

IMAGENS ORBITAIS APLICADAS AO LEVANTAMENTO DA CULTURA DO CAFÉ EM MINAS GERAIS¹

VIEIRA, T.G.C.²; LACERDA, M.P.C.³; ALVES, H.M.R.²; VEIGA, R.D.⁴; VILELA, A.V.⁵ CEREDA, G.J.²; ANDRADE, H.⁴ e MACHADO, M.L.²

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - CBP&D/Café; ² Pesquisador da EPAMIG/CTSM, Laboratório de Geoprocessamento, Cx. P. 176, Lavras-MG, 37.200-000, TeleFax (+35) 38216244, <geosolos@ufla.br>; ³ Pesquisadora EPAMIG/CTSM - Bolsista Recém-Doutor da FAPEMIG, Laboratório de Geoprocessamento, CxP. 176, Lavras-MG, 37.200-000, TeleFax (+35) 38216244, <marilusa@ufla.br>; ⁴ Professor UFLA – Cx. P. 37, Lavras-MG, 37.200-000., TeleFax (+35) 38291252, <handrade@ufla.br>; ⁵ Bolsista DES - FUNAPE-CBP&D/Café - Laboratório de Geoprocessamento, Cx. P 176, Lavras-MG, 37.200-000, TeleFax (+35) 38216244, <geosolos@ufla.br>

RESUMO: Este trabalho foi desenvolvido pela EPAMIG/CTSM/Laboratório de Geoprocessamento, com recursos financeiros do CBPD/Café, com o objetivo de avaliar a correlação entre parâmetros culturais e respostas espectrais da cultura cafeeira em imagens TM/Landsat, para estabelecer padrões de identificação desta cultura, por meio de sensoriamento remoto, que possam ser utilizados no zoneamento e monitoramento do parque cafeeiro de Minas Gerais. Para isso foram selecionadas áreas representativas de duas das principais regiões produtoras do Estado, em ambientes contrastantes, onde foram realizados levantamentos de campo para coleta de dados da cultura e do meio físico. As áreas-piloto selecionadas localizam-se em Patrocínio, representativa da região produtora do Alto Paranaíba (ambiente do cerrado), e em Machado, representativa da região produtora do Sul de Minas. O sistema de informação geográfica SPRING foi utilizado para implementação dos dados de campo em um banco de dados digital. As respostas espectrais foram estimadas pelos valores médios de reflectância extraídos de imagens TM/Landsat, bandas 3, 4 e 5, por amostras de pixels, para cada um dos talhões de café levantados e georreferenciados no campo. Foram realizadas análises estatísticas descritivas para avaliação da consistência dos dados e análise de correlação linear entre as variáveis avaliadas e a reflectância na banda 4. Os resultados mostraram que, dentre as variáveis culturais avaliadas, apenas a percentagem de cobertura do terreno por plantas de café (COBCAFE) mostrou resposta significativa. Em cafezais formados e em bom estado produtivo, o levantamento por sensoriamento remoto pode ser utilizado, principalmente em regiões de relevo plano a suave ondulado, como Patrocínio.

Palavras-chave: cafeicultura, sensoriamento remoto, imagens TM/Landsat, reflectância.

ORBITAL IMAGES APPLIED TO MONITORING OF COFFEE PLANTATIONS IN MINAS GERAIS

ABSTRACT: The work, funded by CBPD/Café, was carried out by EPAMIG/CTSM/Geoprocessing Laboratory. The objective of the project was to correlate parameters of coffee plantations with their spectral responses in TM/Landsat images, in order to obtain patterns that would allow: (i) the identification of coffee through orbital remote sensing and geoprocessing techniques, and (ii) the use of these methodologies in future monitoring, managing and planning of coffee lands of Minas Gerais. The field work involved selection of representative areas from the main coffee production regions of the state, with definition of pilot areas from where the coffee parameters and environmental data were collected. The pilot-areas selected for study were located in Patrocínio, representative of the Alto Paranaíba region, and Machado, representative of the region Sul de Minas. The field data were input into the digital database of the geographic information system SPRING and the images from the TM/Landsat were also treated in the SPRING. Reflectance values, averaged from pixels taken from various coffee areas georeferenced in the field, were extracted. The reflectance data, as well as the remaining data collected in the field, were organised in a statistical programme for correlation studies. The results showed that due to the great complexity of the crop and the limitations imposed by the spatial resolution of TM/Landsat products, the definition of a single pattern is unlikely. Nevertheless, in the case of productive adult coffee plants in good vegetative state, the survey and monitoring of the crop can be done using TM/Landsat images, particularly in regions like Patrocínio where the landscape enhances responses of the TM sensor.

Key words: coffee crop, remote sensing, TM/Landsat images, reflectance.

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto pode ser entendido como o conjunto de técnicas que possibilitam a extração, à distância, de informações de alvos de interesse na superfície da terra. Isso é conseguido pela detecção, quantificação e análise da energia eletromagnética refletida, absorvida, transmitida e/ou emitida pelos alvos. A imagem de satélite é uma ferramenta que pode ser utilizada para gerar informações, que são obtidas através do comportamento espectral da cultura. As diferenças espectrais são registradas na imagem na forma de variações tonais, de cores ou de densidade. Os sensores remotos buscam detectar e mostrar as diferenças em tonalidades ou cor entre um objeto e o ambiente em que ele se encontra (Valério Filho, 1996).

As culturas agrícolas variam em termos de complexidade espectral, e trabalhos têm sido desenvolvidos para avaliar a relação existente entre variáveis agronômicas e respostas multispectrais. A

resposta espectral do dossel de uma cultura pode ser influenciada por diversos fatores, como: umidade, vigor vegetativo, cobertura vegetal do substrato, tipo de solo, topografia, espaçamento da cultura, variedade, idade da planta e culturas intercalares, entre outros. No caso de culturas perenes, a reflectância registrada num dado pixel é proveniente não só da planta em si, mas também de fatores ligados ao substrato e à geometria do sombreamento. O desenvolvimento destas plantas geralmente leva mais tempo, e outros fatores, como o solo, a sistemática de uso de implementos agrícolas, o sombreamento dentro e entre fileiras e as características sazonais da cultura, tornam-se importantes.

Segundo Leonardi (1990), o sensoriamento remoto é um meio potencial para a aquisição de informações relativas à cafeicultura, devido a seu caráter multiespectral, repetitividade no tempo e espaço e relativo baixo custo, quando comparado à fotografia aérea. A cultura do café, contudo, apresenta características típicas da complexidade anteriormente referida para culturas perenes. Em termos de observações por sensores remotos, o café é muito heterogêneo, pois apresenta variabilidade em todos os parâmetros culturais que influenciam a resposta espectral (Epiphanyo et al., 1994).

Neste trabalho foram avaliadas algumas variáveis culturais e ambientais do cafeeiro e a resposta espectral de talhões de café levantados e georreferenciados no campo, utilizando imagens TM/Landsat 5, bandas 3,4 e 5, e o sistema SPRING do INPE. O objetivo do trabalho foi estabelecer a correlação entre as variáveis culturais selecionadas e suas respostas espectrais, para obtenção de padrões de identificação da cultura cafeeira em imagens Landsat, que posteriormente poderão ser utilizados no monitoramento, gerenciamento e planejamento do parque cafeeiro de Minas Gerais

MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas duas áreas de estudo de 520 km², localizadas nas regiões de Patrocínio, representativa da região Alto Paranaíba, e Machado, representativa da região Sul de Minas. Estas áreas representam duas das maiores regiões produtoras do Estado, encontram-se em ambientes diferenciados e possuem histórico da cultura cafeeira nas respectivas cooperativas regionais, cujas informações eram necessárias ao desenvolvimento do trabalho. As duas áreas-piloto foram selecionadas a partir de investigações prévias sobre as áreas de cafeicultura que mais representassem as regiões produtoras em questão, ou seja, região do Alto Paranaíba (Patrocínio) e região Sul de Minas (Machado), considerando diversos fatores, como características dos cafezais, dimensões médias das áreas plantadas, cultivares mais utilizadas, técnicas de manejo, características do meio físico (tipo de solo e relevo) e outras. A área-piloto de Patrocínio foi delimitada pelas coordenadas UTM 278 km e 304 km W e 7.942 km e 7.922 km S,

englobando porções das cartas topográficas do Ministério do Exército, em escala 1:100.000 de Patos e Monte Carmelo. A área-piloto de Machado foi delimitada pelas coordenadas UTM 392 km e 418 km W e 7.620 km e 7.600 km S, ocupando porções das folhas topográficas do IBGE, escala 1:50.000, de Machado e Campestre.

Foram utilizadas imagens TM/Landsat 5 em formato digital, referentes às orbitas 220/73E (Patrocínio) e 219/75E (Machado), para as bandas 3, 4 e 5, de 1999, de épocas (abril-junho) correspondentes ao estágio mais vigoroso do café e coincidentes com o período no qual foram realizados os levantamentos de campo.

Ao todo, foram levantados 75 talhões de café, que foram devidamente georreferenciados com o GPS Garmin 12. Em Machado, em razão da grande variação nas condições de relevo, dos sistemas de plantio e manejo do café e do menor tamanho dos talhões, foi necessária a coleta de amostras em várias fazendas, para que se pudesse coletar uma amostra representativa da região. Já em Patrocínio, em virtude das condições mais homogêneas tanto do relevo quanto dos tratos culturais das lavouras, a amostragem foi realizada em apenas uma fazenda, que apresentava todas as variáveis importantes para representar a região, perfazendo um total de 1.000 ha, distribuídos em seus 22 talhões diferenciados.

As variáveis levantadas nas campanhas de campo, realizadas no período de maior vigor vegetativo do café (abril a junho), foram: área do talhão, idade, altura ou porte, diâmetro médio das plantas, ano de poda, percentagem de cobertura do terreno por plantas de café, tipo e percentagem de cobertura vegetal ao longo das ruas, cultivar, densidade populacional, espaçamento entre covas e entre linhas, vigor vegetativo, produção média, declividade, quadrante ou orientação do declive e tipo de solo.

Dentre as variáveis citadas, algumas foram selecionadas para o trabalho de análise estatística, conforme listado a seguir:

1. Porte (PORTE): média da altura das plantas do talhão em metros.
2. Densidade de plantas (DENS): número de plantas por hectare.
3. Vigor vegetativo (VIGORVEG): avaliação feita no campo por meio de notas variando de 1 para vigor mínimo a 10 para o máximo vigor.
4. Diâmetro médio das plantas (DIAM): diâmetro médio das plantas do talhão, em metros
5. Produção média (PRODMED): valor médio em litros de café cereja por cova.
6. Porcentagem de cobertura do terreno por plantas de café (COBCAFE): valor calculado em função do diâmetro médio e espaçamento empregado.

7. Declividade da encosta (DECLIV): declividade da vertente medida por clinômetro, em porcentagem.

As épocas, o município, as fazendas e áreas levantadas no campo encontram-se listadas na Tabela 1.

Os dados levantados foram organizados em planilhas eletrônicas e inseridos em bancos de dados digitais, criados para cada uma das áreas-piloto por meio do sistema de informação geográfica SPRING. As imagens foram tratadas por meio do módulo Imagens do SPRING, seguindo as etapas de registro, correção atmosférica e do ângulo de elevação solar e obtenção dos valores de reflectância dos talhões amostrados. Os valores de reflectância foram extraídos da imagem, através do módulo para leitura de pixels, para cada uma das bandas analisadas, ou seja, bandas 3, 4 e 5. Os dados de reflectância extraídos correspondem às tonalidades de cinza do pixel analisado, que variam de 0 a 255. O valor utilizado foi obtido por meio da média aritmética dos valores individuais de todos os pixels de cada um dos talhões de café avaliados. Esses dados foram posteriormente transformados em porcentagem e anexados às planilhas eletrônicas, para as análises estatísticas.

Tabela 1 - Épocas, municípios, locais e áreas levantadas nas atividades de campo

DATA	MUNICÍPIO	LOCAL	NÚMERO DE TALHÕES	ÁREA LEVANTADA
14 a 15/04/99	Patrocínio	Fazenda daTerra - Tabuões	22	1.000 ha
31/05 a 01/06/99	Machado	Fazenda Boa Vista	18	230 ha
07 a 09/06/99	Machado	Fazenda Jabneh	21	460 ha
10/07/99	Machado	Fazenda Perereca	5	500 ha
11/06/99	Machado	Fazendas Reunidas	6	500 ha
11/06/99	Machado	Fazendas Usina Monte Alegre	3	300 ha

Primeiramente foi realizada uma análise de consistência do banco de dados, por meio de análises de frequência, médias, mínimos e máximos. Os resultados mostraram-se satisfatórios para dar prosseguimento aos procedimentos analíticos, que foram realizados por meio do programa estatístico SAS.

Tendo em vista a natureza dos dados, que incluíam grande número de variáveis não controladas, obtidos diretamente do levantamento de campo, realizaram-se análises de regressão múltipla, tentando-se vários modelos, entre eles stepwise e backward, separando os dados por fazendas, por ambiente geomorfopedológico e, por fim, por região produtora, ou seja, Alto Paranaíba e Sul de Minas. Como os resultados não foram esclarecedores, foram realizadas análises de correlação linear das variáveis com a

reflectância medida na banda 4, que é a banda responsável pela resposta espectral da vegetação. Inicialmente todas as variáveis levantadas foram consideradas, e, numa segunda etapa, foram consideradas apenas aquelas que apresentavam maiores coeficientes de correlação e/ou menores níveis de significância. Como a resposta espectral depende muito das condições de relevo, os dados foram analisados em dois grupos: talhões localizados em vertentes com declividade maior que 15% e menor ou igual a 15%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação da resposta espectral dos cafezais avaliados

No caso dos cafezais avaliados, os valores de reflectância na banda 3 são baixos, da ordem de 3%, naqueles que apresentam características que isoladamente ou combinadas condicionam porcentagem de cobertura do substrato por café maior que 70%, como idade (4-5 anos), porte (maior que 2 m), vigor vegetativo bom a ótimo e espaçamento de plantio mais adensado, entre outros. Essas características referem-se aos cafezais formados e em bom estado produtivo. Nos cafezais em formação, a porcentagem de cobertura do substrato por café é geralmente menor que 50% e a resposta espectral combinada do substrato é significativa, influenciando os valores de reflectância na banda 3, que serão, portanto, mais altos, atingindo 15%. Isso explica-se pelo fato de que na banda 3, localizada na faixa visível do espectro eletromagnético, no intervalo espectral de 0,63 a 0,69 μm , a vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação, como solo exposto, estradas e áreas urbanas.

Os resultados de reflectância obtidos na banda 4 mostram valores mais altos, atingindo 35-40% para os cafezais formados e em bom estado produtivo. Nos cafezais em formação, dada a grande proporção de exposição do substrato, os valores de reflectância são mais baixos, da ordem de 20-25%. A banda 4, que compreende uma faixa do Infravermelho Próximo do espectro eletromagnético, no intervalo espectral de 0,76 a 0,90 μm , permite que a vegetação verde, densa e uniforme, reflita muita energia, aparecendo bem clara, sendo, portanto, a mais recomendada para estudos de resposta espectral de áreas vegetadas.

Os dados analisados mostraram que a banda 5 (delimitada por 1,55 e 1,75 μm , localizando-se na faixa do espectro eletromagnético do Infravermelho Médio) refletiu mais a condição de umidade do solo e indiretamente o tipo de solo, por meio da sua maior ou menor capacidade de retenção de água. Assim, os valores de reflectância foram mais altos nos cafezais em formação, com grande exposição do substrato

(até 90%), atingindo valores de 28%. Nas áreas onde o solo tem grande capacidade de retenção de água, como os Latossolos, os valores de reflectância são mais baixos, em virtude da absorção da água nessa banda.

Resultados da análise estatística

Tendo em vista o objetivo do trabalho de analisar áreas cafeeiras e as características anteriormente ressaltadas, serão apresentadas neste trabalho apenas as análises realizadas para a banda 4.

A Tabela 2 apresenta os resultados de análise descritiva de todos os dados coletados nas campanhas de campo, referentes às variáveis culturais dos cafezais avaliados e respectivos valores médios de reflectância na banda 4. Esses resultados confirmaram a consistência dos dados, garantindo confiabilidade para realização das análises estatísticas seguintes.

Os resultados das análises de regressão, independentemente do modelo utilizado, tanto no stepwise quanto no backward, não foram significativos, mesmo quando se aumentou o nível de significância, por não se tratar de ensaio experimental em condições controladas.

Tabela 2 - Valores médios, mínimos, máximos e desvio-padrão dos dados coletados referentes aos 75 talhões de café amostrados no campo

	REFB4* (%)	PORTE (m)	DENS (plantas/ha)	VIGORVEG**	DIAM (m)	PRODMED (L/cova)	COBCAFE (%)	DECLIV (%)
Valor Médio	30,05	2,44	4.305	8,1	1,99	3,64	59,87	10,40
Desvio-Padrão	4,68	0,99	3.140	1,18	0,99	3,25	28,34	11,10
Valor Mínimo	16,86	0,8	1.000	5,0	0,28	0	10,0	1,0
Valor Máximo	43,14	5,0	13.333	10,0	5,0	12,0	100,0	70,0

* valores médios de reflectância na banda 4.

** índice de 1 a 10, conforme avaliação de campo.

Dessa forma, foram realizadas análises estatísticas lineares, avaliando-se o coeficiente de correlação linear e o nível de significância das variáveis coletadas e selecionadas conforme apresentado na Tabela 3. A primeira análise foi realizada para todos os dados em conjunto. Os resultados mostram que, dentre as variáveis analisadas, a que mostrou nível de significância mais baixo (0,01%) foi a variável COBCAFE, apesar da baixa correlação, que provavelmente reflete natureza dos dados, conforme já comentado. Esse resultado está coerente com a resposta esperada na banda 4, pois a variável COBCAFE inclui na sua resposta o somatório dos efeitos de porte, densidade de plantas, diâmetro e vigor vegetativo e, indiretamente, a produção média. Pode-se concluir, portanto, que ela é a variável mais indicada para avaliação da resposta espectral dos cafezais em estudos de sensoriamento remoto. Dessa maneira, quanto

maior a cobertura do terreno por plantas de café, maior será sua resposta espectral na banda 4, o que pode ser utilizado para a identificação e o levantamento de áreas ocupadas pela cultura cafeeira em imagens TM/Landsat.

A declividade do terreno, apesar de não apresentar correlação significativa com a REFB4, é uma variável que interfere na resposta espectral por imageamento orbital, conforme observações visuais nas imagens de satélite TM/Landsat. Assim, realizou-se a análise estatística individualizando os dados em dois grupos: um com talhões de declividades maiores que 15% e o outro com talhões de declividades menores ou iguais a 15%, separando-se os cafezais em condições de relevo plano a suave ondulado daqueles em relevo ondulado a montanhoso. Os dados apresentados na Tabela 3 mostram que, em condições de relevo plano a suave ondulado (declividade $\leq 15\%$), a resposta espectral na banda 4 (REFB4) foi mais significativa (níveis de significância menor) do que nas condições de declividade $> 15\%$, corroborando a expectativa. Juntamente com a COBCAFE, no grupo de amostras de declividade $\leq 15\%$, outras variáveis, como porte, diâmetro e produção média, apresentaram, também, os menores níveis de significância.

Tabela 3 - Análises estatísticas entre a resposta espectral da banda 4 (REFB4) e as variáveis culturais do café (r = coeficiente de correlação linear; α = nível de significância)

REFB4	PORTE	DENS	VIGORVEG	DIAM	PRODMED	COBCAFE	DECLIV
r	0,12	0,13	-0,01	0,17	0,22	0,45	0,10
α	0,31	0,25	0,93	0,15	0,05	0,0001	0,40
DECLIV > 15%							
r	- 0,37	0,38	-0,16	- 0,01	- 0,06	0,61	-0,03
α	0,22	0,19	0,59	0,97	0,85	0,02	0,93
DECLIV $\leq 15\%$							
r	0,21	0,15	0,05	0,20	0,30	0,43	0,09
α	0,10	0,23	0,72	0,12	0,01	0,0004	0,48

CONCLUSÕES

1. Os resultados obtidos mostram que a cultura cafeeira apresenta resposta espectral bastante complexa, em razão das diversas variáveis que envolvem a sua caracterização.
2. O estudo estatístico mostrou que, dentre as variáveis avaliadas, a que apresentou melhor resposta em relação à reflectância medida na banda 4 foi a COBCAFE, que corresponde à porcentagem da área ocupada por plantas de café. Esta, por si só, reflete os efeitos de outras variáveis culturais do café, como porte, diâmetro, densidade, vigor vegetativo e produção média. Assim, recomenda-se o uso de imagens de satélite TM/Landsat em lavouras onde a cobertura por café seja maior que 50%.

3. O relevo também exerce grande influência na resposta espectral do cafeeiro, recomendando-se, portanto, que estudos de identificação de áreas cafeeiras por sensoriamento remoto sejam preferencialmente realizados em áreas de relevo plano a suave ondulado.
4. A resposta espectral composta em cafezais formados e em bom estado produtivo permite o levantamento e monitoramento destes em imagens TM/Landsat, particularmente em regiões onde o imageamento orbital é beneficiado, ou seja: regiões de relevo suave, condições atmosféricas ideais, áreas contíguas de grandes dimensões ocupadas pela cafeicultura; condições estas que ocorrem na região de Patrocínio. Nas demais regiões, é aconselhável a associação de produtos de sensores remotos de maior resolução espacial, como, por exemplo, a imagem IKONOS, que apresenta resolução espacial de até 1 x 1 metro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EPIPHANIO, J. C. N.; LEONARDI, L.; FORMAGGIO, A. R. Relações entre parâmetros culturais e resposta espectral de cafezais. **Pesq. Agropec. Bras.**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 439-447, 1994.
- LEONARDI, L. **Influência de parâmetros culturais de cafezais sobre os dados TM/Landsat-5**. São José dos Campos: INPE, 1990. 141p. (Dissertação de Mestrado).
- VALERIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F. Imagens orbitais aplicadas ao levantamento de dados do meio físico: Contribuição ao planejamento de microbacias hidrográficas. In: Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 8, Londrina, 1996. **Anais...** Londrina, 1996. p.77-94.