

**Análise de curvas espectrais de 350 a 2500 nm para a discriminação de padrões de pavimentos asfálticos**  
**XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**

Edgar Ricardo Ferreira<sup>1</sup>  
Carlos Antônio Oliveira Vieira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Colégio Técnico Universitário da Universidade Federal de Juiz de Fora  
Rua Bernardo Mascarenhas, 1283 - 36080-001 – Juiz de Fora - MG, Brasil  
edgarjf@superig.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Engenharia Civil  
Setor de Engenharia de Agrimensura  
Campus de UFV – DEC - 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil  
carlos.vieira@ufv.br

**Abstract.** The road surface conservation stage is the main characteristic for the traffic quality. Defects compromise user's security, increasing time and cost of trips. The identifications of asphalt superficial defects, through the use of images, can be made through its spectral characteristics, therefore it is expected that each defect has characteristic a spectral curve. The aim of this work is to search spectral bands that better characterizes some ordinary asphalt surfaces standards, suggesting better spectral intervals, when the sensor system constructions. In order to carry on the experiments, it was used a spectroradiometer that cover the spectral electromagnetic from 350 to 2500 nm, on the field, to extract spectral curves of 4 different asphalt standards. The spectral curves of the interest had been analyzed, through operations of subtraction, and concluded that the bands between 450/755 nm and 2100/2220 nm are able to discriminate asphalt defects, for these 4 standards studied.

**Palavras-chave:** spectral analysis, pavement distress, sensor system, radiometer, análise espectral, defeitos em pavimentos, sistema sensor, radiômetro.

## **1. Introdução**

### **1.1 Curva Espectral**

Os sensores remotos captam informações dos objetos através das radiações eletromagnéticas (REM) de suas variações espaciais, espectrais e temporais. As variações espaciais relacionam-se com as diferenças de brilho entre os elementos da cena, permitindo o reconhecimento de objetos através de contraste, forma e textura. As variações espectrais produzem a sensação de cor e as variações temporais fornecem informações adicionais ocorridas ao longo de um período, Fonseca (2000).

Quando a radiação eletromagnética interage com um objeto, pode ser refletida, absorvida ou mesmo transmitida, sendo a refletância o índice que mede a capacidade de um objeto refletir a energia radiante, normalmente expresso em porcentagem. A energia absorvida geralmente aquece o objeto e é emitida como energia termal. Conforme Figura 1 a radiação incidente sobre um objeto ( $I$ ) é a soma da radiação refletida ( $\rho$ ) com a radiação absorvida ( $\alpha$ ) e a radiação transmitida ( $\tau$ ).

As fontes de radiação eletromagnética, sendo o sol a principal delas, irradiam com diferentes intensidades dentro do espectro eletromagnético, ou seja, a interação das radiações eletromagnéticas com um material varia com o comprimento de onda. De acordo com Moreira *et al.* (2007) esse fenômeno tem sua explicação na intensidade da iluminação solar e, principalmente, nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos objetos.

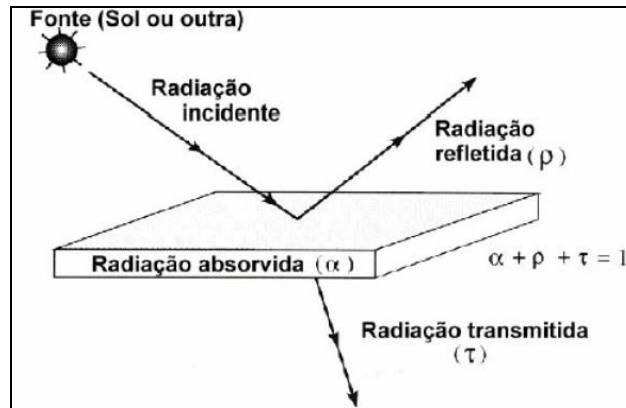


Figura 1. Interação radiação objeto.  
Fonte: Landgrebe (2003)

A radiometria é o conjunto das técnicas utilizadas para a avaliação de quantidades de energia radiante e os equipamentos que medem essa energia são genericamente chamados de radiômetros e dividem-se em radiômetros imageadores (cujo produto final é uma imagem) e não-imageadores (mede a radiação eletromagnética de forma pontual) e os disponíveis no mercado permitem quantificar diferentes bandas da radiação eletromagnética.

Assim, as grandezas radiométricas podem ser consideradas em pequenos intervalos de comprimento de onda, sendo possível de se obter na prática devido à instalação de filtros nos radiômetros que são dispositivos ópticos capazes de isolar as bandas espectrais. Esses equipamentos são denominados de “espectrorradiômetros”.

O registro gráfico da reflectância, obtido pelo espectrorradiômetro ao longo de uma faixa do espectro eletromagnético, fornece uma curva que descreve as propriedades radiométricas de um determinado material. Segundo Mather (2004), esta curva típica de cada material pode ser denominada “assinatura espectral” e constitui um padrão para identificação dos alvos de estudo por imagens. É comum na literatura fazer referência aos termos “resposta espectral”, “curva espectral” ou “curva de reflectância” para designar essa curva típica de cada material.

A Figura 2 mostra uma curva de reflectância de um alvo, onde o eixo horizontal representa o comprimento de onda (em nm) e o eixo vertical representa a reflectância (em %), representando o resultado da interação da energia radiante com o material, nos mais variados comprimentos de onda.

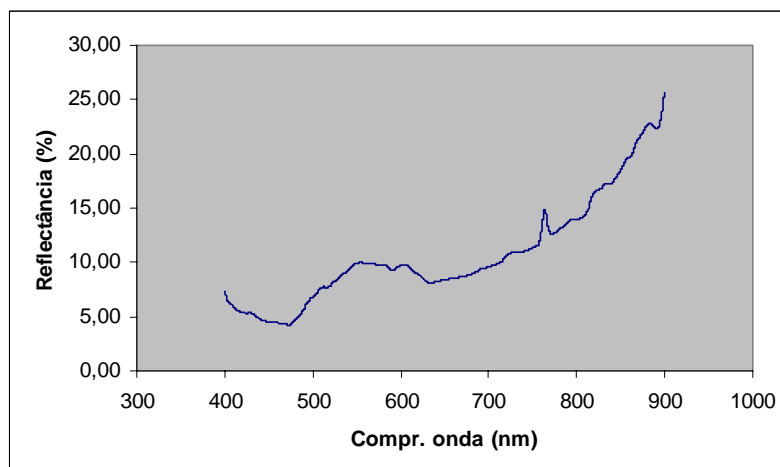


Figura 2. Curva de reflectância.

## **1.2 Características espectrais de imagens do pavimento asfáltico como elemento de análise dos defeitos superficiais**

Segundo a CNT (2007), o estado de conservação da superfície de uma rodovia é a principal característica para qualidade do tráfego e defeitos no pavimento - tais como, buracos, afundamentos e ondulações - comprometem a segurança do usuário e aumentam o tempo e o custo das viagens. Os defeitos encadeiam custos diretos relacionados a avarias e perdas parciais ou totais das cargas transportadas; aumentam o índice de quebra mecânica dos veículos automotores e geram maiores emissões de poluentes, em razão da necessidade de redução constante da marcha e da velocidade dos veículos, CNT (2007).

As identificações dos defeitos superficiais nos pavimentos, através do uso de imagens, podem ser feitos através da forma, tamanho, cor, tonalidade, textura e padrão. No entanto, dependendo da resolução espacial da imagem, esses mecanismos de identificação tornam-se razoavelmente complexos, pois, em baixa resolução espacial, muitos objetos são integrados em um mesmo pixel, resultando em níveis digitais cujos valores representam o valor médio da radiância desses objetos. Assim, o conhecimento das características espectrais dos alvos tem sido utilizado como uma importante ferramenta na identificação de padrões nas imagens.

Tradicionalmente, as diversas aplicações do sensoriamento remoto hiperespectral têm abordado a possibilidade de identificação de minerais em rochas e solos, sedimentos em suspensão ou algas em corpos d'água e de variáveis biofísicas da vegetação, Liang (2004). Poucas iniciativas aparecem na literatura sobre o alvo asfalto e suas respostas espectrais utilizando o sensoriamento remoto e espera-se que esse trabalho possa vir a contribuir nessa área de aplicação.

## **1.3 Objetivo desse trabalho**

Este trabalho tem por objetivo tentar discriminar a faixa do espectro eletromagnético que melhor diferencie os padrões de asfalto aqui considerados, que são: 1) asfalto novo e em bom estado; 2) asfalto velho e em bom estado; 3) trinca com baixo grau de deterioração e; 4) trinca com alto grau de deterioração. Para a análise serão utilizadas as curvas espectrais de padrões do pavimento asfáltico, obtidas por um espectrorradiômetro que opera na banda de 350 a 2500 nm. Dessa forma, seria possível indicar a construção (ou a aquisição) de um sensor para operar exclusivamente na faixa indicada, tornando-o mais barato e, conseqüentemente, de mais fácil aquisição.

## **2. Revisão da literatura**

Um estudo para identificar as propriedades reflectivas da superfície do asfalto foi realizado por Staenz e Itten (1982). Foram analisados o estado da superfície, a estrutura e diferentes tempos de uso, num período de cinco meses. O resultado mostrou um baixo intervalo de variação do fator de reflectância, de 5% a 11% na região do visível e de 6% a 13% na região do infravermelho próximo.

Jensen (1983) relata que a resposta espectral não é constante para um determinado alvo e depende da relação entre a energia incidente e o ângulo de visada do sensor, dos efeitos atmosféricos e das propriedades físicas do alvo e estudou em laboratório, a resposta espectral de alguns alvos urbanos, utilizando um espectrorradiômetro para fazer as medidas e construiu curvas de reflectância para os principais alvos urbanos (grama, asfalto, concreto, telha, ardósia, turfa, tijolo).

Sousa e Kux (2005) desenvolveram um estudo sobre comportamento espectral de alvos urbanos e afirma que o conhecimento das características espectrais dos alvos urbanos é uma importante informação na classificação do uso do solo através de imagens, porque muitos alvos são integrados em um mesmo pixel e, dessa forma, o conhecimento espectral dos componentes do pixel pode ser útil para a aplicação de modelos de mistura.

Moreira *et al.* (2007) desenvolveram um trabalho com dados do sensor multiespectral aerotransportado HSS (*Hyperspectral Scanner System*), com imagens de São José dos Campos (alvos urbanos), na resolução de 2,7m. Esse sensor dispõe de 50 canais, distribuídos entre as regiões do visível até o infra-vermelho termal. A finalidade do estudo foi comparar os espectros de pixels da imagem reflectância obtida pelo HSS às curvas de reflectância obtidas em campo e laboratório com um espectrorradiômetro.

Apesar do esforço de pesquisadores da área, pouco se tem desenvolvido sobre o alvo asfalto, suas respostas espectrais e possíveis aplicações.

### 3. Metodologia do trabalho

#### 3.1 Descrição da área de estudo

Optou-se, nesse experimento, em escolher algumas vias internas e áreas de estacionamento do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), situado na cidade de São José dos Campos, estado de São Paulo. A escolha do local deveu-se, em primeiro lugar à utilização do espectrorradiômetro cedido pelo INPE e, em segundo lugar, o fato daquelas áreas possuírem vários tipos diferentes de defeitos o que possibilitaria distinguir vários padrões diferentes para a análise, sendo os principais as trincas e panelas.

A Figura 3 mostra uma vista panorâmica das instalações do INPE e do seu sistema viário, sendo destacado os locais onde se fez as medições com o espectrorradiômetro, em um total de 11 padrões, mas somente 4 foram utilizados nesse trabalho. As medições ocorreram no período da manhã e no período da tarde do dia 23 de abril de 2008. As condições do tempo foram as ideais, com o sol completamente a descoberto.



Figura 3. Vista aérea das instalações e vias do INPE.

Fonte: *Google Earth*

#### 3.2 Material

Foi utilizado um espectrorradiômetro da marca *Analytical Spectral Device Inc.*, modelo *FieldSpec*, com FOV (Field of View) de  $25^\circ$ , que opera na região do visível, do infravermelho próximo e parte do infravermelho médio (de 350 nm a 2500 nm).

Na Figura 4 destaca-se os seguintes componentes do equipamento: 1) unidade controladora – sistema capaz de amplificar o sinal elétrico recebido pela unidade detectora, podendo também fazer a conversão dos sinais analógicos em digitais; 2) unidade detectora – dispositivo para captar a radiância do alvo; 3) *notebook* – funciona como um dispositivo de registro e armazenamento dos sinais vindo da unidade controladora; 4) placa de referência –

superfície lambertiana, cuja medida da radiância é obtida após a de cada alvo e; 5) acessórios - bateria e cabos de conexão.



Figura 4. Espectrorradiômetro *FieldSpec* utilizado no experimento.

### 3.3 Metodologia adotada

A metodologia consistiu em se obter no campo, com o uso do espectrorradiômetro e sobre o pavimento asfáltico, as curvas espectrais das seguintes classes informacionais definidas para o estudo: 1) pavimento novo e em bom estado; 2) pavimento velho e em bom estado; 3) trinca com baixo grau de deterioração; 4) trinca com alto grau de deterioração. Todos os padrões foram obtidos com o asfalto seco.

Os dados de campo foram obtidos colocando-se a unidade detectora a uma altura tal que cubra toda a área a ser medida e perpendicularmente à mesma. O espectrorradiômetro utilizado tem um campo de visada de  $25^\circ$ , dessa forma, gerou-se uma tabela para várias dimensões de áreas cobertas pelo espectrorradiômetro, relacionados com a altura da unidade detectora. Para cada classe informacional definida, as medidas efetuadas com o espectrorradiômetro foram feitas no alvo e, em seguida, na placa de referência.

Ressalta-se que todas as observações foram obtidas com a energia radiante máxima, ou seja, o sol não se encontrava coberto por nuvem. Havendo cobertura do sol, não se recomenda fazer medidas com o espectrorradiômetro.

O espectrorradiômetro mede a intensidade de radiação refletida no alvo e não a reflectância do alvo. Utilizando a fórmula abaixo e através das leituras efetuadas no alvo e na placa de referência e, obtém-se a reflectância do alvo (Equação 1).

$$\rho_\lambda = \left( \frac{L_\lambda^a}{L_\lambda^p} \right) \cdot 100 \cdot \rho_\lambda^p \quad (1)$$

onde:  $\rho_\lambda$  é a reflectância no comprimento de onda  $\lambda$  (%);  $\rho_\lambda^p$  é a reflectância do painel (%) – valor tabelado;  $L_\lambda^a$  é a intensidade da radiação refletida no alvo (valor digital por unidade de área) e;  $L_\lambda^p$  é a intensidade da radiação refletida no painel (valor digital por unidade de área).

Para o processamento dos dados e a obtenção das curvas espectrais dos padrões levantados em campo utilizou-se o software Excel.

## 4. Resultados e discussões

As curvas espectrais dos 4 padrões analisados estão apresentadas na Figura 5. Visualmente percebe-se que tanto no início das curvas, aqui denominado por “Faixa 1”, quanto no final das curvas, denominado por “Faixa 2”, discrimina-se mais facilmente as classe analisadas. Assim, procurou-se definir os valores das bandas, concluindo que a Faixa 1 vai de 350 a 800 nm e a Faixa 2 de 1960 a 2260 nm.

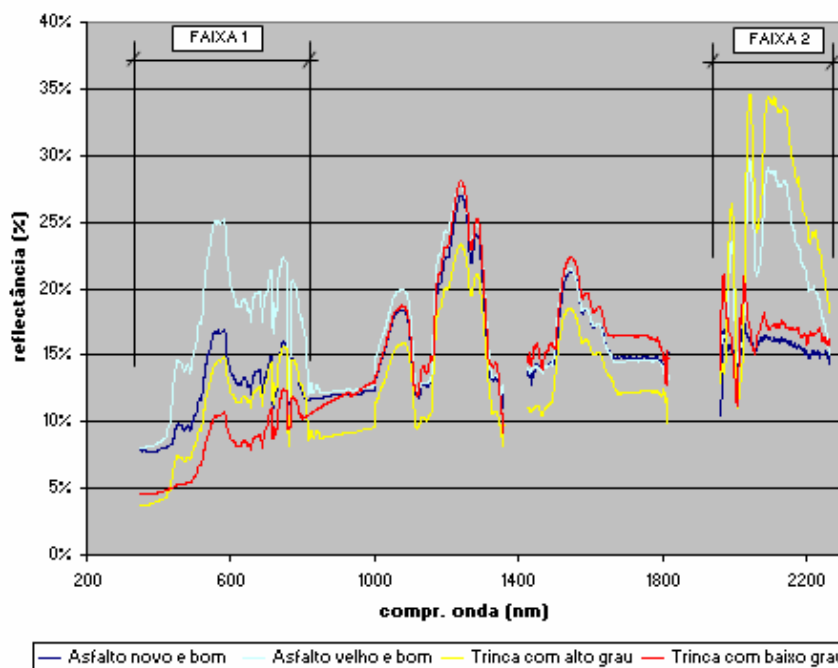


Figura 5. Curvas espectrais dos 4 padrões analisados.

A análise fica um pouco confusa porque existem muitos picos nas curvas, na “Faixa 1” no início e final da banda e na “Faixa 2” no início. Para amenizar esse problema optou-se em fazer operações de subtração entre as curvas, adotando-se o asfalto novo e bom como referência. A Figura 6 mostra as curvas obtidas nas operações de subtração: 1) [asfalto velho] – [asfalto novo]; 2) [trinca com baixo grau] – [asfalto novo] e; 3) [trinca com alto grau] – [asfalto novo]. Mesmo assim, ainda há alguma dificuldade na análise, principalmente na “Faixa 2”.

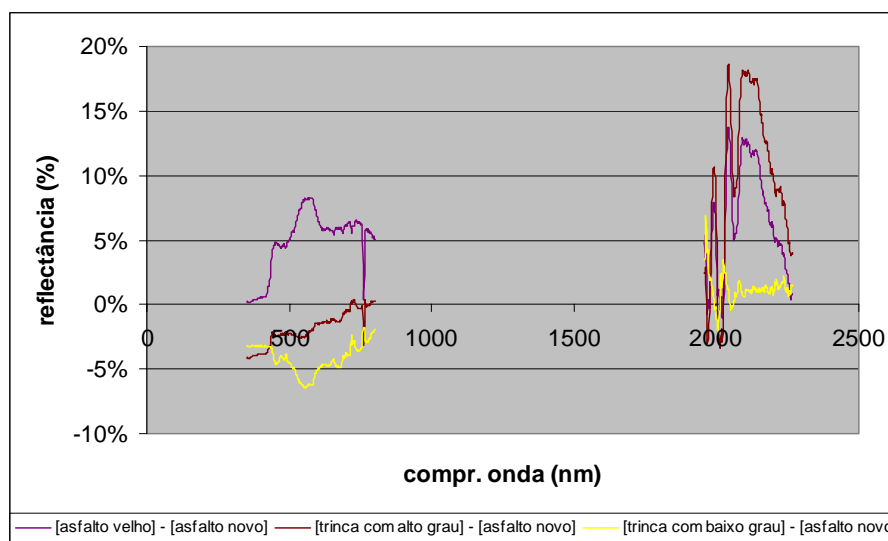


Figura 6. Curvas espectrais obtidas por operação de diferença.



Uma nova tentativa foi feita, agora, procurando-se estreitar as bandas das faixas, fixando a “Faixa 1” com largura de 450 a 755 nm e a “Faixa 2” com largura de 2100 a 2220. A Figura 7 apresenta o resultado dessa fase, mostrando agora uma boa discriminação nas duas faixas finais.

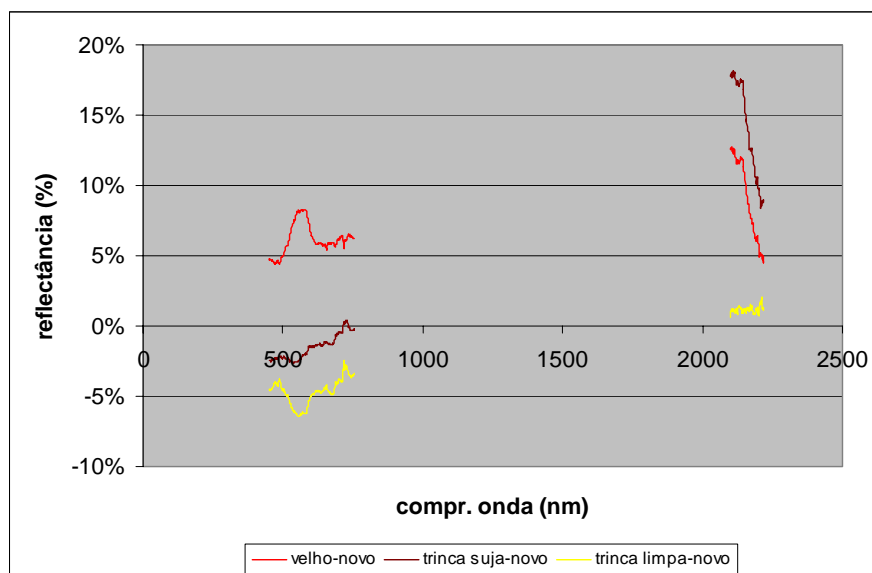


Figura 7. Resultado final, após o estreitamento das 2 faixas

## 5. Conclusões

Esse trabalho teve como premissa a possibilidade de se indicar uma faixa espectral que melhor caracterizasse padrões considerados comuns nas superfícies dos pavimentos asfálticos, indicando-a como informação essencial na aquisição (ou construção) de um sistema sensor. Foi utilizado um espectrorradiômetro que opera de 350 a 2500 nm e os padrões analisados foram: 1) pavimento novo e em bom estado; 2) pavimento velho e em bom estado; 3) trinca com baixo grau de deterioração; 4) trinca com alto grau de deterioração.

A partir das curvas espectrais dos padrões analisados e através de simples operação de subtração entre cada padrão e o asfalto novo obteve-se como resultado a Figura 7, cujas conclusões são: 1) obteve-se 2 faixas que discrimina bem os padrões analisados; 2) A 1ª faixa, de 450 a 755 nm, compreendendo uma parte do azul, passando pelo verde, vermelho e o início do infra-vermelho próximo; 3) A 2ª faixa, de 2100 a 2220 nm, compreendendo “uma janela” do infra-vermelho próximo.

Sabendo-se que um sistema sensor tem preço mais elevado à medida que se afasta da banda do visível e por ser a 2ª faixa (2100-2220) relativamente estreita, conclui-se que um sistema sensor que opere basicamente na faixa do visível atenderia sem maiores problemas ao questionamento desse trabalho.

Considerando a importância do sensoriamento remoto, através da análise e aplicação de dados hiperespectrais, no contexto da conservação rodoviária, mais pesquisas deveriam ser desenvolvidas para atestar seu potencial e aperfeiçoar o seu uso.

## Agradecimentos

Ao INPE, na pessoa da profa. Dra. Elisabete Caria Moraes pelo empréstimo do espectrorradiômetro. Ao NUGEO (Núcleo de Geoprocessamento Prof. Celestino Aspiazú) da UFV pelo uso de suas instalações, quando do desenvolvimento dessa pesquisa. A bolsa

concedida pela CAPES/PICDT ao doutorando Edgar Ricardo Ferreira. Aos Departamentos de Engenharia Civil da UFV e de Construções Cíveis do CTU/UFJF pelo apoio.

### **Referências bibliográficas**

Balbo, J. T. **Pavimentos asfálticos: Patologias e Manutenção**. São Paulo: Plêiade, 1997.

Fonseca, L. M. G. **Notas de aula: processamento digital de imagens**. São José dos Campos, INPE, 2000.

Congalton, R. G.; Grenn, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. New York: Lewis Publishers, 1999.

Confederação Nacional do Transporte – CNT. **Pesquisa rodoviária 2007: relatório gerencial**. Brasília, D.F., 2007.

IBGE. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. 94 p.

Jensen, B. C. Manual of Remote Sensing. **Urban/Suburban land use analysis**. Falls Church, American Society of Photogrammetry, 1983, 2 ed, v2, cap. 30, p. 1571-1666.

Landgrebe, D. A. **Signal Theory Methods in Multispectral Remote Sensing**. New Jersey: John Wiley and Sons, 2003. 508 p.

Liang, S. **Quantitative remote sensing of land surfaces**. New Jersey: J. Wiley, 2004. 560 p.

Mather, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 3 ed. Chichester: John Wiley and Sons, 2004.

Moreira *et al.* Caracterização da reflectância espectral de materiais urbanos com imagens do sensor HSS. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis. **Anais ...** São José dos Campos : INPE, 2007. Artigos, p. 6489-6496. CD-ROM.

Queiroz, D. M. **Notas de aula da disciplina agricultura de precisão**. DEA. Viçosa, UFV, 2005.

Staenz, K.; Itten, K. I. Reflective properties of asphalt and concrete surfaces. **Proceedings of the international symposium of the ISPRS**. WG-VII. Toulouse, France, p. 307-316. 1982.

Silva, P. F. A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. São Paulo: Pini, 2005.

Souza, R. C. A.; Kux, H. J. H. Comportamento Espectral e Alvos Urbanos: simulação com as bandas espectrais do satélite CBERS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1099-1106. CD-ROM.

Vieira, C. A. O. **Accuracy of Remotely Sensing Classification of Agricultural Crops: a Comparative Study**. 2000. 327 p. Thesis (Doctor of Philosophy). University of Nottingham. 2000.