

Uso da geotecnologia para monitorar a cafeicultura brasileira – Fase II São Paulo e Minas Gerais

Mauricio Aves Moreira⁽¹⁾, Marco Aurélio Barros⁽¹⁾, Viviane Gomes Cardoso de Faria⁽¹⁾ e Marco Adami⁽¹⁾

(1) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1.758, Jardim Granja, CEP 12227-010 São José dos Campos, SP. E-mail: mauricio@dsr.inpe.br, aurelio@dsr.inpe.br, vivian@dsr.inpe.br, adami@dsr.inpe.br .

Palavras-Chave: cultura do café, Sensoriamento Remoto, geoprocessamento e mapeamento de área, agroecossistema e produtividade.

Resumo – O objetivo deste trabalho foi usar imagens do TM/Landsat-5 em conjunto com técnicas de geoprocessamento e dados auxiliares para desenvolver uma metodologia para o mapeamento da cafeicultura brasileira. A área de estudo correspondeu aos Estados de Minas Gerais e São Paulo. A abordagem metodológica consistiu-se de quatro fases: a) Preparo do material como a restauração das imagens, o georreferenciamento e o recorte da área útil da imagem, com base na malha municipal. b) classificação da imagem por uma abordagem não-supervisionada a fim de obter o mapa temático preliminar com a distribuição espacial do café por município. c) Interativa, em que o interprete procurou eliminar erros de classificação através da edição matricial, existente no SPRING. Essa fase é realizada com auxílio de dados auxiliares, como as imagens do Google Earth, dados oficiais e contato com técnicos de cada município. d) Determinação da área de café por município, através da função estatística de imagem por polígono, existente no SPRING. De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que: a) a metodologia pode ser usada para mapear o café em qualquer região cafeeira do País, bastando apenas adaptar a metodologia para cada situação de cultivo do café; b) a restauração das imagens TM/Landsat-5 com pixels de 10m foi muito importante para mapear pequenas lavouras de café; c) o uso do google earth como dado auxiliar permitiu identificar e separar lavouras de café de áreas de cerrado; e d) em locais de relevo é muito importante usar imagens TM/Landsat-5 com ângulo de elevação solar maior.

Use of the geotecnologia to monitor the Brazilian Crop coffee - Phase II Sao Paulo and Minas Gerais States

Keywords: coffee crop, Remote Sensing, geoprocessing and area mapping.

Abstract - The objective of this work was to use TM/Landsat-5 images together with geoprocessing techniques and ancillary information to develop a methodology to map coffee crop in Brazil. The study area comprises the States of Minas Gerais and São Paulo. The methodology consisted of four phases: a) image georeferencing, image restoration, and selection of area of interest based on coffee crop producing municipalities within the image scene; b) image classification based on a non-supervised approach in order to obtain a preliminary coffee crop distribution map for each municipality; c) interactive visual photointerpretation to eliminate errors from the digital classification using a matrix edition procedure from the Spring software and ancillary information such as Google Earth and official agricultural statistics at municipality level; and d) coffee crop area estimation for each municipality using the Spring software. Results indicated that the presented methodological procedure was satisfactory to identify and map coffee crop in any location within the coffee crop production regions of Minas Gerais and São Paulo States. It is likely that the coffee crop could also be mapped in any region of Brazil with some minor methodological adaptations.

Introdução

O cultivo do café no Brasil não apresenta um padrão característico de manejo e tamanho das lavouras. De modo geral, encontram-se num mesmo município, lavouras com variados tamanhos de áreas, situadas em relevos planos, inclinados ou, até mesmo, em topo de morro. Nestas lavouras cultivam-se diferentes variedades, sendo as mais utilizadas: Mundo Novo (lavoura de porte alto), Catuaí (porte baixo), Acaiaí, Icatú, Caturra, entre outras. Além disso, o espaçamento

utilizado também varia muito. Há pelo menos três modalidades de plantio, em função da quantidade de covas de café por unidade de área, ou seja, plantio tradicional, adensado e super-adensado. Quanto ao manejo encontram-se lavouras de café sombreado, com proteção de quebra-ventos, irrigado por pivô central ou gotejamento e o cultivo sem irrigação.

Essas características fazem com que o comportamento espectral da cultura apresente variações que podem ser atribuídas tanto a planta quanto sistema de cultivo. Num trabalho sobre mapeamento de café por meio de imagens TM/Landsat, Moreira et al. (2004) observaram que o comportamento espectral está relacionado com o espaçamento, idade da lavoura e época do ano em que as imagens foram obtidas. Pelas conclusões dos autores o café pode ser mapeado em imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento.

Com base nestes conhecimentos, no ano de 2004 foi proposto um Projeto Multidisciplinar e Multi-institucional, para integrar num banco de dados georreferenciados todas informações pertinentes ao agroecossistema cafeeiro das principais regiões produtoras do Brasil (Moreira et al. (2007). Uma das primeiras informações que deve conter nesse banco de dados é o mapa temático com a distribuição espacial da cultura. A primeira fase do projeto teve como área de estudo o Estado de Minas Gerais. No ano de 2006 foi disponibilizado no site CAFESAT os resultados do mapeamento do café para todo o Estado de Minas Gerais (Moreira et al., 2007), que pode ser acessado no endereço <<http://www.dsr.inpe.br/cafesat>>. Neste site estão inseridos: o mapa temático com a distribuição espacial do café, o relatório técnico, as tabelas com área de café por Mesorregião, Microrregião e Município e alguns artigos relacionados a cultura do café em Minas Gerais. Nesta primeira fase o Projeto contou com a colaboração da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e da EMBRAPA CAFÉ, por meio do Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café.

No momento, existem várias frentes de pesquisas abordando os mais diferentes assuntos relacionados ao agroecossistema cafeeiro, entre elas o delineamento do perfil cafeeiro em relação a altimetria e declividade, análise do potencial do modelo agrometeorológico-espectral, para determinar a penalização na produtividade do café em função do clima.

A expansão da metodologia para uma nova região, como o Estado de São Paulo, a preocupação inicial é o mapeamento do café para se ter uma idéia da distribuição espacial da cultura no Estado. Assim, o objetivo da Fase II do Projeto é mapear o café em São Paulo por meio da metodologia desenvolvida em Minas Gerais e, ao mesmo tempo, realizar uma atualização do mapeamento do café no estado de Minas Gerais, através de imagens obtidas no ano de 2007 e comparar os resultados obtidos em 2006 com 2007.

Material e Método

A região de estudo compreende os Estados de Minas Gerais e de São Paulo, localizados entre às coordenadas 13° 49' 37"S a 24° 44' 24"S e 40° 00' 37"W a 54° 00' 00"W. O estado de Minas Gerais é composto de 853 Municípios (PRODEMGE, 1998) e São Paulo por 645 (IBGE, 2007).

A cafeicultura em Minas Gerais e em São Paulo não ocorre na condição de monocultura extensiva. No entanto, no período seco (junho a outubro) o café, em muitas regiões do Estado de Minas Gerais, torna-se quase que uma monocultura, o que não ocorre no Estado de São Paulo, onde há o cultivo do milho safrinha, cana-de-açúcar e citros. A cana-de-açúcar não apresenta comportamento espectral semelhante ao café (Rudorff, et al., 2005). Observa-se também que o comportamento espectral do citros é bastante diferente daquele observado em áreas ocupadas com café.

Desta forma, a única cultura que poderá apresentar semelhança de comportamento espectral com o café é o milho safrinha, quando este se encontra em determinados estágio de desenvolvimento. Desta forma, o período de seleção das imagens de satélite para este Estado, difere do empregado em Minas Gerais, por causa da presença do milho safrinha. Optou-se por fugir do período de cultivo do milho, principalmente, na época do florescimento e granação da espiga. O período utilizado para selecionar as imagens para São Paulo foi de final de agosto até outubro, quando então o milho safrinha já havia sido colhido.

A metodologia desenvolvida para mapear o café pode ser resumida em quatro etapas: 1) coleta de dados censitários sobre o cultivo do café nos Estados e a espacialização desses

dados por município numa base cartográfica; 2) estruturação do banco de dados geográfico (BDG) e classificação das imagens de satélites, para obter a distribuição espacial do café; 3) edição matricial para melhorar a exatidão do mapa temático; 4) quantificação da área plantada por município.

A coleta de dados censitários e espacialização desses dados por município teve como objetivo saber quais municípios dos dois estados produz café e, em quais deles o café é mais expressivo. Esse conhecimento espacial é muito importante para auxiliar o interprete durante a fase de edição matricial. Se o município é tido como um grande produtor de café, no momento da edição matricial a atenção deve ser redobrada e, por outro lado elimina aqueles municípios que não são produtores de café. Além da espacialização plotou-se sobre o mapa a grade de órbita/ponto do sensor TM do Landsat-5. Na Figura 1 pode-se ver o exemplo da distribuição espacial do café e a grade de órbita/ponto do Landsat-5 para o Estado de Minas Gerais.

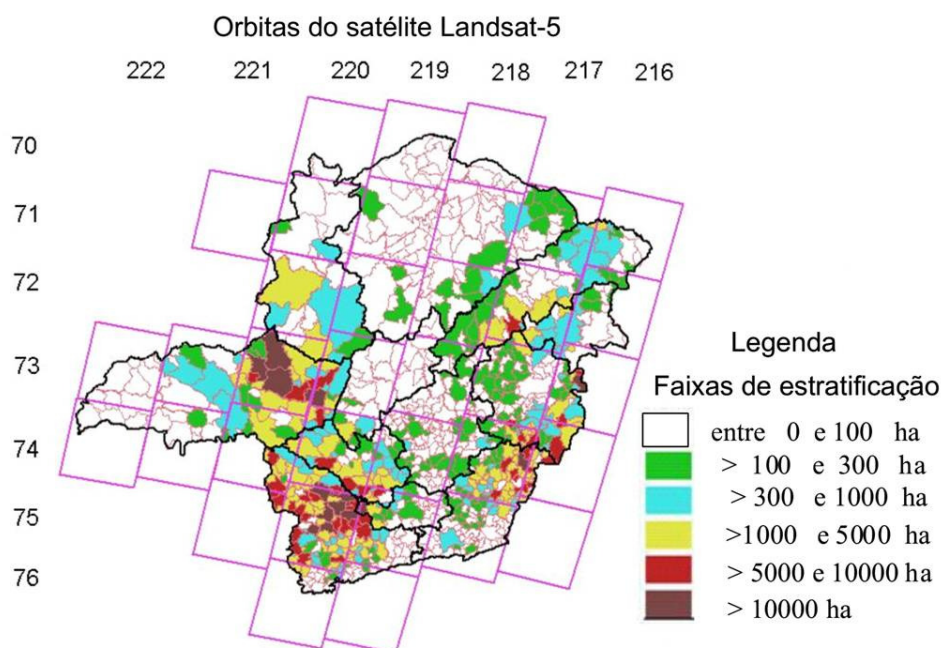


Figura 1 - Estratificação das áreas de café com base em dados censitários e delimitação da grade órbita/ponto do Landsat-5, para o Estado de Minas Gerais.

A metodologia utilizada para estruturar o banco de dados geográfico (BDG) e classificação das imagens de satélites, para obter a distribuição espacial do café; é mostrada no fluxograma da Figura 2.

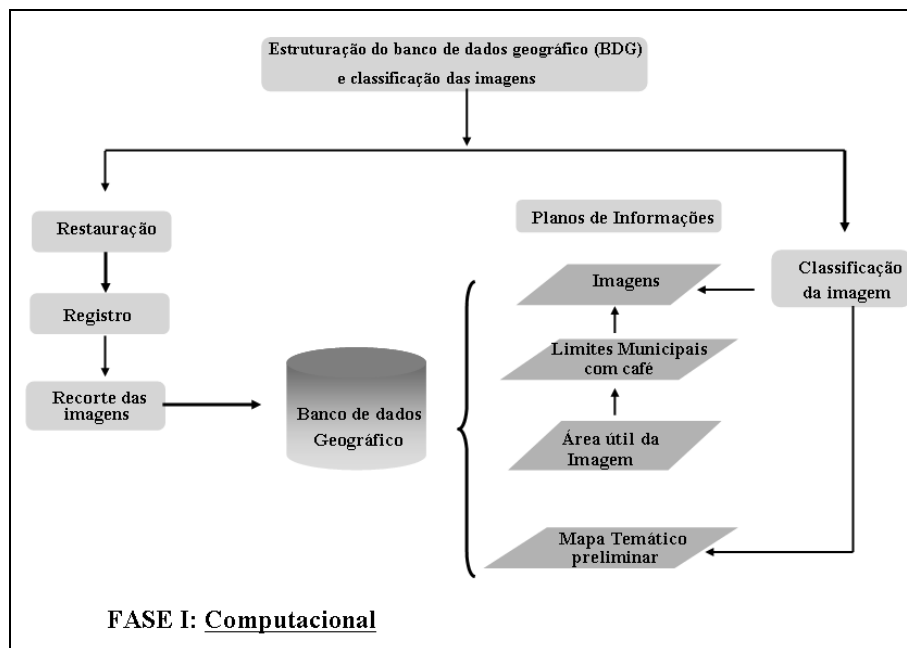


Figura 2 - Fluxograma da metodologia empregada para criar o banco de dados geográfico e classificação das imagens de satélites.

As imagens do sensor TM possuem resolução espacial de 30m x 30m. No entanto sabe-se que esta resolução espacial não é muito adequada para mapeamento de áreas agrícolas muito pequenas, como ocorre com o café, pois ao ampliar a imagem para uma escala de trabalho maior do que 1: 40.000. Além disso, com o envelhecimento do sistema sensor ocorrem distorções introduzidas nos dados pelos sensores (FONSECA, 1988). A restauração melhora a resolução espacial efetiva do sensor até certo nível, eliminando estas distorções. No procedimento de restauração é possível obter uma imagem de saída com pixel menor do que o original, no aplicativo SPRING existem quatro tamanhos de pixels (20, 15, 10 e 5m) Na tentativa de mapear estas pequenas lavouras, aplicou-se a restauração das imagens TM/Landsat e obteve uma imagem de saída com pixel de 10m x 10m. Com isso, pode-se ampliar a imagem para uma escala de 1:20000, sem provocar o borrimento da imagem por causa do realçamento dos pixels Moreira et al. (2007 a,b).

De acordo com Fonseca (1998) a restauração é realizada por um filtro linear, cujos os pesos do filtro são obtidos a partir das características do tipo de sensor e da banda espectral em que opera. Difere-se da forma empírica como é feito no caso dos filtros de realce tradicionais.

Após o processo de restauração fez-se o georreferenciamento das imagens restauradas para associar os pixels da imagem a uma coordenada geográfica. O georreferenciamento foi realizado por meio da abordagem bilinear.

Nesta pesquisa foram testadas diferentes abordagens de classificação, supervisionadas e não-supervisionadas, no intuito de minimizar a interferência do interprete na fase de edição matricial para corrigir erros de classificação no mapeamento do café. Chegou-se a conclusão de que qualquer abordagem de classificação adotada, tanto em Minas Gerais quanto em São Paulo, para classificar o café os resultados obtidos não serão satisfatórios, devido às características da cafeicultura. Observou que áreas de certos tipos de cerrado foram classificadas como café. A edição matricial foi a solução adotada para corrigir os erros de mapeamento do café.

O procedimento de edição matricial é feito através de um link dinâmico entre o analista e o computador, que permite visualizar vários Planos de Informação (PIs) ou tipo de informações que foram introduzidas no computador de forma simultânea e

interativa. A magnitude desse procedimento depende dos resultados da classificação. O fluxograma da Figura 3 mostra a sequência da fase interativa.

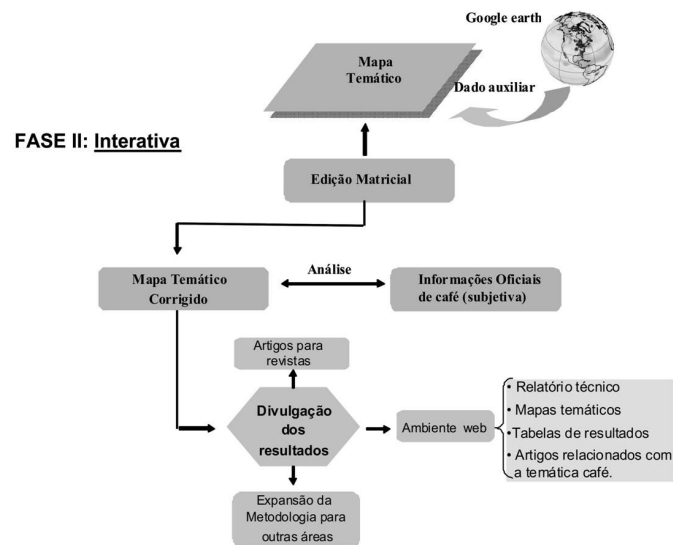


Figura 3 - Fluxograma da metodologia utilizada na fase interativa e divulgação dos resultados.

Para auxiliar o interprete durante a edição matricial usou-se as imagens do Google Earth, que para muitos municípios existem imagens de alta resolução, conforme é mostrado na Figura 4.

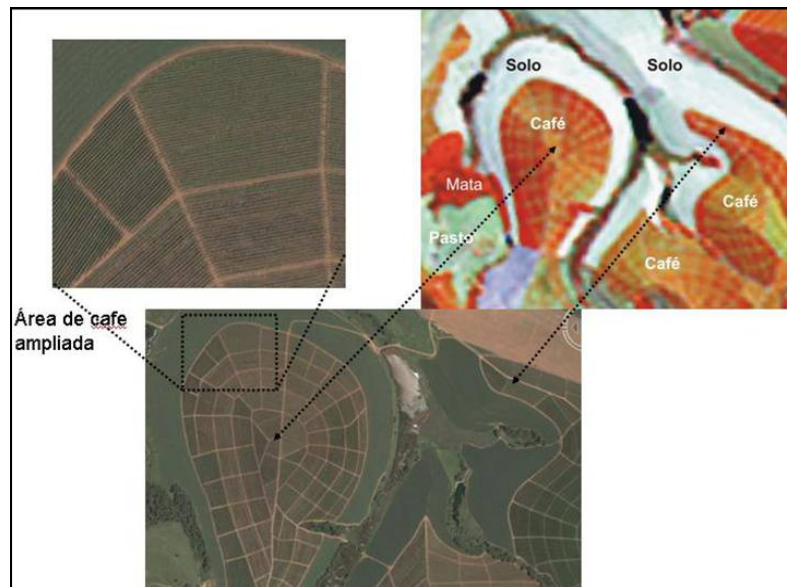


Figura 4— Lavoura de café observada nas Imagens IKONOS (google Earth) e na imagem colorida (4R5G3B) do TM/Landsat do ano de 2007.

Ao final do processo de Edição Matricial foram obtidos mapas temáticos com as classes mapeadas: café, cidade, água. Através do cruzamento desses mapas o mapa cadastral do geominas, contendo os limites políticos municipais (PRODEMGE, 1998), foi estimada a área de café em cada município, por meio da ferramenta “*Estatística por Polígono*”, implementada no aplicativo SPRING.

Resultados e Discussão

Mapeamento do café nos Estados de Minas Gerais e São Paulo .

A Figura 5 contém o mosaico dos mapas temáticos de café para todo o Estado de Minas Gerais, com a distribuição espacial das lavouras de café por Mesorregião Geográfica, obtido por meio de interpretação de imagens TM/Landsat-5 do ano de 2007 e na Tabela 1 a área de café e o percentual por Mesorregião Geográfica do Estado.

Ao observar os resultados do mapeamento na Figura 5 e na Tabela 1, nota-se que o café se concentra mais em três Mesorregiões: Sul/sudoeste de Minas (46%), Zona da Mata (16,30%) e Triângulo Mineiro /Alto Paranaíba (16,30%). O restante das lavouras de café (21,4%) se distribui entre as demais Mesorregiões do Estado. Esse resultado concorda com Moreira et al. (2007) ao afirmarem que as Regiões Sul/Sudoeste de Minas representa quase 50% de café cultivado no Estado.

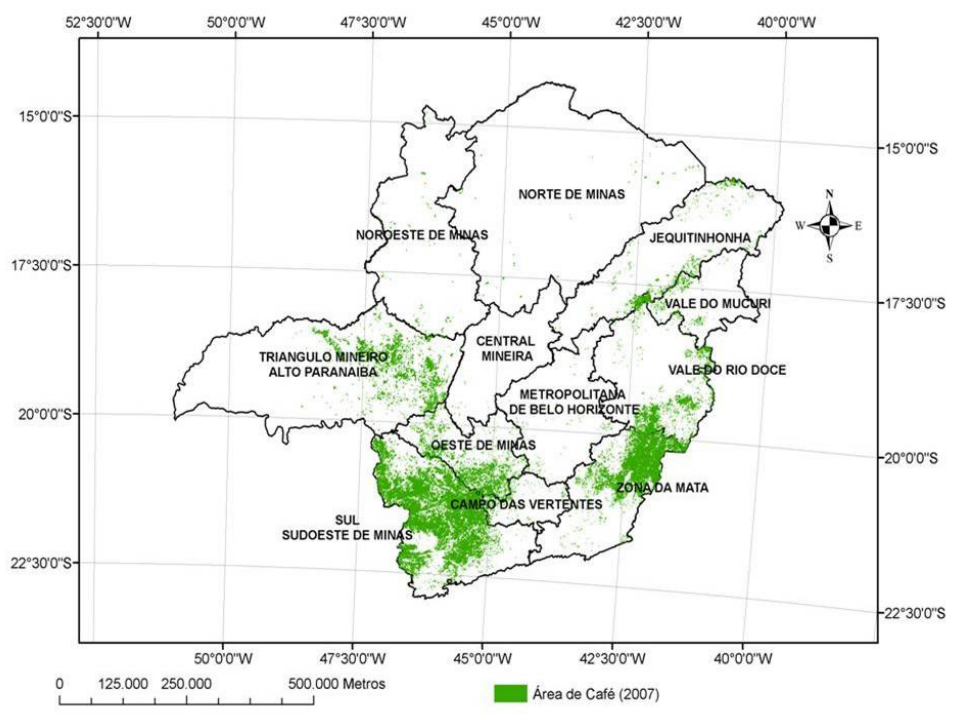


Figura 5– Mosaico dos mapas temáticos, com a distribuição espacial das lavouras de café no estado de Minas Gerais, por Mesorregião, obtido por meio da interpretação de imagens TM/Landsat do ano de 2007.

TABELA 1 – Porcentagem de café por Mesorregião do Estado de Minas Gerais

MESORREGIÕES	Área de café (ha)	(%)
CAMPO DAS VERTENTES	23.772	2,58
CENTRAL MINEIRA	729	0,08
JEQUITINHONHA	22.708	2,46
METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE	2.746	0,30
NOROESTE DE MINAS	9.534	1,03
NORTE DE MINAS	6.307	0,68
OESTE DE MINAS	64.874	7,04
SUL/SUDOESTE DE MINAS	426.146	46,26
TRIANGULO MINEIRO/ALTO PARANAÍBA	150.127	16,30
VALE DO MUCURI	8.992	0,98
VALE DO RIO DOCE	55.150	5,99
ZONA DA MATA	150.117	16,30
TOTAL	921.202	100

Para o Estado de Minas Gerais, Moreira et al. (2007) realizaram o mapeamento do café com imagens TM/Landsat adquiridas no ano de 2006 e chegaram a uma área de 930.278 há plantadas com café. Para este ano de 2007 a área mapeada com café foi de 921.202,86 ha. Essa diferença, segundo os autores, foi atribuída principalmente a erradicação de áreas de café, podas de parte de lavouras. No entanto, os resultados obtidos foram bastante consistentes, o que leva a crer que a área de café em produção no Estado de Minas Gerais está dentro deste valor. Mesmo assim esta sendo realizada a validação do mapeamento, por meio de um sistema amostral baseado em Thompson (2002).

Para o estado de São Paulo o mapa temático contendo a distribuição espacial do café pode ser visto na Figura 6 e os resultados de área por mesorregião na Tabela 2

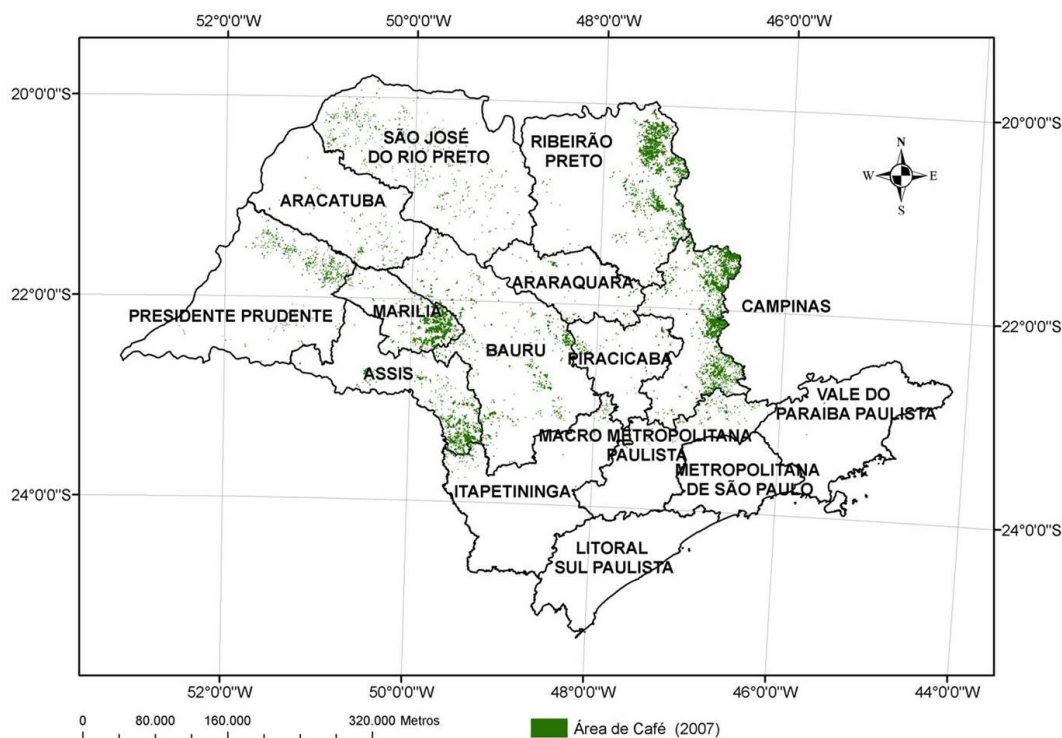


Figura 6 - Distribuição espacial das lavouras de café no estado de São Paulo, por Mesorregião, obtido por meio da interpretação de imagens TM/Landsat do ano de 2007.

TABELA 2 – Área e porcentagem de café por Mesorregião do estado de São Paulo

MESORREGIÕES	Área de café (ha)	(%)
ARACATUBA	1.536,43	0,95
ARARAQUARA	2.690,78	1,67
ASSIS	15.648,96	9,71
BAURU	13.563,96	8,42
CAMPINAS	40.759,14	25,29
ITAPETININGA	1.968,29	1,22
LITORAL SUL PAULISTA	29,00	0,02
MACRO METROPOLITANA PAULISTA	1.849,21	1,15
MARÍLIA	22.891,62	14,20
METROPOLITANA DE SAO PAULO	0,00	0,00
PIRACICABA	2.348,52	1,46
PRESIDENTE PRUDENTE	4.887,03	3,03
RIBEIRAO PRETO	45.883,12	28,47
SAO JOSE DO RIO PRETO	6.945,29	4,31
VALE DO PARAIBA PAULISTA	178,29	0,11
TOTAL	161.179,64	100

De acordo com a Figura 7 e os dados da Tabela 2 pode-se dizer que no estado de São Paulo observa-se que o café concentra nos municípios limítrofes ao estado de Minas Gerais, localizados nas Mesorregiões de Ribeirão Preto e Campinas, com 28 e 25% respectivamente. Em menores porcentagens, o café é encontrado nas Mesorregiões de Assis (9,71%), Bauru (8,42%) e Marília (14,20%). Pode-se observar que no Estado de São Paulo não há uma Mesorregião onde o café se destaca das demais Mesorregiões, como foi mostrado no Estado de Minas Gerais. Por outro lado, a área total de café mapeada em São Paulo foi de 161.179,64 há, o que corresponde a 5,7 vezes menor, comparada a área de café do Estado de Minas Gerais.

A área de café no Estado de São Paulo divulgada pelo IBGE para o ano safra de 2008 foi de 182.013, 00 ha (IBGE, 2008), o que representou uma redução de área de 22,8% de área em relação ao ano de 2007. Considerando a subjetividade dos dados do IBGE e o não mapeamento de lavouras de café com menos de 2 anos nas imagens do TM/Landsat. Os resultados estão bastante coerentes com as estatísticas oficiais.

O uso de imagens restauradas do TM/Landsat no mapeamento de áreas de café foi muito útil porque foi possível ampliar as imagens em escala de 1:20.000 sem perda da qualidade visual da imagem.

Por outro lado é importante esclarecer que mesmo restaurando as imagens, lavouras de café com menos de 2 anos não foram mapeadas porque não apresentaram comportamento de áreas com café e sim de solo exposto, conforme é mostrado na Figura 7. Essas áreas somente foram mapeadas no ano de 2007.

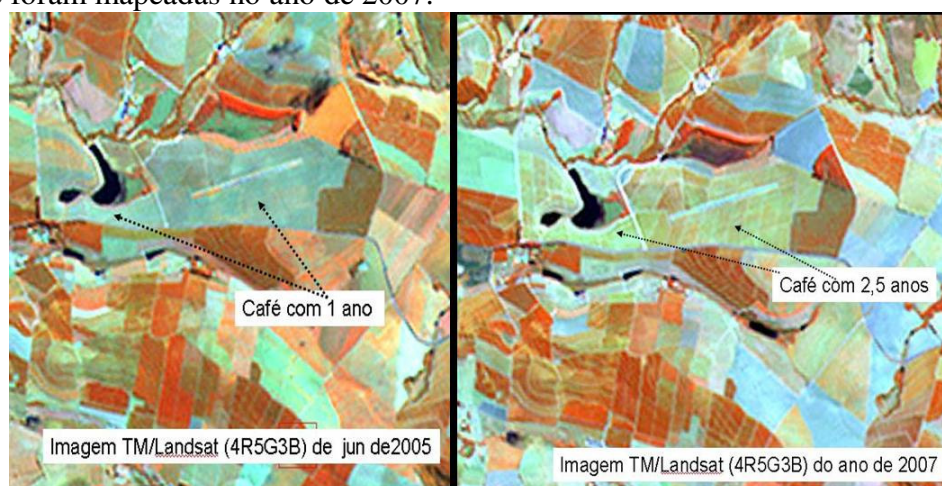


Figura 7 – Imagens do TM/Landsat (4R5G3B) obtidas em julho de 2005 e jul de 2007, para mostrar o comportamento espectral do café em dois estádios de desenvolvimento.

Por outro lado, durante a interpretação notou-se que muitas lavouras de café que foram identificadas nas imagens IKONOS de 2003 e 2004, existentes no Google Earth, não estavam presentes nas imagens do TM/Landsat do ano de 2007. São várias causas desse desaparecimento, entre elas têm-se: a poda; a erradicação; reforma da lavoura e substituição por outras culturas, principalmente a cana-de-açúcar, como ocorreu em São Paulo, verificado durante o mapeamento da cana-de-açúcar no ano de 2007 realizado no projeto CANASAT.

Em regiões de relevo acidentado, como na Zona da Mata mineira, observou-se que imagens obtidas com ângulo solar mais alto são as mais indicadas, por que diminui muito o efeito de sombreamento provocado pelo relevo, conforme é mostrado na Figura 8.

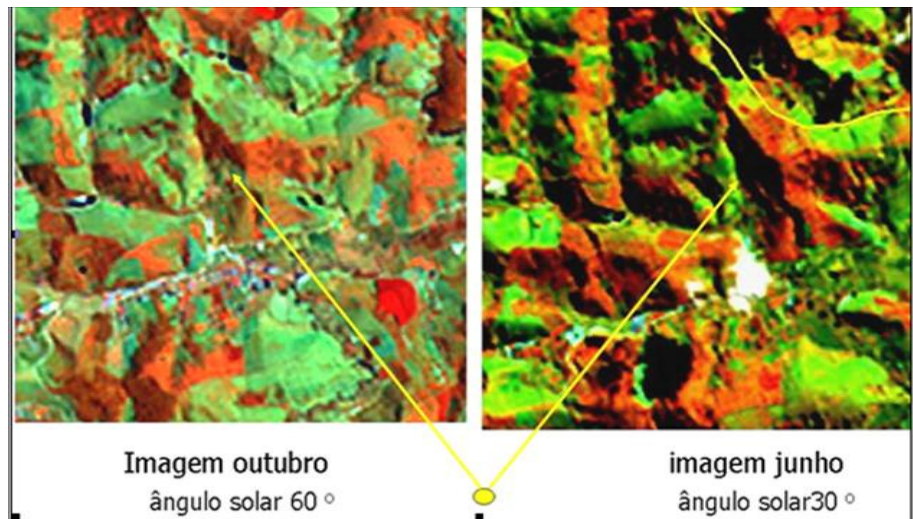


Figura 8 – Imagens do TM/Landsat obtidas junho e outubro para mostrar o efeito de sombreamento do relevo devido ao ângulo de elevação solar. Local: Zona da Mata, MG.

Lavouras de café com idade maior do 2,5 anos e com um manejo adequado o comportamento espectral é bem característico. Nessas condições a superfície de fundo pouco influenciou. Para a maioria das lavouras de café, quando observadas em imagens TM na composição colorida (4R5G3B), o comportamento espectral apresentou uma tonalidade amarronzada até um marrom mais avermelhado ou esverdeado, denotando maior presença da superfície de fundo. As lavouras que apresentaram tonalidades mais avermelhadas foram classificadas com cerrado por causa da semelhança de comportamento espectral.

Por outro lado, lavouras irrigadas por pivô central têm um comportamento espectral que assemelha muito uma placa de cobre, conforme é mostrado na parte superior central da Figura 9. Importante esclarecer que essas diferenças observadas no comportamento espectral do café, às vezes podem ocorrer de forma isolada, como ficou constatado no Norte de Minas Gerais ou numa mesma área.



Figura 9– Imagem colorida e restaurada do TM/Landsat (4R5G3B) mostrando diferentes padrões de lavouras de café devido a diferentes formas de cultivos.

Conclusões

A metodologia aplicada possibilitou mapear o café com idade maior de 2,5 anos. Foi possível espacializar o café em nível de município, que é um ponto positivo em relação aos métodos tradicionais. Do ponto de vista metodológico às seguintes conclusões pode ser tidas:

- O café apresentou diferentes comportamentos espectrais, que está relacionado com idade, tipo de poda, espaçamento, variedade, relevo e época do ano, mas não afetou o mapeamento no contexto desta metodologia.
- Das classes de ocupação do solo o cerrado e eucalipto novo foram as que mais apresentaram semelhanças espectrais com o café em alguma situação de cultivo.
- A Restauração das imagens TM/Landsat para pixels de 10m possibilitou uma ampliação dos dados para uma escala de até 1:20.000 ou maior. Isso possibilitou o individualizar e mapear pequenas áreas de café.
- A melhor época de aquisição das imagens para o mapeamento do café é no período seco (junho a setembro). No entanto para o estado de São Paulo esse período foi menor por causa do cultivo do milho safrinha.

Referências

FONSECA, L. M. G., **Restauração de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR**. São José dos Campos. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS . **Catálogo de imagens**. São José dos Campos: Inpe, 2005. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>. Acesso em: 20 de maio de 2006

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades**. [S.l]. Disponível em: <http://www1.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em: fev. de 2008.

MOREIRA, M. A.; BARROS, M. A.; ROSA, V. G. C.; ADAMI, M. Tecnologia de informação: imagens de satélite para o mapeamento de áreas de café de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 27-37, 2007a.

MOREIRA, M.A.; RAFAELLI, R.D; BARROS, M.A.; FARIA, V.G.C. de; AULICINO, T.L.I.N.; CARVALHO, M.A. de. **Uso da Geotecnologia para avaliar e monitorar a cafeicultura brasileira: Fase I – Estado de Minas Gerais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007b. 88p (INPE-14611-RPE/808).

MOREIRA, M. A; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens LANDSAT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39. n.3, 223-231 p. Mar 2004.

PRODEMGE – Companhia de Tecnologia da Informação do Estado de Minas Gerais. **Limite dos Municípios de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1998. Disponível em: <http://www.geominas.mg.gov.br/>. Acesso em: 15 mar. 2007

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; XAVIER, A. C.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/04. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 52, n. 1, p. 21-39, 2005

THOMPSON, S.K. **Sampling**. 2nd ed. New York: Wiley, 2002. 343p.