,00000
Normalizada	1,014925	68,0000	16,79251	1,346282	
Campo	2,805970	188,0000	29,75186	5,120633	
B5	Média/Orden.	Soma/Orden.	Média	Desvio	
6S	2,104478	141,0000	23,55282	1,879331	0,00000
Normalizada	1,014925	68,0000	16,80421	1,227368	
Campo	2,880597	193,0000	32,05278	5,403637	
B7	Média/Orden.	Soma/Orden.	Média	Desvio	
6S	2,164179	145,0000	14,91367	1,589244	0,00000
Normalizada	1,044776	70,0000	12,37928	1,327631	
Campo	2,791045	187,0000	18,74613	3,768567	

A análise dos resultados apresentados na Tabela 2 fundamenta-se nas médias dos ordenamentos (Média/Ordem) e nos valores de p, que se superiores a 0,05% indicariam que os ordenamentos não tinham relevância significativa. Os resultados indicaram então que em todas as bandas pelo menos um ordenamento era significativo, assim, seguiu-se a aplicação do teste de Wilcoxon para identificação dos ordenamentos significativos a 0,05% de probabilidade, cujos resultados encontram-se apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado da aplicação do teste de Wilcoxon para identificação de ordenamentos significativos a 0,05% de probabilidade.

B1	N	T	Z	p 0,05
Norm x 6S	67	707,0000	2,698551	0,006965
Norm x Campo	67	1,000000	7,108683	0,000000
6S x Campo	67	6,000000	7,077450	0,000000
B2	N	T	Z	p-level
Norm x 6S	67	0,00	7,114930	0,000000
Norm x Campo	67	13,00000	7,033723	0,000000
6S x Campo	67	64,00000	6,715144	0,000000
B3	N	T	Z	p-level
Norm x 6S	67	0,00	7,114930	0,000000
Norm x Campo	67	26,00000	6,952517	0,000000
6S x Campo	67	91,00000	6,546485	0,000000
B4	N	T	Z	p-level
Norm x 6S	67	0,00	7,114930	0,000000
Norm x Campo	67	20,00000	6,989997	0,000000
6S x Campo	67	279,0000	5,372115	0,000000
B5	N	T	Z	p-level
Norm x 6S	67	0,00	7,114930	0,000000
Norm x Campo	67	8,000000	7,064956	0,000000
6S x Campo	67	85,00000	6,583965	0,000000
B7	N	T	Z	p-level
Norm x 6S	67	0,00	7,114930	0,000000
Norm x Campo	67	69,00000	6,683911	0,000000
6S x Campo	67	221,0000	5,734421	0,000000

Os resultados apresentados na Tabela 3 indicam que todos os ordenamentos tinham relevância significativa, ou seja, que os FRB de superfície provenientes do campo foram superiores aos demais (provenientes do 6S e da normalização) e que aqueles calculados mediante a aplicação do modelo 6S foi o mais similar àqueles determinados em campo, ao menos dentro da amplitude espectral considerada.

Apenas para a banda 1 (B1) foi identificada uma sutil tendência de similaridade entre os FRB de superfície calculados mediante a aplicação da normalização e do modelo 6S, mas ainda assim com resultado diferenciado ao nível de 0,05% de probabilidade.

4. CONCLUSÕES

Considerando a caracterização espectral de objetos, as duas alternativas de conversão radiométrica (6S e normalização) resgataram as formas típicas de reflexão da radiação incidente de cada um dos objetos aqui considerados. Para o objeto Água, a normalização aparentemente promoveu as maiores distorções na curva de FRB de superfície em relação à aplicação do modelo 6S. Assim, se somente a caracterização espectral fosse o objetivo de algum estudo ou trabalho, com exceção do estudo de um objeto escuro como a água, qualquer uma das alternativas resultariam em dados consistentes.

Tendo como referência um único objeto como o Pasto, as conversões utilizando o modelo 6S proporcionaram maior similaridade com dados coletados em campo. Apesar disso, seria recomendável que outros estudos fossem conduzidos com a inclusão de objetos com diferentes características espectrais entre si em uma mesma cena as quais deveriam ser determinadas em campo e comparadas com caracterizações realizadas a partir de imagens convertidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHANDER, G.; MARKHAM, B. *Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges*, IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, Vol. 41, No. 11, pp. 2674-2677, 2003.
- 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, Vol. 35, pp. 11-27, 1991.
- MARKHAM, B.L., BARKER, J.L. *Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures*. Landsat Technical Notes, 1.1-8, 1986.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. *Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação*. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 127 p.
- SCHAEPMAN-STRUB, G.; SCHAEPMAN, M.E. PAINTER, T.H.; DANGEL, S.; MARTONCHIK, J.V. *Reflectance quantities in optical remote sensing-definitions and case studies*. Remote Sensing of Environment, Vol. 103, pp.27-42, 2006.
- SIEGEL, S. *Estatística não paramétrica*. Editora McGraw-Hill do Brasil. 250p., 1977.
- 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 Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35(3): 675-686, 1997.

(Recebido em agosto/08. Aceito em novembro/08).