

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE CAFÉ EM IMAGENS DO TM E ETM+ DO LANDSAT-5 E7

MAURICIO ALVES MOREIRA¹

MARCOS ADAMI²

BERNARDO FRIEDRICH THEODOR RUDORFF³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
mauricio@ltid.inpe.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
marcos@ltid.inpe.br

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
bernardo@ltid.inpe.br

Abstract: A study of the spectral behavior of coffee crop fields under development and under active production was carried out based on the spectral and temporal characteristics of both sensors TM and ETM+ on board of Landsat-5 and -7, respectively. The coffee crop fields were located in the municipality of Aguanil, Minas Gerais State. Three cloud free Landsat images were selected in 1999 and four in 2001. The spectral analyses was performed using bands 3, 4 and 5 for both sensors. The results showed that images acquired during the dry season performed best to map coffee crop at early development (>2 years) and under production (>5 years). Band 4 presented major spectral differences between coffee crop and other land use occupation. A comparison among the several coffee crop fields showed a high spectral variability which may be attributed to age, plants spacing and cultivar differences.

Keywords: remote sensing, coffee crop, spectral behavior.

1. INTRODUÇÃO

Na definição de uma política agrícola para o setor cafeeiro, um dos aspectos que se deve considerar seriamente é o estabelecimento de um sistema de previsão de safra eficiente e objetivo, que atenda às necessidades de planejamento e comercialização além de evitar que o agronegócio do café fique à mercê dos especuladores do mercado interno e externo, por falta de informações confiáveis sobre a produção. É fundamental que os atuais métodos subjetivos de estimativa da produção sejam aprimorados através da inclusão de novas tecnologias, como as imagens de satélites de sensoriamento remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's).

O uso operacional de imagens de satélites de sensoriamento remoto, visando estimar área plantada com a cultura cafeeira, ainda carecem de estudos que definam uma metodologia apropriada. Os resultados dos primeiros estudos realizados com imagens do sensor MSS do Landsat, para identificação e estimativa de áreas com café foram desanimadores (Velloso, 1974; Velloso e Souza, 1976; Velloso e Souza, 1978). Posteriormente, Tardin et al. (1992) mostraram que esta cultura poderia ser mapeada através de imagens do sensor TM do Landsat-5. Todavia, este trabalho não explorou o aspecto multitemporal das imagens e não definiu épocas mais favoráveis para identificação das lavouras de café e sua discriminação dos demais alvos da cena. Aspectos culturais da lavoura de café tais como: espaçamento, idade, cultivar, face do relevo, tratamentos culturais etc. podem ter influência relevante no comportamento espectral e também não foram considerados em trabalhos anteriores.

Este trabalho tem como objetivo analisar, em diferentes épocas nos anos de 1999 e de 2001, o comportamento espectral de lavouras de café-formação e café-produção, através de

imagens livres de cobertura de nuvens dos sensores TM e ETM+ a bordo dos satélites da série Landsat.

2. MATERIAL E MÉTODO

Para esta pesquisa, foram selecionadas lavouras cafeeiras, localizadas no município de Aguanil, centro-sul do estado de Minas Gerais, conforme é mostrado na Figura 1.

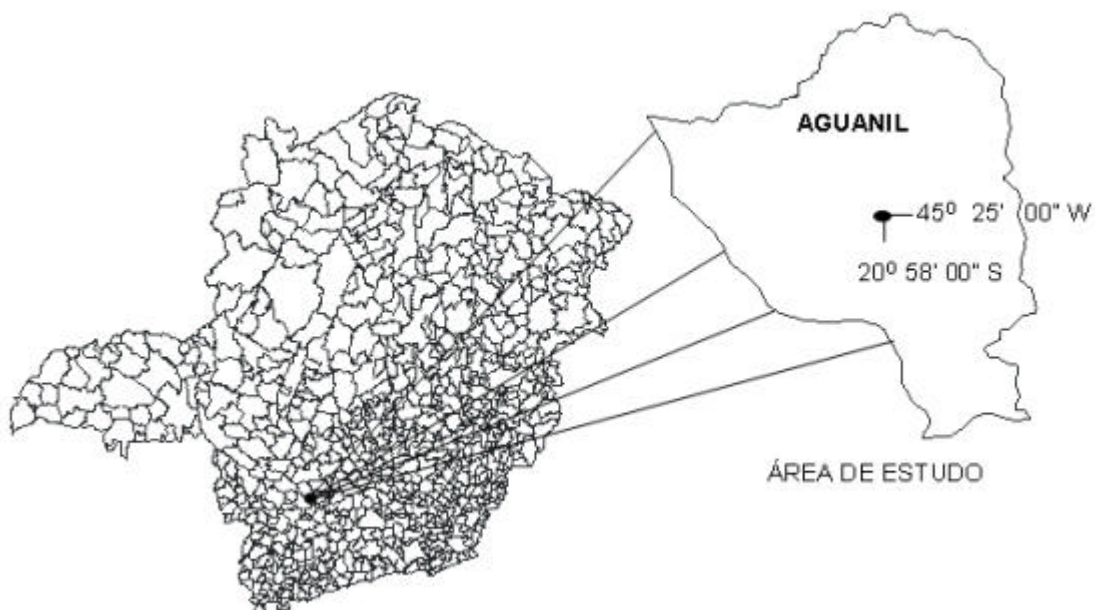


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Os solos da área são de baixa fertilidade, onde predominam os Latossolos (EMBRAPA, 1999). Quanto ao relevo, destacam-se dois tipos básicos, ou seja, suave ondulado e acidentado. De modo geral, o café é mais abundante no relevo suave ondulado, tanto em número de lavouras quanto em área plantada. Nas partes mais acidentadas pode-se encontrar lavouras de café no topo ou no primeiro terço do morro. Nessa situação, as lavouras são quase todas circundadas por matas ou cerrado, enquanto que na parte mais plana os alvos vizinhos, geralmente, são pastagens naturais ou artificiais e lavouras de verão.

Para a análise temporal do comportamento espectral das lavouras de café, a primeira etapa da pesquisa foi gerar o banco de dados, contendo imagens no formato digital de sete datas de passagem do LANDSAT-5 e 7, correspondente a órbita/ponto 219/74 (Tabela 1).

TABELA 1 – Órbita/ponto e data de passagem do satélite Landsat

Landsat	Órbita/ponto	DATA	Ano Agrícola
5	219/74	10/agos/99	1999
7	219/74	03/set/99	
5	219/74	27/set/99	
7	219/74	17/abril/01	2001
7	219/74	19/maio/01	
7	219/74	07/agost/01	
7	219/74	01/nov/01	

Sobre as imagens inseridas no banco de dados, aplicaram-se os procedimentos de pré-processamento, ou seja, realce de imagens, registro e corte da área de estudo.

Para diminuir a interferência dos efeitos atmosféricos nas imagens obtidas em diferentes datas, aplicou-se o procedimento de retificação, que consiste em corrigir os efeitos atmosféricos das imagens, de diferentes datas, escolhendo uma imagem como padrão, que apresenta boa qualidade radiométrica e adquirida sob condições de atmosfera limpa. A imagem que apresentou, visualmente, melhor qualidade radiométrica foi a de 03 de setembro de 1999. Todo procedimento de retificação foi realizado no PCI. Os passos metodológicos para realizar a retificação das imagens são descritos a seguir:

- a) Criação dos canais (planos de informação) para importação de todas as imagens de cada data de passagem do satélite.
- b) Transformação das imagens níveis de cinza para imagens reflectância, usando o programa **Replet.mod** do aplicativo PCI;
- c) Geração de imagens *greenness* e *brightness*, usando o programa **Grbr.mod** do aplicativo PCI
- d) Criação de máscaras, ou seja, faixas com valor de reflectância, a partir das imagens *greenness* e *brightness*, para extrair amostra que representa as classes água (escuro) e solo exposto (claro), usando o gráfico de dispersão para facilitar a escolha das amostras.
- e) determinação das médias dos pontos escuros e claros para todas as datas, nas imagens *greenness* e *brightness*;
- f) correção das médias dos pontos escuros e claros, com as médias obtidas nas imagens *greenness* e *brightness* da imagem base de 03/09/1999.
- g) confirmação dos resultados da retificação através sobreposição das imagens retificadas com a data base utilizando o diagrama de dispersão ou *Scater Plotter*.

O diagrama de dispersão facilitou a definição da faixa dos valores de reflectância (item d) e a confirmação do êxito da retificação (item g) pois ele possibilitou visualizar a sobreposição dos dados da imagem base e com a imagem retificada. Outro método utilizado para verificação da qualidade da retificação foi o histograma que permitiu comparar as médias dos valores de reflectância obtidos em cada banda da imagem base com os valores da imagem retificada. Uma vez concluído este procedimento no aplicativo PCI as imagens foram importadas para o aplicativo SPRING (INPE, 2001).

Com uma imagem em papel de 10 de agosto de 2001, na escala de 1:50.000, foi realizado um trabalho a campo no mês de janeiro de 2002 para identificar áreas de café em formação e em produção, considerando idade e espaçamento das lavouras. Nesta etapa foram levantadas informações sobre 30 lavouras de café em formação, com idade menor do que 5 anos em 2001 e maior do que um ano e meio em 1999; e 34 lavouras de café em produção com idade maior do que 5 anos em 1999 e maior do que 7 anos em 2001. A classe mata foi considerada como toda vegetação arbórea, ou seja, composta de mata reserva, cerrado e mata galeria. A pastagem predominante na região é constituída pela braquiária (*Brachiaria decumbens*). Entretanto, nas regiões mais acidentadas do município é possível encontrar pastagem natural onde predomina as gramíneas ssp. Todas estas informações foram inseridas num banco de dado relacional.

A análise de variância e o teste Tukey, para amostras de diferentes tamanhos, foram aplicados nos valores médios de reflectância, obtidos para cada polígono dos alvos: café-produção, café-formação, pastagem e mata. Os resultados também foram expressos sob a forma de gráficos para análise da variabilidade espectral média para a classe café (formação e produção) e para as classes de mata e pastagem, nas sete imagens do Landsat disponíveis nos dois anos.

Outro procedimento adotado nesta pesquisa foi a análise da variabilidade espectral de cada uma das lavouras cafeeira selecionadas, nas imagens adquiridas em agosto de 1999 e 2001. Neste caso, fez-se uma análise considerando apenas lavouras de café-produção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão contidos os resultados da análise estatística, para diferenças entre médias dos valores de reflectância nas bandas 3, 4 e 5, para as classes café-formação, café-produção, mata e pastagem no ano de 1999.

TABELA 2 – Resultados da análise estatística para os valores médios dos níveis de cinza nas bandas 3, 4 e 5 do sensor TM e ETM⁺, para o ano de 1999.

Ano	Classe	Banda 3*	Banda 4 *	Banda 5 *
10/08/99	Mata	59,83 a	108,31 a	78,14 a
	Café-produção	85,38 b	140,39 b	124,53 b
	Pastagem	106,95 c	113,88 a	167,14 c
	Café-formação	115,03 c	134,24 b	160,34 c
03/09/99	Mata	67,82 a	87,34 a	78,14 a
	Café-produção	99,06 b	108,28 c	124,53 b
	Pastagem	136,68 c	97,57 b	167,14 c
	Café-formação	140,94 c	108,02 c	160,34 c
27/09/99	Mata	59,83 a	114,42 a	75,16 a
	Café-produção	85,38 b	127,52 b	126,16 b
	Pastagem	106,95 c	115,56 a	158,26 c
	Café-formação	115,02 c	127,32 b	157,72 c

* Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Observando-se os resultados da análise estatística para o ano de 1999, nota-se que na banda 4 as classes café-formação e café-produção não diferiram entre si, mas diferiram das classes mata e pastagem em todas as datas, indicando ser esta banda apropriada para diferenciar café de mata e pastagem. Todavia, nas bandas 3 e 5, a separação das classes café-formação e pastagem foi possível em nenhuma data devido à similaridade de comportamento espectral entre estas duas classes de uso do solo. Esse resultado permite dizer que no caso de mapeamento de áreas cafeeiras devem-se adotar outros critérios para separar áreas de café-formação e pastagem, além do espectral. Assim, é importante o conhecimento do analista para interagir com o sistema utilizando outros critérios fotointerpretativos, como a forma dos talhões. A classe mata apresentou um comportamento espectral distinto das demais classes nas bandas 3 e 5 em todas as datas.

Na Tabela 3 estão contidos os resultados da análise estatística para diferenças entre médias dos valores de reflectância nas bandas 3, 4 e 5 das classes café-formação, café-produção, mata e pastagem, para as imagens do ano de 2001.

Para esse ano agrícola, nota-se que os resultados foram semelhantes aos observados em 1999, ou seja, para as datas de 19 de maio e 07 de agosto, a resposta espectral na banda 4 para

as classes café-formação e café-produção também diferiram das classes mata e pastagem. Este resultado confirma, mais uma vez, que nesta época do ano a banda 4 é apropriada para mapeamento de áreas cafeeiras em regiões com pastagem e mata. Já nas datas de 17 de abril e 1º de novembro o café-formação e pastagem apresentaram respostas espectrais estaticamente semelhantes em todas as três bandas espectrais. Ainda para a data de 17 de abril observou-se que a resposta para a classe café-produção, na banda 4, foi a menor de todas (NC=110,35), quando comparada com as demais datas, o que pode ser atribuído, em grande parte, à derriça de folhas durante a colheita. Uma vez que nesse município, 60% das lavouras são colhidas até essa época do ano.

Para a data de 1º de novembro ambas as classes, café-formação e café-produção, tiveram respostas espectrais semelhantes à classe pastagem nas imagens de todas as quatro bandas do sensor. Este resultado sugere que a classe café pode ser mais facilmente discriminada dos alvos pastagem e mata em imagens adquiridas no período seco.

TABELA 3 – Resultados da análise estatística para os valores médios dos níveis de cinza nas bandas 3, 4 e 5 do sensor ETM⁺, para o ano de 2001.

Data	Classes de uso do solo	Média de níveis de cinza (NC)		
		Banda 3 *	Banda 4 *	Banda 5 *
17/04/2001	Mata	28,60 a	84,06 a	47,63 a
	Café-produção	37,86 b	110,35 b	68,03 b
	Pastagem	48,66 c	96,93 c	83,80 c
	Café-formação	50,54 c	102,06 c	90,21 c
19/05/2001	Mata	14,33 a	122,90 a	112,25 a
	Café-produção	24,02 b	167,55 b	160,17 b
	Pastagem	47,52 c	133,55 a	123,51 a
	Café-formação	56,95 d	150,72 c	142,00 c
07/08/2001	Mata	42,12 a	111,57 a	56,88 a
	Café-produção	52,50 b	158,31 b	86,13 b
	Pastagem	94,20 c	129,61 c	135,31 c
	Café-formação	80,13 d	152,28 b	118,31 d
01/11/2001	Mata	40,45 a	120,93 a	68,27 a
	Café-produção	51,18 b	158,32 b	98,59 b
	Pastagem	60,63 bc	147,11 b	105,58 bc
	Café-formação	68,06 c	146,49 b	115,13 c

*Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Comparando os resultados obtidos para pastagem e café-formação nas imagens do mês de agosto para os dois anos (mesma época do ano), nota-se que a resposta espectral dessas duas classes foram semelhantes nas imagens de 10 de agosto de 1999 e diferentes na data de 07 de agosto de 2001. Este resultado pode ser explicado se levarmos em consideração que no ano de 1999 as lavouras de café-formação encontravam-se dois anos mais novas do que em 2001, ou seja, as lavouras classificadas em 2001 como café-formação, estavam com idade de três a quatro anos, enquanto que em 1999 essas mesmas lavouras estavam com idade de 1 a 1,5 ano, quando o substrato exerce forte influência na resposta espectral da cultura, principalmente

ervas daninhas. Para as três últimas datas (maio, agosto e novembro) o comportamento da reflectância na banda TM4 foi semelhante nas quatro classes de uso do solo analisadas. Isto é, não diferiram estatisticamente de uma data para outra. Já para a banda TM5, o café-produção apresentou uma alta reflectância na data de maio de 2001, sendo estatisticamente diferentes em relação às outras duas datas.

No mês de abril a resposta espectral das lavouras cafeeiras foi menor na banda TM4, em comparação com os dados obtidos para as outras três datas. As causas que levaram a esse menor valor podem estar associadas a dois fatores: derriça de folhas durante a colheita e maior exposição do solo nas entre linhas de plantio, uma vez que para a colheita é sempre feita uma limpeza do solo.

Na etapa seguinte, fez-se uma análise gráfica do comportamento espectral das lavouras de café-produção para as datas de agosto de 1999 e 2001, nas três bandas do sensor TM. Os resultados dessa análise são mostrados nas Figuras 2 a 4.

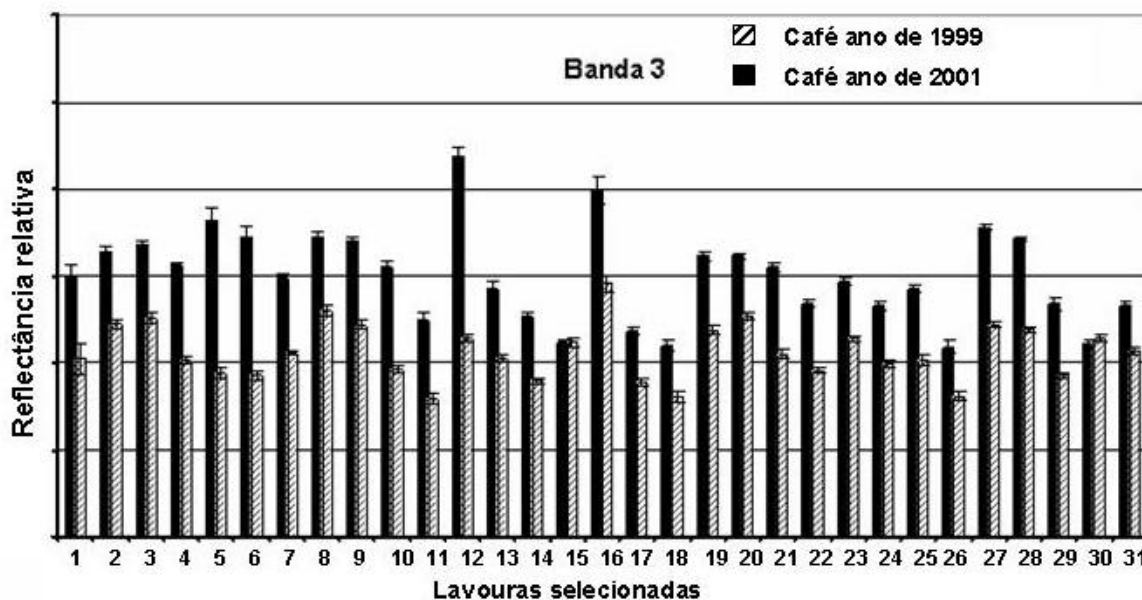


Figura 2 – Variações das reflectância na banda TM3, para lavouras em produção nas datas de 10/08/99 e 07/08/2001.

Nos gráficos da Figura 2, obtidos através dos valores de reflectância na banda 3, para cada uma das lavouras selecionadas, nota-se que houve variações no comportamento espectral de uma lavoura para outra e de um ano para outro. Em geral, a reflectância foi maior para a passagem de agosto de 1999, em comparação a agosto de 2001.

Observando os gráficos de reflectância na banda 4 (Figura 3), nota-se que no ano de 2001 a reflectância, nesta banda espectral, foi maior, para todas a lavouras, exceto para a lavoura 30. Na banda 5 (Figura 3) pode-se observar que a reflectância foi, novamente, menor para o ano de 2001, indicando menor teor de umidade no dossel, uma vez que a reflectância nesta banda do espectro eletromagnético é muito afetada pela água na planta. Entretanto, observar ainda, nesta banda espectral, que a lavoura 30 apresentou maior reflectância para o ano de 2001, em relação ao ano de 1999.

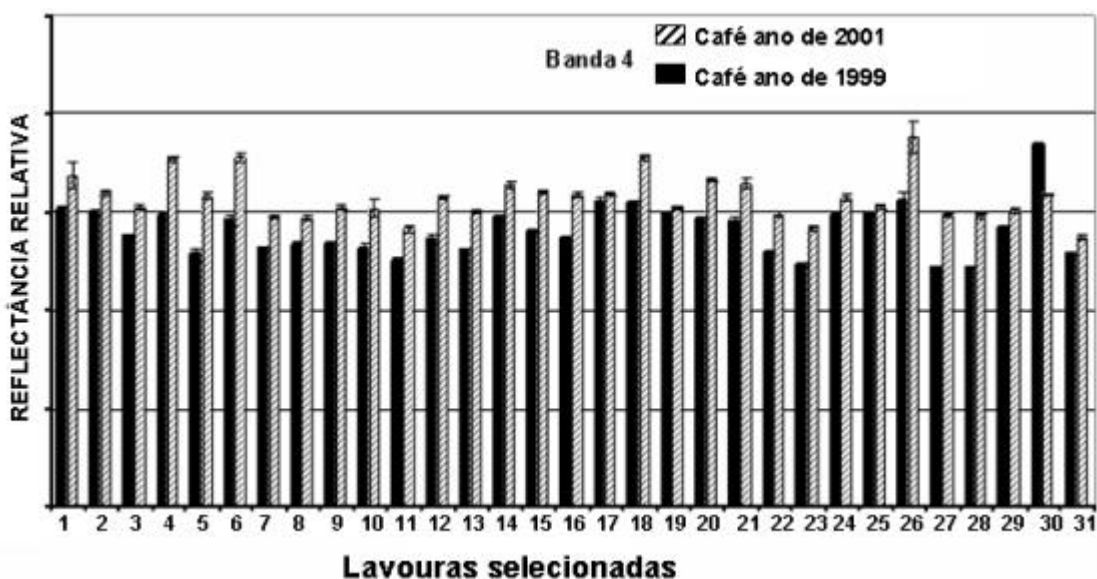


Figura 3 – Variações da reflectância na banda TM4, para lavouras em produção nas datas de 10/08/99 e 07/08/2001

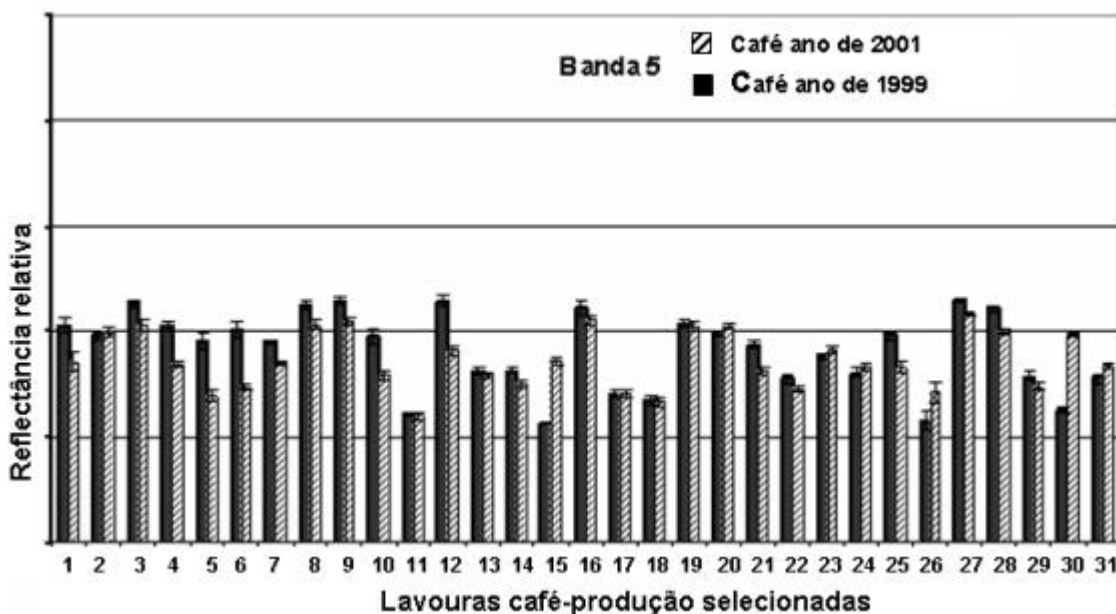


Figura 3 – Variações dos níveis de cinza observados para lavouras em produção nas datas de 10/08/99 e 07/08/2001, na banda TM4.

Na busca de uma explicação para esse comportamento espectral, constatou-se que a lavoura 30 foi implantada no sistema superadensado, com espaçamento entre linhas de 1,5 metros e 0,5 metro entre pés. Quando a lavoura completou cinco anos de idade (ano de 2000), o proprietário teve que erradicar uma linha de plantio a cada três. Esse fato diminuiu a quantidade de biomassa no dossel, conseqüentemente, menor reflectância na banda 4. Pelo o fato de haver menor número de pés na área, a competição pela água foi menor, o que acarretou maior reflectância na banda 5 do TM.

Tendo em vista que no ano de 2001, a reflectância na banda 5 foi menor para todas as lavouras, exceto a 30, pode-se dizer que esse ano, principalmente, no mês de agosto, foi

menos seco do que o ano de 1999, uma vez que essa banda espectral é muito sensível ao teor de água nas folhas da vegetação.

4. CONCLUSÕES

Do ponto de vista de sensoriamento remoto os resultados da pesquisa foram importantes porque permitiram tirar algumas conclusões a respeito do comportamento espectral do café. Pôde-se observar que:

- O café-produção não confundiu espectralmente com as classes mata e pastagem, em nenhuma data de passagem do satélite, que foram analisadas.

- As imagens obtidas na banda 4 do sensor TM e ETM+, no período mais seco do ano (maio a início de setembro) mostraram-se apropriadas para o mapeamento de áreas cafeeiras tanto em formação quanto em produção.

- O comportamento espectral de áreas de café-produção, quando analisado individualmente, para os meses de agosto de 1999 e 2001, revelou uma variabilidade muito grande na reflectância tanto entre lavouras quanto de um ano para outro, independente da banda analisada. Em geral, a variabilidade foi maior no ano de 2001.

- Finalmente, pôde-se observar que, embora o café sendo uma cultura perene, a melhor época para o mapeamento dessa cultura, através de dados orbitais, é nos meses mais secos, onde o contraste espectral de áreas cafeeiras e outros alvos de ocupação do solo é maior. Mesmo assim, acredita-se que a contribuição de outros elementos fotointerpretativos, e o conhecimento de técnicos que atuam na região são imprescindíveis para obter resultados mais confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EMBRAPA: Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro). Sistema brasileiro de classificação de solos. – Brasília : Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro : **Embrapa Solos**. 412p. 1999.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas – SPRING 3.5.1 – Tutoriais**. São José dos Campos, SP. 2001.
- Mello, E.V. de. Cafeicultura no Brasil. In: Zambolim, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Editor, Laércio Zambolim, UVF, 1ª Ed., 565-646p, Viçosa. 2001.
- Tardin, A. T.; Assunção, G. V.; Soares, J. V. Análise preliminar de imagens TM visando a discriminação de café, citrus e cana-de-açúcar na região de Furnas-MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.9, p. 1355-1361, 1992.
- Velloso, M.H. **Coffe inventory throught orbital imagery**. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1974. 20p. (SR-525).
- , M.H.; Souza, D.D. **Sistema automático de inventário cafeeiro**. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1976. 8p.
- **Trabalho experimental de inventariação automática de cafezais utilizando imagens orbitais e o equipamento image-100**. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1978. 2p.