

## **Análise espectral comparativa entre coberturas florestais de essências nativas e exóticas utilizando o sensor aerotransportado hiperespectral HSS (do visível ao infravermelho termal)**

Getulio Teixeira Batista<sup>1</sup>  
Nelson Wellausen Dias<sup>1</sup>  
Ruy Morgado de Castro<sup>2</sup>  
Romero da Costa Moreira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Taubaté  
Estrada Mun. Dr. José Luiz Cembranelli, 5.000  
Bairro Itaim  
12.081-010 - Taubaté, SP (getulio e nelson@agro.unitau.br)

<sup>2</sup>Instituto de Estudos Avançados - IEAV/CTA C. P. 6044 – 12.231-970 – São José dos Campos, SP (rmcastro e moreira@ieav.cta.br)

**Abstract.** This paper compared the spectral behavior of natural forest and Eucalyptus plantation using an airborne hyperspectral scanner, HSS, from the visible through the near and mid infrared up to the thermal infrared. Results indicate that the HSS has a great potential to discriminate these two vegetation covers, especially in the near infrared portion of the spectrum. The mid infrared bands enhanced the separation of these two vegetation covers. The radiometric temperature of the natural vegetation cover tended to be higher than the temperature of Eucalyptus, however, it cannot be concluded that the Eucalyptus is evapotranspiring more than the native forest. Visually, the native forest has a rougher texture than the Eucalyptus at the analyzed scale.

**Palavras-chave:** multiespectral remote sensing, sensoriamento remoto multiespectral, spectral behaviour of vegetation covers, comportamento espectral de coberturas vegetais.

### **1. Introdução**

A Silvicultura tem, em nível mundial, um potencial de crescimento enorme. No Brasil o setor com base florestal representa, hoje, USD 25 bilhões (4,1% do PIB Nacional), exportando anualmente USD 6,8 bilhões (7% da Exportação Nacional) (ABIMCI, 2006). Em 1980, a área plantada em reflorestamento foi de 21.832 ha, dos quais 8.644 ha foram plantados com eucalipto; em 2001 a área total de reflorestamento para celulose passou para 156.259 ha, dos quais 138.132 ha foram plantados com eucalipto. São Paulo possui a maior área de plantio de eucalipto do país (SBS, 2006). A ABIMCI (2006) indica que está previsto um investimento de USD 20 bilhões no setor (20% do anunciado para o País) para o futuro próximo. Isso demonstra o potencial de crescimento do plantio dessa espécie. Em especial, na região do Vale do Paraíba, SP, esse potencial é uma realidade em função do clima e solos degradados, sem condições de uso alternativo demonstradamente competitivo economicamente. Portanto, florestas plantadas com eucalipto se mostram como uma excelente opção econômica para a região, oferecendo aos produtores rurais uma alternativa de uso para suas terras degradadas.

Entretanto, o avanço dessa cultura tem provocado reações inflamadas por parte da comunidade, especialmente de organizações do terceiro setor, com a alegação de que essa prática silvicultural promove uso intensivo da água, rebaixando o lençol freático e criando conflitos com outros usos da água (abastecimento), além de trazer riscos sócio-econômicos associados às monoculturas que no passado deixaram marcas indelévels na região (cana-de-açúcar, café e pastagens para pecuária). Outra preocupação é que essa região é de relevo movimentado, com grande parcela de áreas de preservação permanente, especialmente de topo de morros. De fato, mais de 50% da área de uma bacia típica da região (Bacia do Rio Una) é APP (Batista et al., 2006).

Está estabelecido, portanto, um conflito entre empresas produtoras de celulose (VCP, Nobrecell S/A – Celulose e Papel, Suzano Papel e Celulose, entre outras iniciativas) que estão investindo na região e a comunidade que contrapõe ao crescimento dessa atividade no Vale do Paraíba. Esse conflito chegou a tal ponto que em um dos municípios da região, São Luiz do Paraitinga, está em discussão no Legislativo um projeto de lei, promovido por ação popular, proibindo o cultivo dessa espécie no município, com a alegação de que plantios atuais contaminaram o lençol freático (poluentes químicos) e não contribuíram com emprego para o município. Essa ação resultou num acordo voluntário proposto pelas empresas de celulose de não plantarem eucalipto, por um período determinado, até que a situação seja tecnicamente equacionada.

Dessa situação decorre a necessidade de um monitoramento adequado da evolução do plantio do eucalipto na região. Como a região também apresenta uma cobertura florestal de essências nativas em expansão, é fundamental se desenvolver métodos e sistemas capazes de separar, com precisão, áreas de eucalipto dessas coberturas de florestas nativas.

Oportunamente, em julho de 2006, foi realizada uma missão de testes de um novo sensor, hiperespectral que cobre o espectro eletromagnético do visível até ao infravermelho termal, o HSS, pertencente ao SIVAM (<http://www.sivam.gov.br/>), que graças à cooperação científica entre a Universidade de Taubaté e o IEAv (Instituto de Estudos Avançados) do CTA (Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial), do Ministério da Defesa, permitiu o sobrevôo de áreas estratégicas que representam, em situações similares, áreas de floresta nativa e de eucalipto, o que permitiu o presente estudo.

Dessa forma, esse estudo procurou responder às seguintes questões: 1) Coberturas florestais de eucalipto e matas nativas são espectralmente separáveis? 2) Quais as faixas espectrais indicadas para a discriminação dessas coberturas? 3) Existem diferenças na temperatura radiométrica de dosséis de maciços de eucalipto e de floresta nativa? Essas diferenças podem estar associadas às diferenças no consumo de água?

## 2. Área Teste

Foi realizado um sobrevôo sobre uma área que apresenta um remanescente florestal de essências nativas, envolvido por dois maciços plantados com eucalipto (com idade estimada em 4 anos), com características de solo e relevo similares e representativas da região. (**Figura 1**). Como podem ser observados, ambos maciços (nativas e eucalipto) estão nas mesmas condições de relevo.

## 3. O Sensor HSS

O HSS (Hyperspectral Scanner System) é um sensor aerotransportado pertencente ao SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia). É um sistema imageador eletroóptico aerotransportado com 50 bandas espectrais que cobrem desde o visível até o infravermelho termal, ver **Tabela 1**. O sensor possui quantização do sinal em 12 bits (discriminação radiométrica de 4096 níveis digitais), com resoluções espaciais entre 4 e 10 m (variável com a altura de vôo). Para medida da temperatura radiométrica da superfície, o sensor possui dois corpos negros de referência, posicionados no limite anterior e posterior do campo de visada, que são utilizados para a calibração de temperatura dos canais termais e, ainda, para informação do nível de ruído para os canais do espectro refletido. O campo de visada (FOV) do Sensor é de 86°, com a possibilidade de utilização de dois campos de visada instantâneos (IFOV), 1,25 e 2,5 mrad. Com uma taxa de sobreposição de 20% dos *pixels* obtêm-se 1440 e 720 pixels em cada linha de varredura para os IFOV de 1,25 e 2,5 mrad, respectivamente. O Sistema pode realizar medições nas seguintes frequências de varredura: 6,25, 12,5, 25, 50 e

100 Hz. O HSS possui, ainda, sistemas GPS e Giroscópio integrados. Detalhes desse sensor podem ser vistos em Moreira et al. (2005).

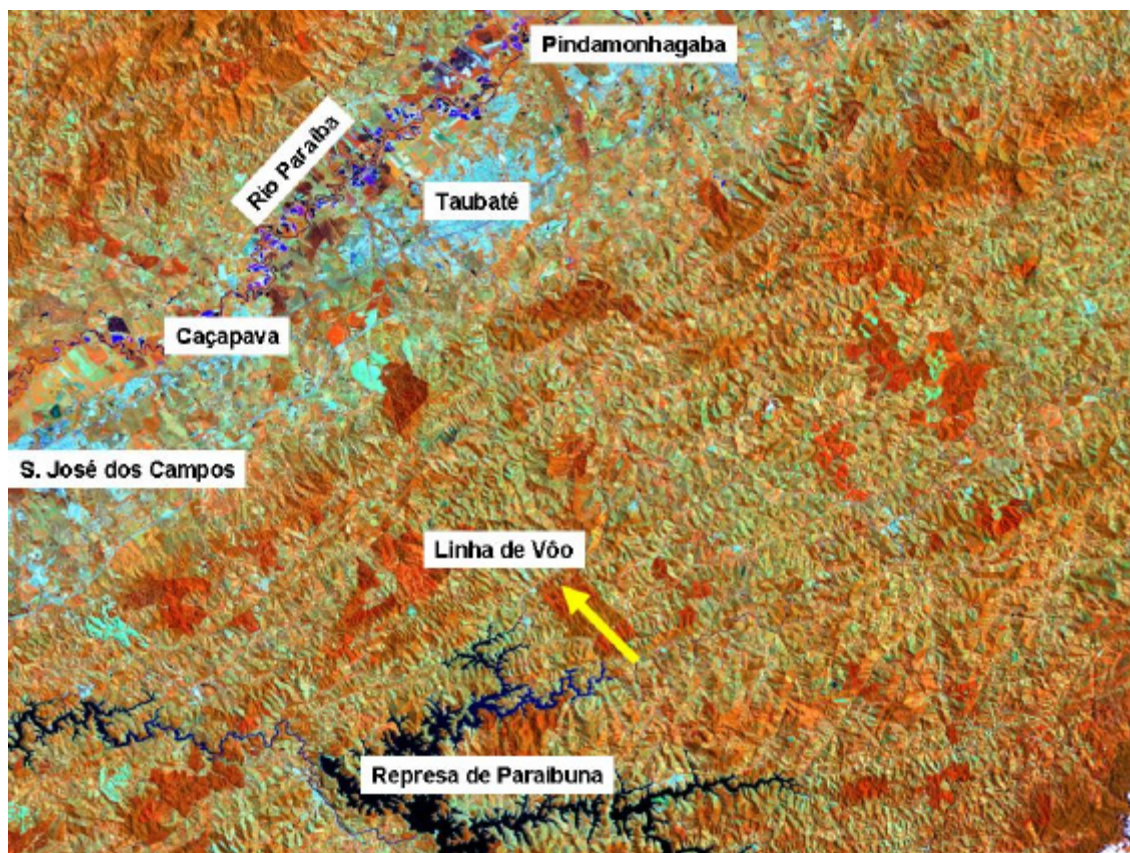


Figura 1. Composição colorida (Bandas 3B, 4R, 5G) de uma imagem Landsat ETM<sup>+</sup> (adquirida em 14 de agosto de 2003) mostrando a linha de vôo analisada.

Tabela 1. Comprimento de onda central das Bandas do sensor HSS

Visível		Infraverm. Prox.		Infraverm. Médio		Infraverm. Termal	
Banda	( $\mu\text{m}$ )	Banda	( $\mu\text{m}$ )	Banda	( $\mu\text{m}$ )	Banda	( $\mu\text{m}$ )
1	0,456	10	0,715	21	1,583	38	3,201
2	0,483	11	0,743	22	2,005	39	3,509
3	0,511	12	0,772	23	2,032	40	3,864
4	0,540	13	0,801	24	2,058	41	4,250
5	0,568	14	0,829	25	2,084	42	4,606
6	0,598	15	0,859	26	2,109	43	4,951
7	0,627	16	0,888	27	2,135	44	5,276
8	0,656	17	0,915	28	2,160	45	8,181
9	0,685	18	0,944	29	2,185	46	8,684
		19	0,971	30	2,209	47	9,158
		20	1,000	31	2,233	48	9,805
				32	2,257	49	10,811
				33	2,280	50	12,025
				34	2,303		
				35	2,326		
				36	2,349		
				37	2,371		

A calibração do sensor foi realizada utilizando a bancada de testes do HSS, na qual uma placa de spectralon foi iluminada por duas lâmpadas halógenas, sendo os parâmetros de calibração obtidos pela comparação com o valores de radiância determinados por um espectrômetro FieldSpec (ASDI, 2006).

#### 4. Imageamento

Foi realizado um vôo diurno no dia 19 de julho de 2006, utilizando o sensor hiperespectral HSS. A linha de vôo iniciou-se no ponto 23°18,772'S, 45°27,841'W e encerrou-se em 23°04.617'S, 45°39.886'W, os demais dados do vôo, fornecidos pela tripulação, são apresentados na **Tabela 2**.

Neste imageamento foi utilizado o IFOV de 2,5 mrad e uma velocidade de varredura de 25 Hz. Foram utilizadas as 50 bandas do sensor, sendo efetuados ajustes de ganho e *offset*, para cada conjunto de bandas.

Tabela 2. Características do aerolevanteamento.

Dados de vôo fornecidos pela tripulação								
Hora Zulu	Proa	Deriva	Veloc. Solo (nós)	Altitude planejada (pés)	Altitude e MSL (m)	Veloc. Scan (Hz)	BB1 Temp (°C)	BB2 Temp (°C)
16:13 / 16:21	340°	0	130	7000	2215	25	17	47

Obs.: BB1 e BB2 correspondem aos corpos negros de referência, 1 e 2, respectivamente.

Os dados brutos foram pré-processados e processados utilizando-se um programa de importação e processamento de dados do fabricante do sensor (Sensytech Inc, 2002a). No pré-processamento foram obtidos os dados de vôo (tais como velocidade e altitude) para cada linha da imagem, necessários em uma correção geométrica para efeitos de varredura e de visada. No caso deste imageamento foi usada a velocidade média de 131 nós e uma altura de vôo em relação ao solo de 3743 pés.

No processamento final são geradas imagens dos diversos canais, registradas entre si e corrigidas geometricamente. Os dados obtidos são expressos em valores de radiância (para os canais no visível) ou temperatura (para os canais termais). A temperatura obtida após o processamento é uma temperatura de brilho que, portanto, deve ser corrigida pela emissividade do alvo (nem sempre conhecida a priori) para representar a temperatura termodinâmica do alvo imageado. Outro aspecto importante de ser mencionado é que na estimativa da temperatura de brilho não se leva em conta os efeitos causados pela atmosfera presente entre o alvo e o sensor.

#### 5. Resultados e Discussão

Foram obtidos dados de todas as 50 bandas espectrais do HSS da área de estudo (**Figura 2**). Foram amostradas 10 áreas (5 de eucalipto e 5 de floresta nativa) para o estudo da resposta espectral utilizando o software ENVI, v. 4.2 (<http://www.envi.com.br>). A análise espectral foi realizada com base no software Excel da Microsoft.

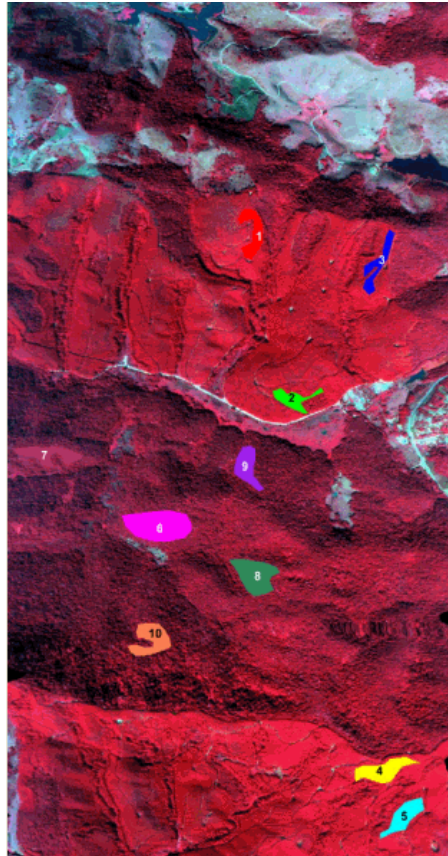


Figura 2. Composição das bandas 17R, 9G, 4B do HSS da área de estudo, obtida em 19/07/2006. Os polígonos identificados de 1 a 5 correspondem às amostras de eucalipto, enquanto os numerados de 6 a 10 correspondem às áreas de floresta nativa

Nessa **Figura 2** a área de floresta nativa, com tonalidade mais escura e textura grosseira aparece na região central, envolvida (acima e abaixo) pelas áreas de Eucalipto, com textura lisa e tonalidade mais clara (vermelho).

Na **Figura 3** são apresentadas as curvas espectrais para as 10 amostras analisadas ao longo das diferentes bandas do espectro eletromagnético. As radiâncias medidas nos canais 19, 20 e 21, faixa espectral de transição entre o infravermelho próximo e médio, apresentaram valores inconsistentes e foram eliminadas da análise.

Os valores de radiância foram analisados de forma qualitativa e comparativa entre as duas coberturas florestais, sem levar em consideração os valores absolutos. A faixa espectral do infravermelho próximo foi a que melhor separou o eucalipto da vegetação florestal natural. De fato, todas as amostras de eucalipto tiveram valores de radiância mais alto do que os de floresta nativa, nessa faixa espectral (**Figura 3 e 4**), devido provavelmente ao telhado homogêneo, sem influência de sombras. De forma similar, a faixa espectral do infravermelho médio teve esse mesmo comportamento, porém, de forma invertida, i.e. a floresta nativa apresentou radiância mais alta do que a cobertura de eucalipto, exceto uma das amostras de vegetação nativa que ficou intercalada com as curvas de eucalipto. Ambos os resultados estão consistentes com achados de Stone et al. (2005). Observa-se que o eucalipto apresentou um telhado com folhas mais jovens do que a floresta nativa o que possivelmente explica esse comportamento em ambas as faixas espectrais (Carter et al., 1989). Ressalta-se que embora apenas a faixa espectral do infravermelho próximo seria suficiente para separar o eucalipto da floresta nativa, dados da faixa espectral do infravermelho médio amplificam essa separação (**Figura 4**).

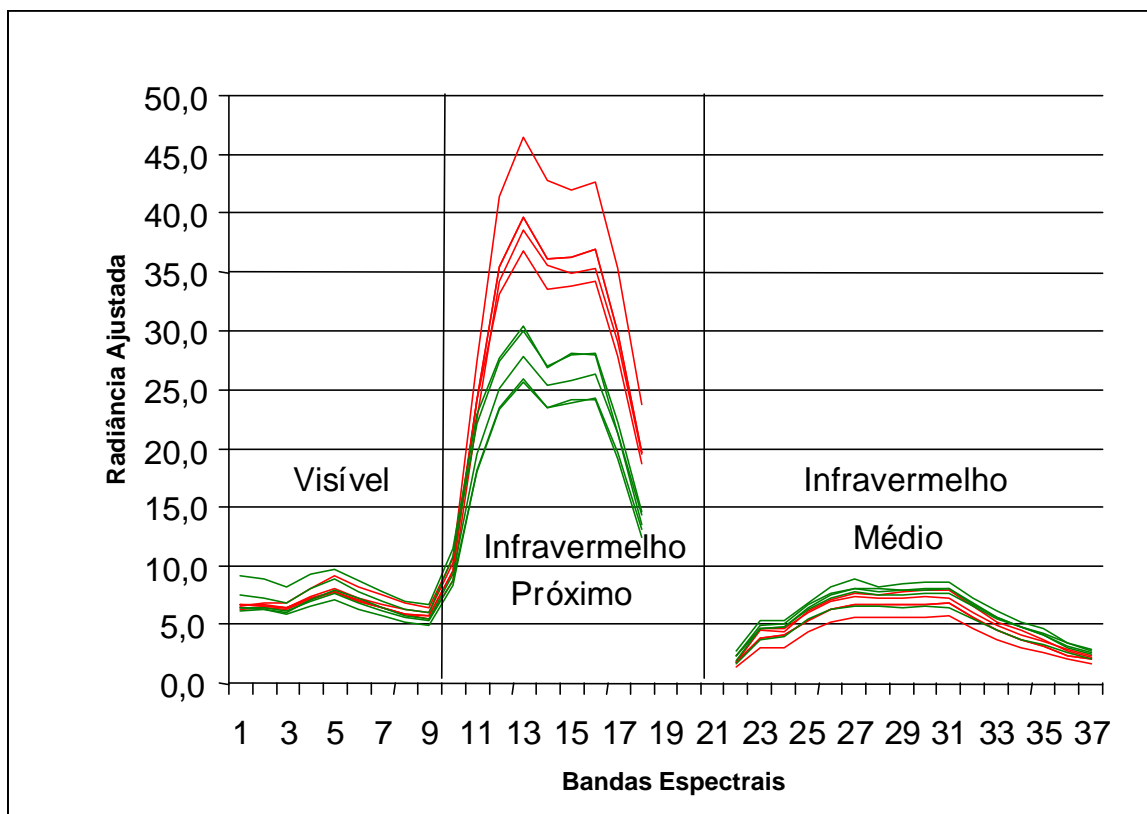


Figura 3. Resposta espectral nas bandas 1 a 37 (visível, infravermelho próximo e infravermelho médio) das amostras de eucalipto (vermelho) e nativas (verde). Os valores da radiância medida foram multiplicados por diferentes fatores para cada faixa espectral para melhor visualização em um único gráfico

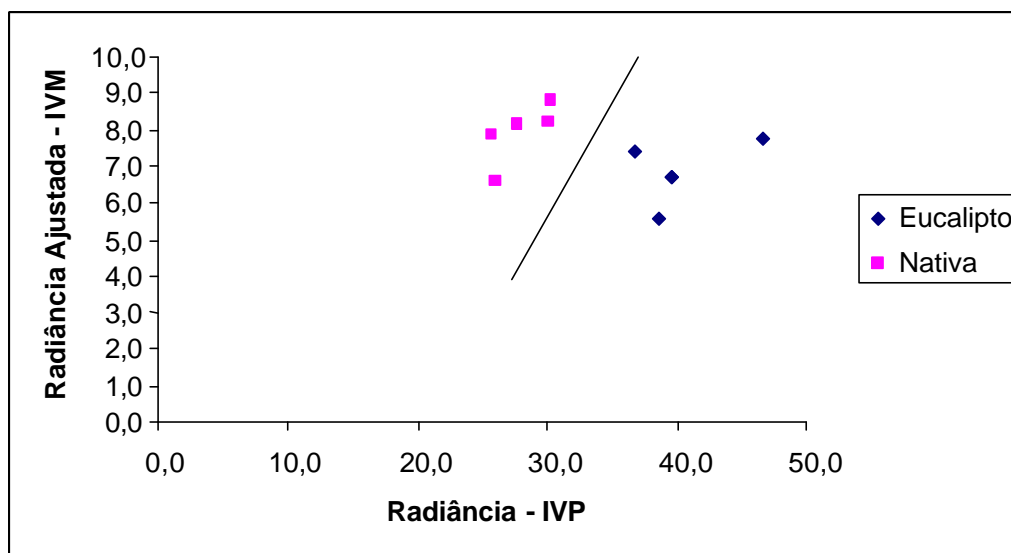


Figura 4. Gráfico de espalhamento da reflectância no canal 13 (IVP - Infravermelho próximo) versus o canal 27 (IVM – Infravermelho médio) para as médias das amostras de Eucalipto (em azul) e Floresta Nativa (em vermelho). Os valores da radiância medida foram multiplicados por diferentes fatores para cada faixa espectral para melhor visualização em um único gráfico

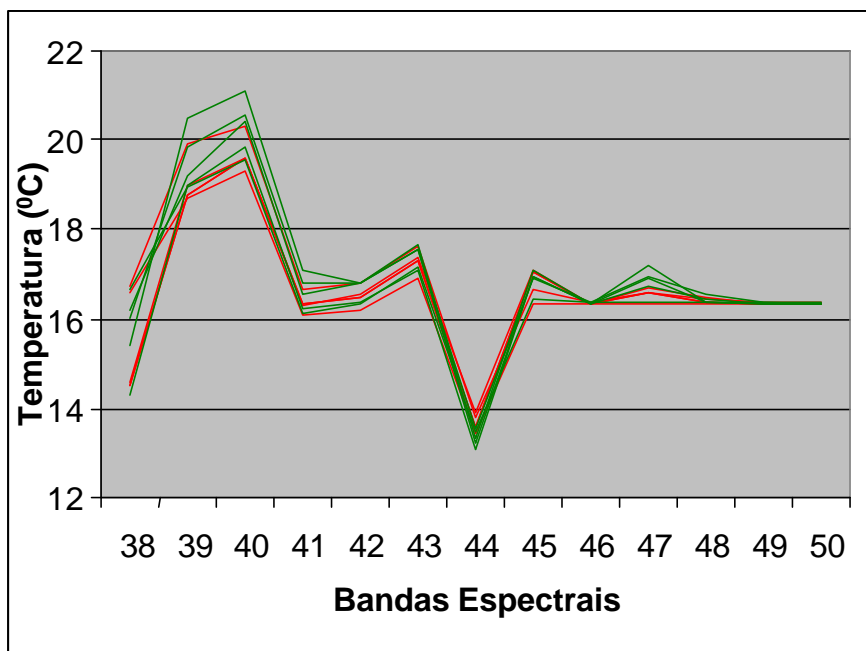


Figura 5. Temperatura de Brilho nas Bandas Espectrais do Infravermelho Termal das amostras de eucalipto (vermelho) e floresta nativa (verde).

Na **Figura 5** é apresentada a temperatura de brilho média para as diversas amostras de eucalipto e mata nativa. Observa-se que a temperatura de brilho estimada variou com as bandas espectrais, e, não foram feitas correções devido a atmosfera, nem tampouco usado o valor da emissividade dessas coberturas vegetais no cálculo da temperatura. O canal 40 forneceu temperaturas de brilho com valores mais próximos do esperado, quando comparados à temperatura do ar no dia da tomada dos dados. Por outro lado, Lucca et al. (2005) indicam que o canal 47 do HSS foi o mais adequado para a caracterização das variações de temperatura de uma pluma termal em estudos oceanográficos.

Observa-se que houve uma tendência da floresta nativa apresentar uma temperatura de brilho superior à do eucalipto. Isso poderia indicar que o eucalipto poderia estar evapotranspirando, mais, portanto, se refrigerando mais do que a floresta nativa. Entretanto, isso não é observado em todas as amostras. Portanto, não se pode afirmar com base nesses dados que o eucalipto estivesse perdendo mais água para a atmosfera do que a floresta nativa. Analisando-se a **Figura 3**, verifica-se que nas faixas espectrais típicas de absorção da água (1,65 e 2,20; Everitt e Nixon, 1986) não existe nenhuma indicação de diferenças no conteúdo de água dessas duas coberturas florestais.

## 6. Conclusões

Coberturas florestais de eucalipto e matas nativas são espectralmente separáveis na faixa espectral do infravermelho próximo. A faixa do infravermelho médio amplia essa separação espectral. Embora a floresta nativa tenha apresentado tendência de apresentar temperaturas radiométricas mais altas, essas diferenças não podem ser atribuídas às diferenças no consumo de água. Houve comportamento conflitante entre as diferentes amostras. Visualmente há uma grande diferença na textura da floresta nativa (grosseira) comparada à do Eucalipto (lisa) na escala analisada.

O sensor multiespectral HSS demonstrou ter um potencial grande para a discriminação entre maciços florestais de eucalipto e nativas e forneceu imagens de excelente qualidade visual.

## 7. Referências

- ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente). A Importância do Setor para o Brasil. [http://www.abimci.com.br/importancia\\_setor.html](http://www.abimci.com.br/importancia_setor.html) (Acesso em 30/10/2006).
- ASDI (Analytical Spectral Devices, Inc.). Bringing Analytical NIR Solutions to the Real World. ([http://www.asdi.com/products\\_specifications-FSP.asp](http://www.asdi.com/products_specifications-FSP.asp)). (Acesso em 13/11/2006).
- Batista, G.T., M.S. Targa, C.S. Catelani. **Projeto Una: Banco de dados ambientais da Bacia do Rio Una.** <http://www.agro.unitau.br/una>. (Acesso em 02 de novembro de 2006).
- Carter, G. A, K. Paliwal, U. Pathre, T. H. Green, R. J. Mitchell e D. H. Gjerstad. Effect of competition and leaf age on visible and infrared reflectance in pine foliage. **Plant, Cell and Environment**: 12-309 - April 1989.
- Castro, R. M.; Moreira, R. da Costa; Espósito, E. S.C.; Lucca, E.V.D. **Avaliação do ruído em sensores eletroópticos: abordagem da imagem escura no HSS.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 355-362.
- Everitt, J H; Nixon, P R. **Canopy reflectance of two drought-stressed shrubs.** American Congress on Surveying and Mapping and American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Annual Convention, Washington, DC; UNITED STATES; 16-21 Mar. 1986. pp. 63-68. 1986.
- Lucca, E.V.D.; Jefferson Vianna Bandeira. J.V.; João Antônio Lorenzetti, J.A.; Moreira, R. da Costa; Castro, R.M.; Salim, L.H.; Zaloti Júnior, O.D.; Espósito, E. S.C. Uso de sensor hiperespectral aerotransportado no monitoramento da pluma termal oceânica de corrente da descarga de refrigeração da central nuclear de angra dos reis. **Revista Brasileira de Cartografia**: **57:48-55, 2005.** (ISSN 1808-0936).
- Moreira, R. C.; Castro, R. M.; Esposito, E. S. C.; Lucca, E. V. D. Sensor hiperespectral HSS: sumário das características técnicas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8.
- SBS (Sociedade Brasileira de Silvicultura). Segmento de celulose e papel - área total reflorestada pelo setor de celulose e papel – até 2001. <http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>. Acesso em 30/10/2006.
- Sensytech Inc. AA5201 Airborne hyperspectral scanner system: operator manual. Ann Arbor, Nov 2002a. v. 1.
- Sensytech Inc. AB532 Scanner System Test Bench: Operator Manual. MN. Ann Arbor, Nov 2002b. v. 1.
- Souza Filho, C.R. de. Sensores Hiperespectrais a bordo do SIVAM. **Revista InfoGEO**, ed. 34, Jul/Ago., p. 32-34, 2004.
- Stone, C., L. Chrisholm, S. McDonald. Effects of leaf age and psyllid damage on the spectral reflectance properties of *Eucalyptus saligna* foliage. *Australian Journal of Botany*, 53:45-54, 2005.

## Agradecimentos

Agradecemos à Divisão de Geointeligência (EGI) do Instituto de Estudos Avançados (IEAv) do Ministério da Defesa pela obtenção e disponibilização dos dados utilizados nesse trabalho.