

## Comparação cruzada dos sensores LISS-III/ResourceSat-1 e TM/Landsat 5

Elias Fernando Berra<sup>1</sup>  
Denise Cybis Fontana<sup>1</sup>  
Tatiana Mora Kuplich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Caixa Postal 15044 – 91501970 – Porto Alegre – RS, Brasil;  
eliasberra@yahoo.com.br; dfontana@ufrgs.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS  
Caixa Postal 5021 - CEP 97105970 – Santa Maria - RS;  
tmk@dsr.inpe.br

**Abstract.** With the closure of the Landsat 5 satellite activities, many interests has been raised about finding a sensor with similar characteristics to the ones onboard Landsat series. In this context, the sensors onboard the IRS (Indian Remote Sensing) satellites emerged as an option. The aim of this study was to conduct a cross-comparison of equivalent bands from LISS-III (Linear Imaging Self Scanner III onboard ResourceSat-1) and TM (Thematic Mapper onboard Landsat 5) sensors. The comparison was made based on pixels located within forest stands. During 2010, a forest inventory and collection of GPS control points were performed in stands of *Pinus elliotti* aged 5-8 years. These served as a point of reference for the selection of samples inside images from the two sensors (scenes acquired with a difference of 17 days between them). Surface reflectance values were retrieved using the FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) module. Scatter plots with adjusted regression curves and coefficients of determination of the equivalent bands from the two sensors were generated to quantify the uncertainties and provide an evaluation of the differences between the sensors. The adjusted regressions pointed the medium infrared bands as those of greater similarity ( $r^2 = 0.90$  and angular coefficient of 0.91) and green bands as having the lower similarity ( $r^2 = 0.67$  and angular coefficient of 0.63).

**Key-words:** intercalibration; equivalent bands; reflectance; forest canopy; intercalibração; bandas equivalentes; reflectância; dossel florestal

### 1. Introdução

O sistema Landsat, colocado em órbita pela primeira vez em 1972, contribuiu significativamente para o entendimento do ambiente terrestre (Willians et al., 2006) com aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento. A descontinuidade do programa Landsat a partir da interrupção de aquisição de imagens pelo Landsat 5 em 2011 (NASA, 2012 a) criou, e vem criando, um vazio de informações na série histórica desta plataforma até que seja lançado o novo Landsat, previsto para 2013 (NASA, 2012 b).

Em vista disso, surgiu uma demanda por imagens de satélite com características similares as encontradas no Landsat. Neste ponto, os satélites da série IRS (*Indian Remote Sensing satellite*) despontam como uma opção.

O sensor LISS-III (*Linear Imaging Self-Scanner III*), a bordo do satélite indiano ResourceSat-1, foi considerado o sensor que forneceu a melhor combinação com Landsat 5 em virtude de suas capacidades, características das bandas espectrais e acessibilidade dos dados e, por isso, foi considerado o mais adequado para preencher necessidades imediatas de dados com mínimas complicações (Chander e Stensaas, 2008; Anderson et al., 2011).

Geralmente, trabalhos comparando bandas equivalentes de diferentes sensores utilizam diversos alvos terrestres de forma a abranger um amplo espectro dinâmico (Chander et al., 2004; Chander et al., 2008; Chander et al., 2009b; Anderson et al., 2011). A delimitação de um único

alvo em um estudo de comparação cruzada, entretanto, oportuniza uma observação mais detalhada de sua dinâmica espectral quando observada por diferentes sensores.

O presente estudo tem como objetivo realizar a comparação cruzada de dados do sensor LISS-III com dados do sensor TM, baseando-se em observações de reflectância de superfície de um plantio de *Pinus elliottii*.

## 2. Material e métodos

A área de estudo refere-se a um plantio comercial de *Pinus elliottii*, o qual está localizado entre as coordenadas (32°41'36"S; 52°32'27"W) e (32°32'33"S; 52°23'04"W) ocupando uma estreita faixa da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, entre a Lagoa Mirim e Oceano Atlântico. A área cobre, aproximadamente, 15 quilômetros de costa marítima, sendo seu solo arenoso (Guasselli, 2005).

Durante os meses de setembro e outubro de 2010 foi realizado um inventário florestal nos povoamentos plantados entre 2002 e 2005. O inventário foi sistemático com alocação de unidades de amostra (U.A.) proporcional à área, na intensidade de uma unidade a cada 6 hectares. O GPS Garmin Etrex Legend® foi empregado para a localização da U.A. no sistema de coordenadas UTM *datum* SIRGAS-2000. A coordenada foi tomada no centro da U.A., totalizando 111 amostras.

Após pesquisa das cenas disponíveis para a área de estudo, obteve-se somente uma cena LISS-III sem cobertura de nuvens, cuja data de observação diferiu 17 dias da passagem do Landsat 5. Selecionou-se assim a imagem TM, órbita-ponto 221/83 de 07 de setembro de 2010 e a imagem LISS-III, órbita-ponto 328/103 de 26 de setembro de 2010.

A Tabela 1 mostra algumas das características dos dois sensores. Como o sensor LISS-III possui 4 bandas espectrais, foram selecionadas somente as 4 bandas equivalentes do sensor TM para as análises, a fim de possibilitar a comparação dos resultados.

Tabela 1: Características do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5 e do sensor LISS-III a bordo do satélite ResourceSat-1. Fonte: Chander et al. (2008).

Banda	Landsat 5 TM	ResourceSat-1 LISS III
	Resolução espectral ( $\mu\text{m}$ )	
1	0,45 - 0,52	-
2	0,52 - 0,60	0,52-0,59
3	0,63 - 0,69	0,62-0,68
4	0,76 - 0,90	0,77-0,86
5	1,55 - 1,75	1,55-1,70
7	2,08 - 2,35	-
	Resolução espacial (m)	
	30	23,5
	Resolução radiométrica (bits)	
	8	7
	Resolução temporal (dias)	
	16	24

O pré-processamento das imagens originais iniciou pela conversão dos valores de nível digital em valores de radiância espectral, conforme descrito por Chandler et al. (2009 a).

Após, as radiâncias espectrais foram convertidas para reflectância de superfície corrigindo tanto os efeitos solares como os atmosféricos. Tal etapa foi realizada utilizando o módulo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) do Envi v.4.5, o qual provê os meios acurados de compensação dos efeitos atmosféricos considerando a elevação, vapor d'água e aerossol (Alder-Golden et al., 1999). Como resultado de saída obtiveram-se as imagens de reflectância de superfície em cada banda espectral para os dois sensores.

Essas imagens foram então georreferenciadas a partir de 12 pontos de controle levantados na área de estudo. A coleta foi feita com um GPS Garmin Etrex Legend® no sistema de coordenadas UTM *datum* SIRGAS-2000. O interpolador bilinear foi utilizado durante o processo de reamostragem da imagem original. O RMSE (*Root Mean Square Error*) do georreferenciamento foi menor que 0,5 pixel para as imagens dos dois sensores.

Na área de estudo, o pixel contendo a unidade amostral, nos dois sensores, foi identificado e a reflectância das quatro bandas espectrais extraída para as comparações. Portanto, a comparação foi realizada somente com um alvo, ou seja, a resposta do dossel nas 111 U.A. dos plantios de *Pinus elliotti*. A comparação envolveu gráficos de dispersão, ajuste de regressão e análise de variância (ANOVA).

Em cada gráfico de dispersão, a reflectância de uma banda do sensor TM foi comparada com a reflectância da banda equivalente do sensor LISS-III. Um ajuste por mínimos quadrados foi feito para os dados em cada banda, retornando o ganho e o desvio da comparação cruzada como os coeficientes da equação linear.

ANOVA foi aplicada a 5% de probabilidade, para cada uma das bandas espectrais equivalentes, considerando-se dois tratamentos (TM e LISS-III), cada um com 111 repetições (U.A.). O valor de reflectância de superfície referente ao pixel de cada U.A. foi considerado como uma unidade amostral de um experimento inteiramente casualizado. O objetivo foi identificar a ocorrência de diferenças estatísticas entre os dois tratamentos, que indicariam a sensibilidade da variável em questão quando observada por diferentes sensores.

Gráficos representando as diferenças em porcentagem nas observações usando LISS-III em relação aos dados TM foram construídos. A diferença percentual foi calculada conforme a Equação 1 abaixo:

$$\text{Diferença (\%)} = \frac{(\text{LISS III}-\text{TM})}{\text{TM}} \times 100 \quad (1)$$

### 3. Resultados e discussão

A Tabela 2 mostra que as bandas das imagens multiespectrais que apresentaram um maior intervalo são as correspondentes às bandas do infravermelho médio, seguido da banda do infravermelho próximo, enquanto a banda do verde apresenta a menor variabilidade. Esses resultados corroboram com resultados encontrados por Orué (2002) trabalhando com ETM+. As bandas do LISS-III apresentaram uma menor variabilidade comparada com a TM.

Os resultados das comparações das bandas equivalentes com a respectiva regressão ajustada são apresentados na Figura 1 e Figura 2. Em cada figura, nos gráficos superiores (letras a e b) a reflectância do TM é plotado no eixo x, e a reflectância do LISS-III é plotada no eixo y. A linha 1:1 (linha pontilhada) indica o perfeito ajuste entre as medidas de reflectância obtidas por ambos os sensores para uma particular banda. O coeficiente angular da regressão representa a relação de ganho entre os dois sensores. Os gráficos na parte inferior das figuras (letras c e d) representam as diferenças em porcentagem nas observações usando LISS-III relativas aos dados

TM. A reflectância do TM é plotada no eixo x, e a diferença percentual na reflectância do LISS-III relativa ao TM é plotado no eixo y.

Tabela 2: Estatísticas descritivas da reflectância das bandas 2 (verde), 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio) para as unidades amostrais da área de estudo.

Banda	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Intervalo <sup>1</sup>
LISS_2	0,0259	0,0051	0,0197	0,0418	0,0222
LISS_3	0,0232	0,0092	0,0117	0,0561	0,0444
LISS_4	0,1900	0,0203	0,1397	0,2349	0,0951
LISS_5	0,0982	0,0307	0,0628	0,2131	0,1503
TM_2	0,0307	0,0065	0,0205	0,0497	0,0292
TM_3	0,0230	0,0112	0,0078	0,0614	0,0536
TM_4	0,2332	0,0267	0,1576	0,2905	0,1329
TM_5	0,0848	0,0320	0,0496	0,2114	0,1618

<sup>1</sup>Intervalo= Máximo – Mínimo.

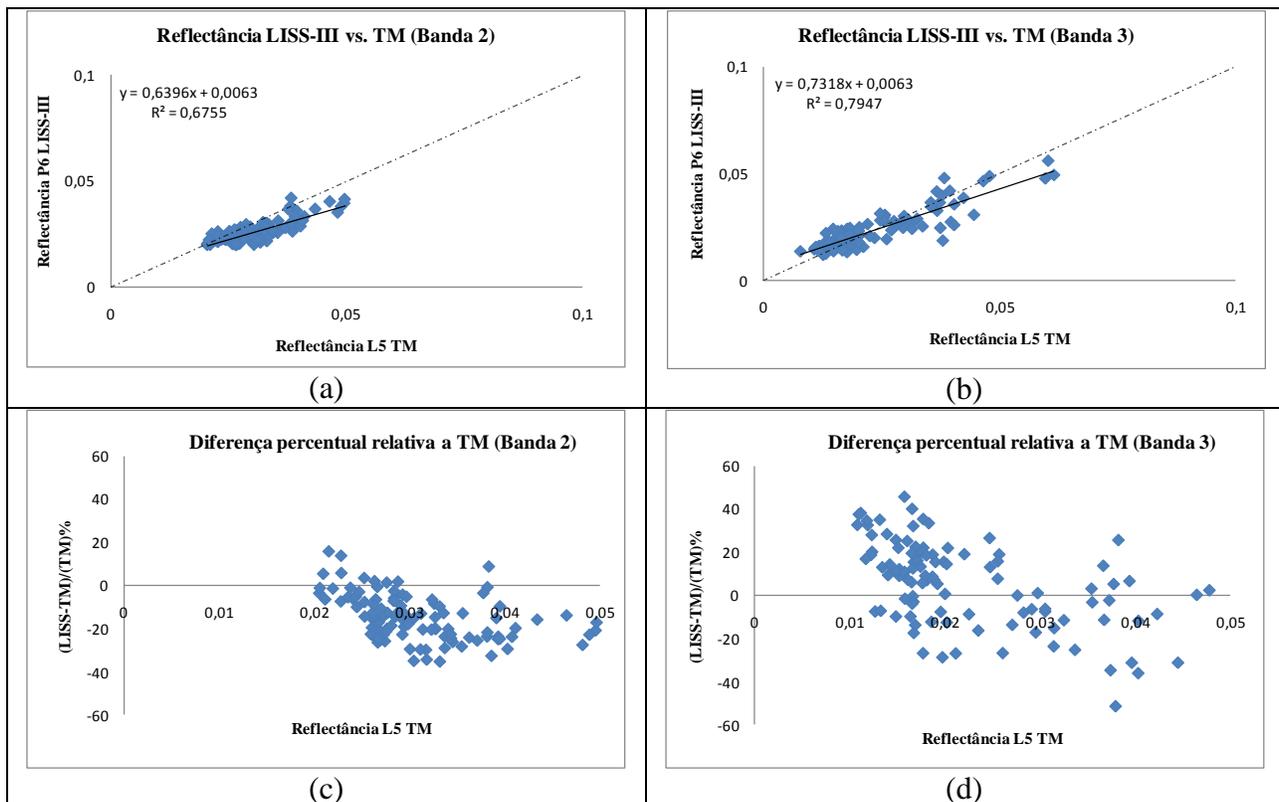


Figura 1: Comparação das reflectâncias entre as bandas equivalentes nos sensores TM e LISS-III: a) Banda 2 (verde), b) Banda 3 (vermelho), c) diferença percentual referente a banda 2 e, d) diferença percentual referente a banda 3.

Na banda do verde (Figura 1 a) a maioria dos pontos se localiza abaixo da linha 1:1. A diferença aumentou à medida que os valores de reflectância crescem, com a inclinação da reta de regressão (0,63). No gráfico das diferenças percentuais, Figura 1 (c), predominam valores negativos, indicando que o sensor LISS-III recuperou menor reflectância do que o TM (em média

14,7% menos). Pela ANOVA ( $F=37,83$ ) as reflectâncias observadas na banda 2 são estatisticamente diferentes entre os dois sensores.

A Figura 1 (b) resume os resultados da comparação da reflectância para a banda do vermelho (banda 3), a qual apresentou padrão semelhante à banda 2. Em média o LISS-III detectou 6,3% mais reflectância que o TM. Contudo, nota-se que os valores mais baixos de reflectâncias estão acima da linha 1:1 e, à medida que as reflectâncias vão aumentando, os dados tendem a aparecer abaixo da linha 1:1. Esta tendência é mensurada pela inclinação da reta de regressão (0,73). No gráfico das diferenças percentuais os pontos ora se localizam acima e ora abaixo da diferença zero. Esse comportamento explica o resultado da ANOVA ( $F=0,01$ ), onde as reflectâncias detectadas pelo TM não foram estatisticamente diferentes das detectadas pelo LISS-III na banda do vermelho.

Para a banda do IVP (Banda 4), mostrada na Figura 2, todos os pontos estão abaixo da linha 1:1. Em média, o sensor LISS-III detectou 18,3% menos reflectância que o TM, o que pode ser observado nas diferenças percentuais sempre negativas (Figura 2 c). A inclinação da linha de regressão para a banda 4 foi 0,70 e a ANOVA ( $F=183,98$ ) confirmou que as reflectâncias observadas na banda 4 são estatisticamente diferentes para os dois sensores.

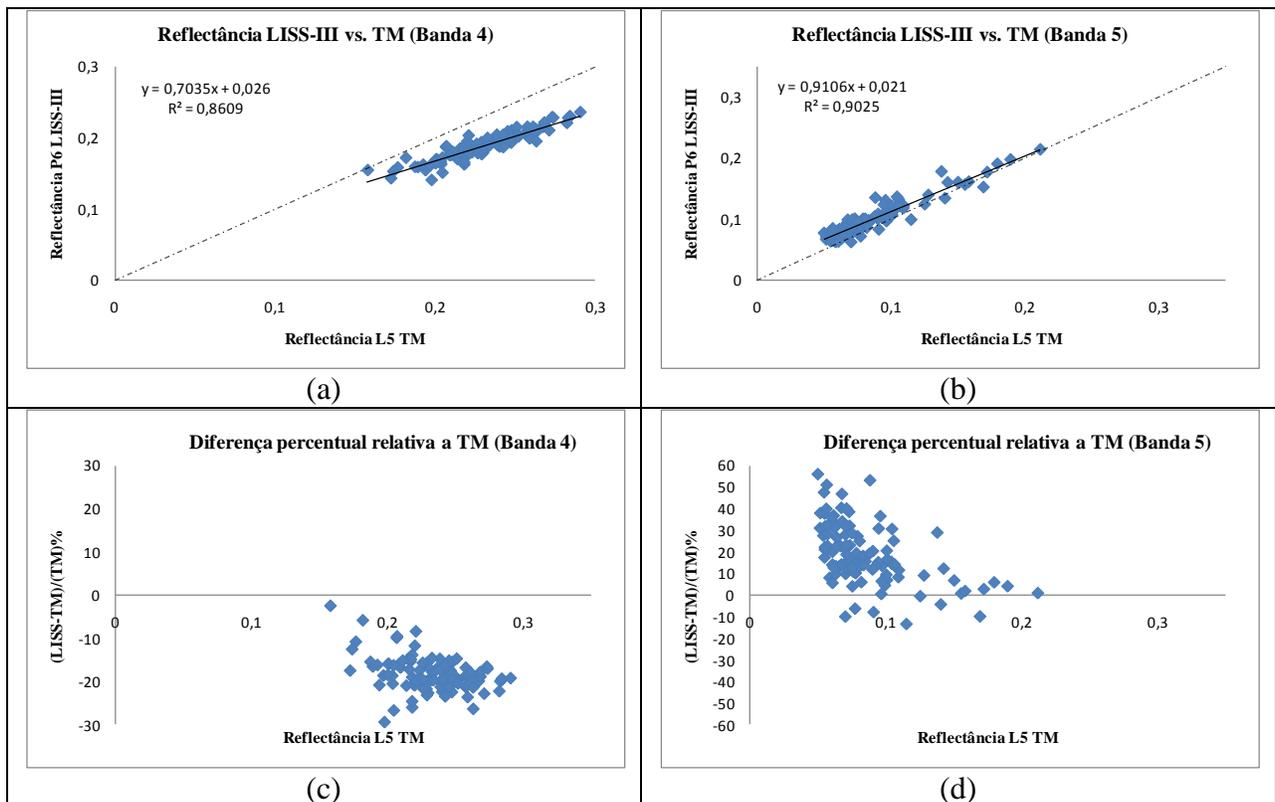


Figura 2: Comparação das reflectâncias entre as bandas equivalentes nos sensores TM e LISS-III: a) Banda 4 (Infravermelho próximo), b) Banda 5 (Infravermelho médio), c) diferença percentual referente à banda 4 e, d) diferença percentual referente à banda 5.

Na banda do infravermelho médio (Banda 5) a maioria dos pontos, apesar de muito próximos, mostravam valores acima da linha 1:1. O sensor LISS-III estimou em média 18,4% mais reflectância do que o TM, como pode ser também visualizado no gráfico das diferenças percentuais (Figura 2 d). Nesta banda houve tendência semelhante à verificada nas bandas 2 e 3,

sendo a inclinação da regressão de 0,91. Para a banda 5 as reflectâncias foram estatisticamente diferentes ( $F=10,11$ ).

Os coeficientes angulares menores que 1 em todas as bandas espectrais indicaram que, a medida que os valores de reflectância dos plantios foram aumentando, o sensor TM recuperou valores mais elevados de reflectância que o LISS-III. Ainda nas Figuras 1 e 2, os coeficientes de determinação variando entre 0,67 ( $r=0,81$ ) a 0,90 ( $r=0,95$ ) indicam que, em geral, as bandas equivalentes apresentaram alta similaridade.

Alguns trabalhos anteriores compararam a resposta dos sensores LISS-III/ResourceSat-1 e TM/Landsat 5 e reportaram a similaridade existente: Chander et al. (2008) reportaram valores de  $R^2$  de 0,99 para cada banda, com diferenças na reflectância em todas as bandas de cerca de 13%; Anderson et al. (2011) compararam dados dos dois sensores através de valores de NDVI durante três anos. Para o ano de 2005 encontraram um  $R^2=0,85$ , em 2006 um  $R^2=0,81$  e 2007 um  $R^2=0,52$ . Os autores explicaram que em 2007 houve intensa atividade antrópica na área de estudo.

Ripple et al. (1991) utilizaram imagens TM/Landsat 5 e HRV/SPOT de dosséis de coníferas em Oregon, EUA, com uma diferença de 5 dias. Para as bandas equivalentes encontraram um  $r$  de 0,93 para o verde, 0,87 para o vermelho e 0,97 para o IVP.

Apesar da similaridade entre os sensores, os gráficos das diferenças relativas (Figura 1 e 2) evidenciam as diferenças nas bandas supostamente equivalentes. O que era esperado, uma vez que existem vários fatores que podem contribuir para a variabilidade das informações geradas. Chander et al. (2009 b) compararam a reflectância no topo da atmosfera dos sensores AWiFS/ResourceSat-1 e TM/Landsat 5 e comentaram que as diferenças entre os dois sensores são provavelmente causadas pela combinação da assinatura espectral do alvo terrestre, composição atmosférica e as características da curva da resposta espectral relativa (RSR – *Relative Spectral Response*) de cada sensor.

Assim, uma combinação de fatores age em conjunto na determinação da resposta espectral final, os quais delimitam a precisão dos resultados. Abaixo são destacados alguns pontos como explicativos das diferenças encontradas.

Um fator contributivo das diferenças pode ser as distintas resoluções espaciais dos sensores. Enquanto o TM possui um pixel de  $30 \times 30$  m, o LISS-III tem  $23,5 \times 23,5$  m, ou seja, a razão da resolução espacial entre os dois sensores é 1,27 ( $30/23,5$ ). Isto significa que um pixel do TM está integrando a radiância de uma área de  $900 \text{ m}^2$  enquanto o pixel do LISS-III integra uma área de  $552 \text{ m}^2$ . Para a área de estudo, sabendo que o plantio está espaçado em  $3 \times 2$  m, significa que o pixel TM integra a resposta espectral de aproximadamente 150 árvores, enquanto o pixel LISS-III integra aproximadamente 92 árvores. Mesmo o plantio sendo homogêneo quanto à composição de espécies, cada árvore tende a ser estruturalmente diferente da outra, mesmo que minimamente. Isso faz com que amostras de tamanhos diferentes devam apresentar respostas espectrais diferentes umas das outras.

Outra fonte das diferenças decorre da data do imageamento: A imagem TM utilizada é do dia 07/09/2010 (às 10:09 hs, hora local) enquanto a LISS-III é do dia 26/09/2010 (às 10:39 hs, hora local), portanto há um intervalo de 19 dias entre as datas e, em relação ao horário, uma diferença de 30 min. Neste sentido, Chander et al. (2008), comparando sensores do Landsat e ResourceSat-1, utilizaram imagens desses satélites do mesmo dia, apenas com a diferença de 30 minutos entre as passagens. Ainda assim, os autores comentam que uma fonte de erro nos resultados pode ter sido a suposição de que a reflectância do terreno nas cenas de estudo foi submetida a alterações mínimas entre as passagens dos satélites. Segundo os autores, isto pode não ser verdade para algumas áreas incluindo regiões com água, terras cultiváveis em condições

instáveis de vento e áreas próximas a nuvens que podem ter tido mudanças drásticas na umidade entre as passagens dos satélites.

Agora, considerando a escala de tempo de 19 dias neste estudo, é grande a probabilidade de que a reflectância do terreno (dossel) tenha sofrido considerável alteração. Apesar da reflectância de superfície ter sido estimada no ambiente FLAASH, o qual leva em consideração as características de espaço e tempo do satélite, além da condição de visibilidade no dia do imageamento, os efeitos da interferência atmosférica são apenas minimizados. Os principais constituintes da atmosfera que afetam a radiação nos comprimentos de onda do visível e IVP são moléculas, aerossóis, gases permanentes, ozônio e vapor d'água. A estimativa de todas essas fontes de ruídos atmosféricos requer medidas detalhadas *in situ* e modelagem baseada em equações de transferência radiativa (Pandya et al., 2002). Também, o vento, a umidade e a temperatura controlam o microclima dentro da floresta, o que influencia nas taxas fotossintéticas das folhas e conseqüentemente na quantia de energia solar absorvida e/ou refletida.

Outro fator que merece destaque é resolução radiométrica. O TM possui  $2^8$  bits e o LISS-III tem  $2^7$  bits. Desta maneira, o TM apresenta maior sensibilidade para detectar pequenas diferenças na energia refletida em relação ao LISS-III. Esse parâmetro ajuda a explicar as diferenças obtidas nos intervalos das reflectâncias apresentados na Tabela 2. Observa-se que o intervalo entre o valor mínimo e máximo de reflectância foi sempre maior para o TM em todas as bandas espectrais, em relação ao LISS-III. Este fato evidencia a maior capacidade do TM de caracterizar ou separar espectralmente a floresta sob análise.

Como fatores contributivos para as diferenças podem ainda ser citados a interferência de ruídos nas bandas onde a sinal é baixo (Chander et al., 2004), a degradação da sensibilidade do sensor após o lançamento (Kamei et al. 2012; Pandya et al., 2007; Chander et al., 2008) e o acúmulo de incertezas no processo de georreferenciamento (Berra et al., 2012).

#### 4. Conclusões

O estudo apresentado neste trabalho focou na comparação cruzada de medidas pontuais (escala de pixel) de reflectância de superfície oriundas dos sensores LISS-III e TM, em área com plantio comercial de *Pinus* sp..

Conclui-se que o sensor LISS-III pode ser utilizado como complemento e em substituição aos dados TM, levando em consideração uma diferença média menor que 20% entre as reflectâncias de superfícies recuperadas pelas bandas espectrais equivalentes dos dois sensores.

#### Referência bibliográficas

Adler-Golden, S. M., Matthew, M. W., Bernstein, L. S., Levine, R. Y., Berk, A., Richtsmeier, S. C., Acharya, P. K., Anderson, G. P., Felde, G., Gardner, J., Hike, M., Jeong, L. S., Pukall, B., Mello, J., Ratkowski, A., and Burke, H. - H. Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. SPIE **Proceedings...**, Imaging Spectrometry V, Vol. 3753: pp.61-69, 1999.

Anderson, J. H., Weber, K. T., Gokhale, B., Chen, F.. Intercalibration and Evaluation of ResourceSat-1 and Landsat-5 NDVI. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 37(2): 213-219, 10.5589/m11-032, 2011.

Berra, E. F. ; Fontana, D. C. ; Pereira, R. S. . Accuracy of forest stand volume estimation by Landsat TM imagery with different geometric and atmospheric correction methods. In: 10th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, 2012, Florianópolis. **Proceedings...**, p. 103-108, 2012.

Chander, G.; Meyer, D.J.; Helder, D.L.. Cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and EO-1 ALI sensors. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 42 (12), pp. 2821–2831, 2004.

Chander, G., Coan, M.J., Scaramuzza, P.L. Evaluation and comparison of the IRS-P6 and the Landsat Sensors. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 46 (1), pp. 209–221, 2008.

Chander, G.; Stensaas, G.L.. Evaluation of candidate Landsat data gap sensors. In: IGARSS International geoscience and remote sensing symposium IV, IEEE, Boston, Massachusetts, **Proceedings...**1376-1379, 2008.

Chander, G.; B.L. Markham, D.L. Helder. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, 113, pp. 893–903, 2009 a.

Chander, G.; Xiong, X.; Angal, A.; Choi, T.; Malla, R.. Cross-comparison of the IRS-P6 AWiFS sensor with the L5 TM, L7 ETM+, & Terra MODIS sensors, **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering**, vol. 7474, 2009 b.

Guasselli, L.A.. **Dinâmica da Vegetação no Banhado do Taim, RS**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.

Kamei, A.; Nakamura, K.; Yamamoto, H.; Nakamura, R.; Tsuchida, S.; Yamamoto, N.; Sekiguchi, S.; Kato, S.; Liu, C.-C.; Hsu, K.-H.; Wu, A.-M.; , Cross Calibration of Formosat-2 Remote Sensing Instrument (RSI) Using Terra Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on** , vol.PP, no.99, pp.1-11, 0, 2012.

National Aeronautics and Space Administration (NASA a). Landsat 5. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/landsat5.html>>. Acesso em: 17 de out. 2012.

National Aeronautics and Space Administration (NASA b). LDCM. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/ldcm.html>>. Acesso em: 17 de out. 2012.

Orué, N. E. **Estimativa de volume de povoamentos de Pinus spp. utilizando dados do satélite landsat 7**. Dissertação de mestrado (Manejo florestal), UFPR, Curitiba, 2002.

Pandya, MR, Singh, RP, Chaudhari, KN, Murali, KR, Kirankumar, AS, Dadhwal, VK, Parihar, JS. Spectral characteristics of sensors onboard IRS-1D and P6 satellites: Estimation and their influence on surface reflectance and NDVI. **Photonirvachak-journal of the indian society of remote sensing**, 35(4), 333-350, 2007.

Ripple, W. J.; Wang, S.; Isaacson, D. L.; Paine, D. P. A Preliminary Comparison of Landsat TM and Spot-1 HRV Multispectral Data for Estimating Coniferous Forest Volume. **International Journal of Remote Sensing**, Vol. 12, No. 9, pp. 1971-1977, 1991.

Pandya, M R.; Singh, R.P.; Murali, K.R.; Babu, P.N.; Kirankumar, A.S.; Dadhwal, V.K. Band pass solar exoatmospheric irradiance and Rayleigh optical thickness of sensor onboard IRS-1 B, IC, 1D and P4. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 40:714-718, 2002.

Williams, D.L.; Goward, S.; Arvidson, T.. Landsat: Yesterday, today, and tomorrow. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 72 (10), pp. 1171–1178, 2006.