

# INTERAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS AMBIENTAIS E O COMPORTAMENTO ESPECTRAL DO CAFEEIRO EM IMAGENS ORBITAIS

Tiago BERNARDES<sup>1</sup> E-mail: [tiago@epamig.ufla.br](mailto:tiago@epamig.ufla.br) ; Helena M. R. ALVES<sup>2</sup>; Tatiana G. C. VIEIRA<sup>1</sup> ; Hécio ANDRADE<sup>3</sup>; Lúcio C. MOURA<sup>4</sup>;

<sup>1</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/CTSM, Lavras, MG.; <sup>2</sup>Embrapa Café, Lavras, MG; <sup>3</sup> Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG; <sup>4</sup> Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC e Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG;

## Resumo:

Este trabalho teve como objetivo estudar a correlação entre variáveis ambientais e as respostas espectrais da cultura do café em imagens de satélite, para avaliar a influência destas interações nos padrões de identificação da cultura cafeeira por meio de sensoriamento remoto orbital. O estudo das correlações entre diferentes classes de solos e orientação de vertentes com a resposta espectral do dossel do cafeeiro visa à definição de parâmetros adicionais para melhorar o desempenho da classificação automática das imagens no mapeamento das áreas cafeeiras. O estudo foi realizado em uma área-piloto, localizada no município de Machado, selecionado como representativo da região produtora de café do Sul de Minas. Com o auxílio do sistema de informações geográficas SPRING foram utilizadas imagens TM/Landsat 5 e TM/Landsat 7 para identificação das áreas cafeeiras e dados cartográficos para geração dos mapas de relevo e exposição de vertentes. O mapeamento de solos foi obtido por modelagem geomorfopedológica a partir de dados de relevo e observações de campo. Os dados de solos e exposição de vertentes foram sobrepostos às áreas cafeeiras para a obtenção dos mapas de distribuição das lavouras quanto a estes dois parâmetros. Estes mapas foram utilizados como base para determinação dos níveis de cinza correspondentes às áreas cafeeiras nas diferentes classes de solos e vertentes na imagem. A análise estatística foi feita com o auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2000), utilizando-se como fontes de variação banda x exposição e banda x tipos de solos. Tanto os solos como as orientações de vertentes proporcionaram diferença significativa na resposta espectral das áreas cafeeiras na imagem.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, cafeicultura, mapeamento de solos, orientação de vertentes.

## CORRELATION BETWEEN ENVIRONMENTAL VARIABLES AND ESPECTRAL RESPONSE OF COFFEE IN SATELITE IMAGES

### Abstract:

Remote sensing data was used to map coffee areas and to assess the relationships between the crop and environmental components. Changes in the spectral behaviour of coffee fields in Landsat images, due to variations in the soil type and slope aspect, were evaluated in order to define supplementary parameters to improve the automatic classification of these images. The work was carried out in a study-area in Machado, an area representative of the coffee production of the South of the state of Minas Gerais. Satellite images were used to identify the coffee fields and cartographic data was used to obtain the relief and slope aspect maps. The soil map was obtained from geomorphologic modeling using relief information and field observation data. The GIS SPRING was used to overlay the slope aspect and soil maps onto the coffee areas to obtain the distribution of the coffee fields in relation to these two environmental parameters. Digital numbers for each of the interactions between coffee, soil and slope aspect mapped were obtained from the image. Statistical analysis was carried out through the SISVAR software, using as variation sources band and slope aspect and band and soil type. Both parameters, soil class and slope aspect, promoted significant differences in the digital numbers of the coffee areas in the image.

**Key words:** Remote sensing, coffee growing, soil mapping, slope aspect.

## Introdução

O planejamento de qualquer atividade agropecuária e o uso sustentado dos recursos naturais requer, inicialmente, o levantamento e a organização/disponibilização de informações atualizadas sobre o ambiente. Isto pode ser feito pela realização de um diagnóstico ambiental das áreas produtoras. Para tanto, é necessário levantar informações sobre o meio ambiente, que incluem características de solos, clima, vegetação, geologia, relevo e recursos hídricos, etc.

Uma opção para o aumento da eficiência na coleta de dados primários sobre a superfície terrestre é o uso de metodologias avançadas de sensoriamento remoto e análise de imagens orbitais, associadas a sistemas de informação geográfica e técnicas de modelagem (Machado, 2002). Estes sistemas têm modificado a metodologia utilizada nos levantamentos de recursos naturais, tornando-a mais ágil e precisa. Combinando os avanços da cartografia automatizada, dos sistemas de manipulação de banco de dados e do sensoriamento remoto com o desenvolvimento da análise geográfica, os SIGs produzem um conjunto distinto de procedimentos analíticos, que auxiliam no gerenciamento e na atualização constante das informações disponíveis (Burrough, 1986). As imagens de satélite por outro lado, constituem importante ferramenta para a identificação e caracterização de áreas cafeeiras. Entretanto, para que seja possível extrair informações a

partir de dados de sensores remotos é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos alvos na superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento.

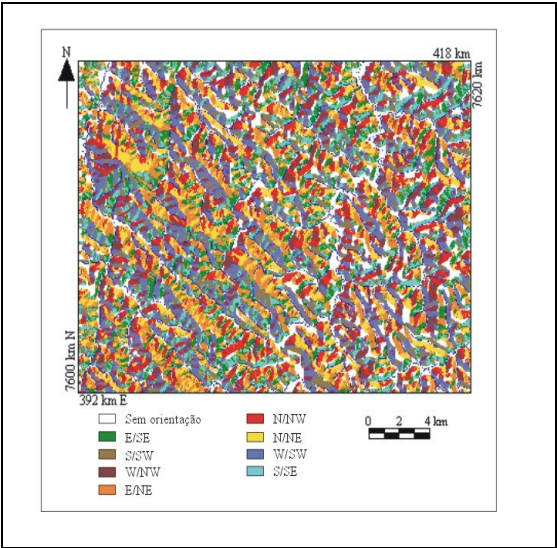
Quando se tem como alvos lavouras de café, é preciso ter em conta que estas estão inseridas num contexto ambiental, sofrendo, portanto, interferências múltiplas, tanto dos objetos adjacentes, quanto das variações de suas próprias características. Desta forma o solo, por exemplo, influencia a reflectância de superfícies compostas - vegetação/solos. Outro fator a se considerar é a exposição desta superfície à luz incidente, em função da orientação da vertente causando diferentes efeitos resultantes de sombreamento e aumento ou redução da componente de radiação difusa. Estes exemplos são suficientes para demonstrar a complexidade da atividade de extração de informações a partir de dados de sensoriamento remoto. Apesar das dificuldades, no entanto, é importante que se incorpore esta técnica como um meio potencial para a aquisição de informações sobre a cafeicultura, em função das vantagens oferecidas por esta metodologia, tais como caráter multiespectral, repetitividade e baixo custo.

**Material e Métodos**

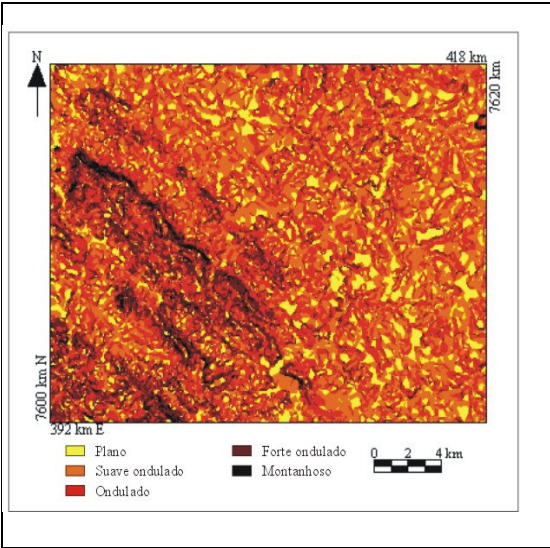
A etapa preliminar constituiu de levantamento dos dados secundários disponíveis sobre os recursos naturais e características da cafeicultura da região de Machado, MG. Com as informações adquiridas, foram realizadas campanhas de campo para avaliação do agroecossistema cafeeiro, particularmente a ocupação da cafeicultura em relação aos parâmetros do meio físico. Baseado nestas informações selecionou-se a área piloto para o desenvolvimento do estudo, totalizando 520 km quadrados, delimitada pelas coordenadas UTM 392 km e 418 km E e 7.620 km e 7.600 km N, zona 23, datum Córrego Alegre.

Foram usadas cartas planialtimétricas do IBGE, na escala 1:50.000, de Machado e Campestre. Foram também utilizadas imagens de satélite TM Landsat 5 de 1999 e TM Landsat 7 de 2000, ambas em formato digital, nas bandas 3, 4 e 5 em composições RGB e dados secundários disponíveis, como mapas de solos e geológicos. Para as atividades de implantação do banco de dados digital da área piloto e tratamento das imagens de satélite foi utilizado o software SPRING do INPE.

A partir de ferramentas de Modelagem Numérica do Terreno, disponibilizadas pelo SIG, foram gerados os mapas de declividade e de orientação de vertentes. Foram utilizadas amostras das curvas de nível para geração de uma grade de altitude, a qual foi convertida em duas outras grades – orientação e declividade. Estas por sua vez foram fatiadas e associadas a classes de orientação e classes de declividade. As classes de orientação foram definidas em N-NE, NE-E, E-SE, SE-S, S-SW, SW-W, W-NW, NW-N e as classes de declive definidas em 0 a 3%, 3 a 12%, 12 a 24%, 24 a 45%, e >45%. O fatiamento permitiu a geração de mapas temáticos de classes de orientação (Figura 1) para uso como fonte de variação na imagem e classes de declive (Figura 2) usado na correlação do modelo geomorfopedológico.



**Figura 1:** Mapa de orientação de vertentes



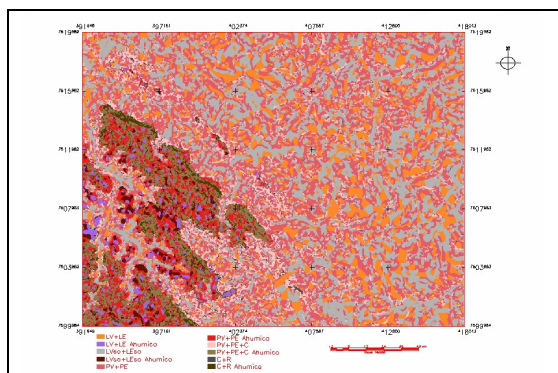
**Figura 2:** Mapa de classes de relevo

O mapa de solos (legenda preliminar) foi modelado por Lacerda *et al.* (2000) e Alves *et al.* (2004), segundo a distribuição de solos na paisagem regional avaliada em campanhas de campo e o modelo geomorfopedológico proposto por Andrade *et al.* (1998). Este modelo foi testado e adaptado para as condições da área de estudo. A Tabela 1 apresenta as relações entre classes de declividade e grupamentos de solos. Na operacionalização, utilizou-se a programação em LEGAL (Linguagem Espacial de Processamento Algébrico do SPRING), para a realização de cruzamentos entre os planos de informação. A Figura 3 apresenta o mapa de solos obtido.

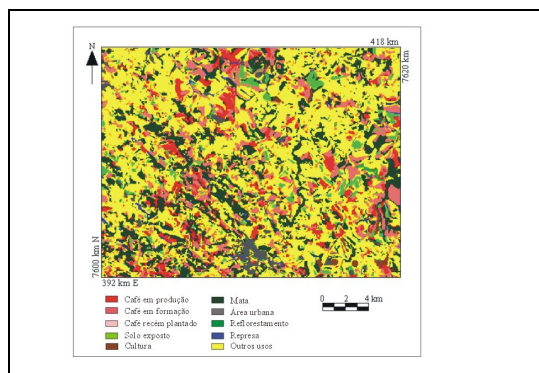
**Tabela 1:** Relação entre classes de declive, tipo de relevo e grupamento de solos.

Classes de declive (%)	Classes de Relevo	Classes de Solos
------------------------	-------------------	------------------

0 - 3	Plano	Latossolos
3 - 12	Suave Ondulado	Latossolos
12 - 24	Ondulado	Solos B texturais
24 - 45	Forte ondulado	Solos B texturais e Cambissolos
> 45	Montanhoso	Cambissolos e Neossolos Litólicos



**Figura 3:** Mapa de solos gerado por modelagem geomorfo-pedológica



**Figura 4:** Mapa de uso da terra obtido por interpretação visual da imagem orbital

Por meio de interpretação visual da imagem de satélite foi obtido o mapa de uso atual da área e identificação das áreas cafeeiras, conforme mostrado na Figura 4. Após a geração do mapa de uso da terra, as áreas de dúvida foram georreferenciadas e checadas em campo com o auxílio de GPS.

O cruzamento dos planos de informação relativos a áreas de café x classes de solos e áreas de café x classes de orientação, permitiu a geração de um plano de informação temático com as áreas de café nas diferentes classes de solos e faces de orientação das vertentes. Os limites externos das áreas individualizadas neste plano foram sobrepostos à imagem de satélite e, através da ferramenta leitura de pixels, foi obtido o nível digital médio na imagem para as lavouras de café nas diferentes exposições e tipos de solos em três faixas do espectro eletromagnético - bandas 3, 4 e 5 - totalizando de 20 amostras por classe.

A análise estatística foi feita usando as fontes de variação: banda e exposição; banda e tipos de solos. O software usado foi o SISVAR e o teste de média aplicado foi o Scott Knott, com grau de confiança de 95%.

## Resultados e discussão

### Avaliação da resposta espectral do café nas diferentes fontes de variação

Dentro das faixas de variação (exposição e solos), o nível digital nas diferentes bandas apresentou diferença, conforme relatado por vários autores (Mausel *et al.*, 1993 e Shimabukuro *et al.*, 1991). Esta diferença está relacionada ao comportamento espectral diferenciado da cultura nas diferentes faixas do espectro, conforme mostrado nas Tabelas 2 e 3 e Figuras 5 e 6. A banda 3(vermelho) apresenta valores menores devido à grande absorção de luz vermelha pela clorofila. A banda 4 (infra-vermelho próximo) apresentou os maiores valores devido ao espalhamento da luz pela condição estrutural das folhas. Na banda 5 (infra-vermelho médio) os valores foram menores que na banda 4 devido à absorção pela água interna das folhas.

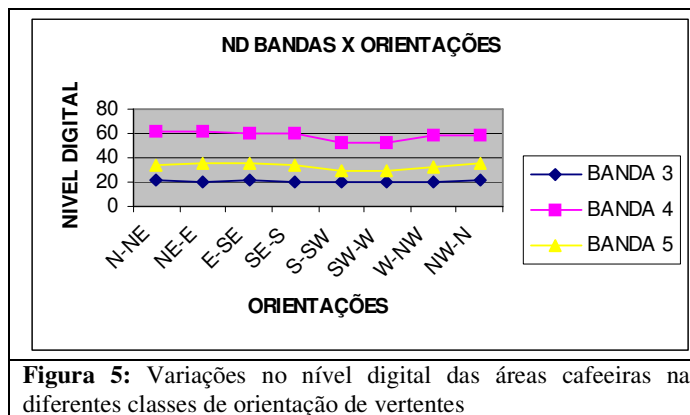
Quanto ao solo e exposição da vertente não houve diferença entre os valores usados na amostragem para a banda 3. Isto porque a grande absorção pela clorofila pode ter sobrepujado a possível diferença dos níveis de cinza (ou Número Digital - ND = *Digital Number - DN*) para as diferentes fontes de variação. As bandas 4 e 5 apresentaram diferença para as exposições Sul-Sudoeste e Sudoeste-Oeste, com valores menores nas 2 bandas possivelmente devido à época (inverno) e horário de passagem do satélite (aproximadamente 10:00h da manhã). Nesta época o ângulo de elevação solar é mínimo, o que implica em incidência direta de raios solares nas exposições Norte, enquanto as vertentes expostas ao Sul recebem os raios com angulação menor. No período da manhã os raios também incidem de maneira mais direta nas vertentes Leste e menos nas vertentes Oeste. Desta forma, no momento da passagem do satélite as vertentes expostas entre Sul e Oeste foram menos iluminadas.

Para os solos, nas bandas 4 e 5, os níveis digitais das áreas de café foram maiores nos Latossolos que nos Cambissolos e Argissolos. Em ambos os casos, tal fato pode ser explicado pela correlação entre as classes de solos e classes de declividade. Os latossolos encontram-se nas áreas mais planas, de 0 a 12% de declividade. Por serem mais planas estas áreas não são sombreadas pelo próprio relevo e recebem a radiação solar mais diretamente do que as áreas com declividade acima de 12%, onde se encontram os Cambissolos e Argissolos. Havendo maior radiação solar incidente nas lavouras implantadas em áreas planas, estas vão refletir mais esta radiação. Portanto, estes maiores valores digitais na imagem, encontrados nas lavouras em latossolos, não estão propriamente relacionados às características dos solos e sim à quantidade de energia incidente nos alvos contidos nestes solos em função da inclinação do terreno.

**Tabela 2:** Níveis digitais médios para as áreas de café nas diferentes orientações em 3 faixas do espectro eletromagnético.

ORIENTAÇÃO	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5
N-NE	21,05aA	61,35bC	34,55bB
NE-E	20,50aA	60,90bC	35,35bB
E-SE	20,90aA	60,75bC	36,10bB
SE-S	20,40aA	60,30bC	33,80bB
S-SW	19,55aA	52,80aC	28,90aB
SW-W	20,30aA	52,60aC	29,45aB
W-NW	19,60aA	58,60bC	32,75bB
NW-N	21,80aA	58,40bC	36,15bB

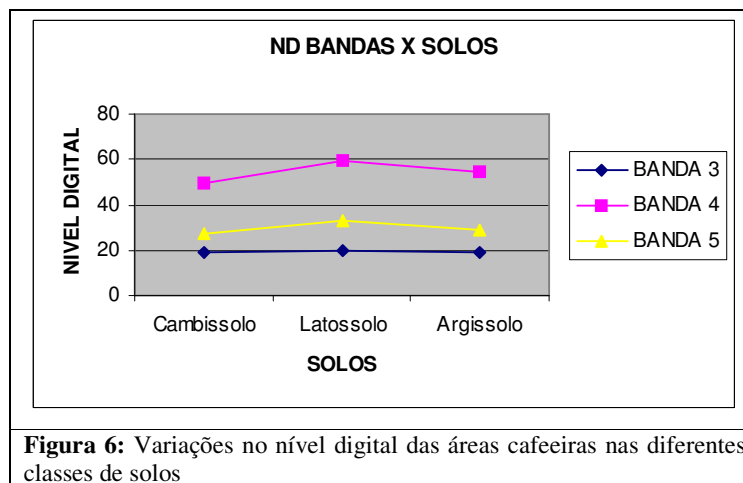
Letras minúsculas iguais não diferem ao nível de 5% na vertical, ou seja, entre orientações; letras maiúsculas iguais não diferem ao nível de 5% na horizontal, ou seja, entre bandas;



**Tabela 3:** Níveis digitais médios para as áreas de café nos diferentes tipos de solos em 3 faixas do espectro eletromagnético

SOLO	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5
Cambissolo	19,15aA	49,70aC	27,60aB
Latossolo	19,65aA	59,50cC	32,95bB
Argissolo	18,85aA	54,15bC	29,05aB

Letras minúsculas iguais não diferem ao nível de 5% na vertical, ou seja, entre solos; letras maiúsculas iguais não diferem ao nível de 5% na horizontal, ou seja, entre bandas;



## Conclusões

A construção e manipulação de banco de dados digital para a área-piloto estudada, realizada por meio do SPRING, possibilitaram a geração de mapas temáticos de caracterização do meio físico, tal como o mapa de classes de declividade. As atividades de modelagem geomorfopedológica permitiram a geração de uma legenda preliminar de solos. Estas

informações permitiram a realização de análises parciais das relações entre as características do meio físico e a cafeicultura na região estudada.

A variável ambiental orientação das vertentes proporcionou variações no comportamento espectral de lavouras cafeeiras em imagens orbitais. Estas variações estão associadas às mudanças na quantidade e maneira como a radiação solar incide no dossel cafeeiro.

A variável solos por ela mesma, não proporcionou variações no comportamento espectral do cafeeiro. No entanto, variações ocorrem em função da declividade associada a tais solos, ou seja, as variações ocorrem devido à quantidade e maneira como a radiação solar incide no dossel da cultura.

## Referencias Bibliográficas

- Alves, H. M. R.; Vieira, T. G. C.; Lacerda, M. P. C.; Bertoldo, M. A.; ANDRADE, H. (2004). Characterization of coffee agroecosystems of the state of Minas Gerais in Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 2004, Istambul. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. ISPRS (ISBN: ISSN 1682-1777), 2004. v. 35.
- Andrade, H.; Alves, H. M. R.; Vieira, T. C. G. (1998). Diagnóstico ambiental do município de Lavras com base em dados do meio físico: IV - Principais grupamentos de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas-MG. *Anais...* Lavras: UFLA/SBEA, 4:442-443.
- Burrough, P.A. (1986). *Principles of geographic information systems for land resources assessment*. Oxford: Oxford University Press. 193p.
- Ferreira, D.F. (2000). *Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0*. In: 45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos. pp. 255-258.
- Lacerda, M. P. C.; Vieira, T. G. C.; Alves, H. M. (2000). Estimativa de áreas cafeeiras ocupadas pela cafeicultura em regiões produtoras de Minas Gerais por meio de Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. *Resumos expandidos...* Brasília: Embrapa café, 2:1356-1359.
- Machado, M. L. (2002). *Caracterização de Agroecossistemas cafeeiros da Zona da Mata de Minas Gerais, usando sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas*. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras. 137 p.
- Mausel, P.; Wu, Y.; Li, Y. *et al* (1993). Spectral identification of successional stages following deforestation in the Amazon. *Geocarto International*, 8:61-71.
- Shimabukuro, Y. E.; Santos, J. R. dos; Hanadez Filho, P.; Lee, D. C. L. (1991). *Avaliação conjuntural da técnica de abordagem multisensor para o monitoramento da vegetação do Brasil*. INPE: São José dos Campos. 9 p.